

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů (FLD)

Stolní CNC obráběcí centrum a možnosti jeho využití

Bakalářská práce

Autor: Rostislav Mrtka

Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu

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

© 2022 ČZU v Praze



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce: Rostislav Mrtka
Studijní program: Dřevařství
Obor: Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu
Vedoucí práce: Ing. Miroslav Sedlecký, Ph. D.
Garantující pracoviště: Katedra zpracování dřeva a biomateriálů
Jazyk práce: čeština

Název práce: **Stolní CNC obráběcí centrum a možnosti jeho využití**

Název anglicky: **Desktop CNC machining center and possibilities of its use**

Cíle práce: Cílem práce bude vyhodnocení možností použití modelářského CNC od firmy StepCraft. Celkové zhodnocení možností a vyhodnocení vybraných technicko-technologických parametrů.

Metodika:

1. Literární rešerše na dané tma (červenec–září 2021).
2. Stanovení hodnocených parametrů (bude probíhat v průběhu tvorby literární rešerše a parametry budou stanoveny postupně: srpen–listopad 2021)
3. samotné zjištění parametrů a jejich zpracování (měření parametrů, jejich změny a částečně vyhodnocení proběhne v průběhu prosince 2021 a ledna 2022).
4. vyhodnocení výsledků (první čtvrtletí roku 2022).
5. závěr a diskuse – odevzdání (březen nebo duben 2022).

Doporučený rozsah práce: min 30

Klíčová slova: CNC obrábění, CNC obráběcí centrum, Technicko – technologické parametry

Doporučené zdroje informací:

1. Csanády, E. a Magoss, E.; Mechanics of Wood Machining; Springer 2013; s 202; ISBN 978-3642299544
2. Csanády, E. et al.; Quality of Machined Wood Surfaces; Springer 2015; ISBN 978-3-319-22418-3

3. DAVIM, J. P. Surface Integrity in Machining. 1. vyd. London: Springer. 2010. 215 s. ISBN 978-1-84882-973-5.
4. DAVIM, J. P. Wood machining. London: Wiley, 2011. ISBN 978-1-84821-315-9.
5. SIKLIENKA, M.; KMINIAK, R. Delenie a obrábanie dreva. Technická univerzita vo Zvolene. 2013a. 207 s. ISBN 978-80-228-2618-1.

Předběžný termín obhajoby: 2021/2022 LS – FLD

Elektronicky schváleno: 14.7. 2020

Ing. Radek Rinn

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno: 21.10. 2020

Prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Stolní CNC obráběcí centrum a možnosti jeho využití“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Miroslava Sedleckého Ph.D. a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V _____ dne _____

Podpis autora

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Miroslavovi Sedleckému Ph. D., za profesionální přístup, odborné a cenné rady, vstřícnost, ochotnu a čas, který mi po celou dobu tvorby této práce věnoval.

Dále bych chtěl poděkovat své matce Ing. Ivaně Mrtkové, za podporu a korekci při psaní této práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na vyhodnocení možností použití stolního CNC od firmy StepCraft. Celkové zhodnocení možností a vyhodnocení vybraných technicko-technologických parametrů.

V rešeršní části je popsáno obrábění, CNC obrábění, popis CNC obráběcích strojů a jejich softwarového řízení a programování. Současně se v této části věnuje práce bukovému dřevu a jeho vlastnostem.

Praktická část obsahuje řešení technicko-technologických parametrů na stroji i na obráběném povrchu bukového dřeva. Při zkoumání povrchu byla zjišťována hodnota drsnosti (Ra) a vlnitosti (Wa), při proměnných otáčkách vřetene (10 000, 15 000, 20 000 ot/min) a posuvu (0,04 a 0,08 mm/ot). Dále je v této části vyhodnocení a srovnání stolního CNC od firmy StepCraft s konkurenčními produkty uvedenými na trhu.

Klíčová slova: CNC obrábění, CNC obráběcí centrum, Technicko-technologické parametry

Abstract

This bachelor thesis is focused on the evaluation of the possibilities of using modeling CNC from the company StepCraft. Overall evaluation of possibilities and evaluation of selected technical-technological parameters.

The research part describes machining, CNC machining, description of CNC machine tools and their software control and programming. At the same time, this part deals with the work of beech wood and its properties.

The practical part contains the solution of technical and technological parameters on the machine and on the machined surface of beech wood. The surface roughness (Ra) and corrugation (Wa), variable spindle speeds (10,000, 15,000, 20,000 rpm) and feed (0.04 and 0.08 mm / rev) were determined when examining the surface. Furthermore, in this part is the evaluation and comparison of table CNC from the company StepCraft with competing products launched on the market.

Keywords: CNC machining, CNC machining center, Technical-technological parameters

Obsah

1	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	11
2	ÚVOD.....	13
3	CÍL PRÁCE.....	14
4	TEORETICKÁ ČÁST	15
4.1	Buk lesní (<i>Fagus silvatica</i> L.).....	15
4.2	Obrábění	16
4.2.1	Frézování.....	17
4.3	Historie CNC strojů	19
4.3.1	Vývojové stupně CNC strojů	20
4.4	Definice CNC stroje	22
4.4.1	Dělení CNC strojů.....	23
4.4.2	Souřadnice řídicí osy	25
4.4.3	Systémy měření dráhy a vztažné body na CNC strojích	26
4.4.4	Schéma CNC obráběcího stroje a jeho řízení.....	27
4.4.5	Konstrukce základních částí CNC obráběcích strojů.....	29
4.4.6	Stavba CNC programu	31
4.4.7	Struktura věty	32
4.4.8	CAD/CAM systémy	32
4.5	Měření kvality povrchu	33
5	METODIKA	35
5.1	Použitý materiál.....	35
5.2	Použité vybavení v podobě strojů.....	36
5.2.1	CNC obráběcí centrum StepCraft D.840.....	36
5.2.2	Kontaktní profilometr FORM TALYSURF 50 Intra	36
5.2.3	Použité nástroje	37

5.3	Použité softwarové vybavení.....	38
6	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	39
6.1	Průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti – Ra	39
6.2	Průměrná aritmetická úchylka profilu vlnitosti – Wa	41
6.3	Porovnání CNC obráběcích center podle výrobců	44
6.3.1	Vevor 4axis CNC Router 6040	44
6.3.2	Volter L8020	45
7	ZÁVĚR.....	47
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	48

1 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1: Masivní buk – vzhled	15
Obrázek 2: Druhy frézování	18
Obrázek 3: Hlavní druhy frézování	19
Obrázek 4- Kartézský systém souřadnic	25
Obrázek 5: Vztažné body CNC stroje	27
Obrázek 6: Schéma řízení CNC obráběcího stroje.....	28
Obrázek 7: Zobrazení ovládacího panelu CNC stroje.....	29
Obrázek 8: Schematické zobrazení struktury větvy	32
Obrázek 9: Drsnost povrchu.....	34
Obrázek 10: Vlnitost povrchu	34
Obrázek 11:Stolní obráběcí centrum – Stepcraft D.840 (foceno z čela).....	36
Obrázek 12: Stolní obráběcí centrum – Stepcraft D. 840 (foceno z profilu)	36
Obrázek 13: Kontaktní profilometr FORM TALYSURF 50 Intra	37
Obrázek 14: Frézka pro CNC StepCraft D-Serie	38
Obrázek 15: Software UCCNC for STEPCRAFT	38
Obrázek 16: Vliv změny otáček vřetene na drsnost povrchu.....	39
Obrázek 17: Vliv změny posuvu na drsnost.....	40
Obrázek 18: Hodnocení drsnosti	40
Obrázek 19: Vliv změny otáček vřetene na vlnitost povrchu	42
Obrázek 20: Vliv změny posuvu vřetene na vlnitost povrchu	42
Obrázek 21: Hodnocení vlnitosti.....	43
Obrázek 22: StepCraft D.840	44
Obrázek 23: Vevor 4axis CNC Router 6040.....	45
Obrázek 24: CNC centrum – Volter L8020	46

Tabulka 1: Důležité fyzikální a mechanické vlastnosti.....	15
Tabulka 2: Parametry měření podle normy ČSN EN ISO 4287 (1999).....	37
Tabulka 3: Vliv faktorů na drsnost s využitím Duncanova testu	41
Tabulka 4: Vliv faktorů na vlnitost s využitím Duncanova testu.....	43
Tabulka 5: Technická specifikata – StepCraft D.840	44
Tabulka 6: Technická specifikata – Vevor 4axis CNC Router 6040.....	45
Tabulka 7: Technická specifikata - Volter L8020.....	46

2 ÚVOD

Dřevo je nejstarší lidmi používaný materiál. V minulosti bylo používáno jako zdroj tepla, ale také ke stavbě prvních obydlí či k výrobě, ať už primitivních, tak i k velmi sofistikovaných nástrojů a strojů.

V současné době, kdy se společnost zabývá obnovitelnými materiály, čím dál tím více se ukazuje, že dřevo má své výhody a kvality nejen pro dnešek, ale především do budoucna. Nevýhody dřeva, které mohou souviset s jeho odolností či nedostatkem v různých světových oblastech, už nejsou neřešitelným problémem díky různým způsobům ochrany dřeva a jeho logistice prakticky po celém světě.

Tato práce je zaměřena na CNC obrábění dřeva a na CNC stroje jako takové. Tyto stroje mají v budoucnu, kdy se stále více skloňují slova jako automatizace, či průmysl 4.0, obrovský potenciál k využití. CNC obráběcí stroje jsou již desetiletí používány v kovovýrobě, ale ani v dřevařském odvětví nejsou nikterak pozadu. I přesto je poměrně málo malých závodů či firem, které disponují CNC stroji pro obrábění dřeva. Ale to by se podle veškerých předpokladů mělo v blízké budoucnosti změnit.

A právě to je důvod, proč je tato bakalářská práce zaměřena na technologii obrábění masivního dřeva na CNC obráběcím stroji a vyhodnocení jejich technicko-technologických parametrů.

3 CÍL PRÁCE

Práce by měla zhodnotit možnosti využití stolního CNC centra. Vzhledem k povaze cíle jsme zvolili především srovnání s konkurenčními stroji v obdobné třídě a pro hodnocení technicko-technologických parametrů jsme zjišťovali změnu kvality povrchu (drsnost – Ra; vlnitost – Wa) v závislosti na proměnných otáčkách vřetene (10000, 15000, 20000 ot/min) a posuvu (0,04, 0,08 mm/ot).

4 TEORETICKÁ ČÁST

4.1 Buk lesní (*Fagus sylvatica* L.)

Buk jakožto rod rostlin zahrnuje deset druhů stromů, které patří do čeledi bukovité. Jako zástupce tohoto rodu můžeme uvést: buk lesní (*Fagus sylvatica*), buk východní (*Fagus orientalis*), buk lesklý (*Fagus lucida*), buk velkolistý (*Fagus grandifolia*), buk japonský (*Fagus japonica*). Tyto stromy se vyskytují na severní polokouli v mírném pásu, můžeme je naléznout ve východní části severní Ameriky, v západní a střední Evropě a také ve východní části Číny, korejském poloostrově a v Japonsku. U nás v České republice se vyskytuje pouze buk lesní, stejně jako ve většině Evropy. Ten běžně dorůstá i výšek lehce převyšujících čtyřiceti metrů. Je to tedy velký strom s relativně štíhlým kmenem a jeho koruna má tvar vejce. (Walker, 2009)



Obrázek 1: Masivní buk – vzhled
(<https://www.gastronabytek24.cz>, 13.2. 2022)

Tabulka 1: Fyzikální a mechanické vlastnosti

Hustota	540–720–910 [při vlhkosti 12-15 % v kg/m ³]
Objemové sesychání	14,0 – 17,9 – 21,0 [%]
Pevnost v tlaku	41–62–99 [N/mm ²]
Pevnost v ohybu	74–123-210 [N/mm ²]

Trvanlivost tohoto dřeva je velmi malá, také je málo odolné vůči houbám a hmyzu, není odolné proti povětrnostním vlivům. Pro použití v exteriérech je třeba ho řádně ošetřit. (Vigué, 2006)

Buk je listnatá dřevina vyskytující se ve střední, západní a jižní Evropě. Od severu Španělska přes jih Švédska až do pohoří Balkánského poloostrova. Na severu je to strom rostoucí na rovinách, na jihu jen v pohořích. Buk lze dále nalézt na východním pobřeží Severní Ameriky, v Japonsku a na pobřeží východní Číny. (Wagenfür, 2002)

V Evropě rozloha buků zaujímá 10 % z celkového množství lesů. Což odpovídá rozloze okolo 17 miliónů hektarů bukových lesů.

4.2 Obrábění

První nástroje používané na obrábění dřeva jsou známy již ze starší doby kamenné (jeden milión – 5.000 let před naším letopočtem). Těmto nástrojům se říká eolity, byly tvořené nejprve neopracovanými kameny (křemen, pazourek, křemenec). Poté se jednalo o hrubě opracované kameny, které jsou dnes označovány jako pěstní klíny. Tyto nástroje neměly žádné úchyty, takže je člověk musel uchopit přímo do ruky. Sloužily jako primitivní sekery, vrtáky nebo pilky. Nástroje tohoto typu jsou užívány i dnes některými kmeny původního obyvatelstva Oceánie a Jižní Ameriky. V mladší době kamenné neboli neolitu (5.000 – 2.000 let před naším letopočtem), se již člověk nezabývá pouze lovem, ale začíná si stavět obydlí a věnovat se zemědělství. Zhotovují se první broušením hlazené nástroje jako jsou sekery, klíny nebo dláta. Pazourek je již štípáním upravován do ostrých tvarů. Pro výrobu nástrojů se využívaly i části lámané břidlice, které byly broušené jemným pískovcem. U těchto nástrojů se již vyskytovala dřevěná topůrka. V této době se již začalo objevovat hoblování. V bronzové době (2.000 – 800 let před naším letopočtem) se díky novému materiálu bronzu podařilo značně zmenšit úhel břitu. I přesto, že tehdejší „řemeslníci“ měli k dispozici pouze sekery, dláta a teslice, dokázali vyrábět poměrně složité a krásně zdobené předměty. V době železné (800 – 100 let před naším letopočtem) začínají být bronzové nástroje měněny za železné. Jednalo se převážně o sekery, dláta, vrtáky a pořízy, které už jsou velmi podobné těm dnešním. V této době byl také vynalezen pilový list. Podle tvarů jeho zubů můžeme říct, že pracovní pohyb byl směrem k tělu. Všechny stroje byly až do roku 1778 poháněny lidskou, zvířecí nebo přírodní silou, po tomto roce se začaly objevovat první parní stroje. A koncem 19. století se začíná veškerý pohon strojů uskutečňovat pomocí elektrických motorů. (Prokeš, 1978)

Nejdůležitější objevy:

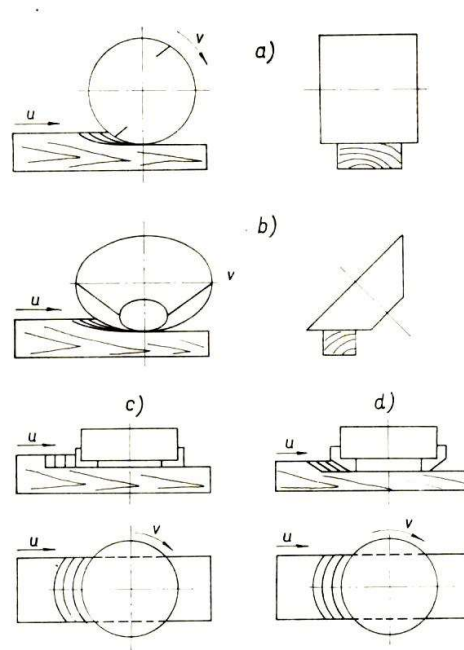
- Okolo roku 1.500 před naším letopočtem se v Egyptě začaly vyrábět dýhy.

- Okolo roku 500 před naším letopočtem byl v Řecku vynalezen hoblík. Ten byl spolu s pilou a vrtákem nejdůležitější nástroj až do vynálezu frézky v roce 1776.

4.2.1 Frézování

Jako frézování je označováno obrábění otáčejícím se nástrojem (většinou buď frézou nebo frézovací hlavou) a jeho následným posuvem ve směru kolmo k ose otáčení nástroje. Při užití tohoto způsobu obrábění je docíleno rovného a hladkého povrchu, přesných rozměrů obrobku, ale také vytváření tvarových ploch. Frézovací nástroj se otáčí většinou proti směru posuvu nástroje, tomu se říká frézování nesousledné. V případě, kdy je směr posuvu a směr otáčení nástroje shodný, jedná se o sousledné frézování. Podle ploch, které jsou tvořeny otočným pohybem břitu nástroje a polohou osy otáčení nástroje, dělíme frézování na čtyři druhy:

- a) **Válcové** – Při tomto frézování břity opisují válcovou plochu a zároveň je rovnoběžná osa otáčení nástroje a obrobená plocha.
- b) **Kuželové** – u tohoto druhu frézování opisují břity kuželovou plochu a skloněná osa otáčení je pod určitým úhlem k obrobené ploše.
- c) **Čelní** – v tomto případě je osa otáčení kolmá na obrobenou plochu a břit opisuje válcovou plochu, boční břity vykonávají v principu stejnou práci jako u válcového frézování ve směru kolmém k dřevním vláknům a čelní břity jsou ve vztahu rovnoběžném k obrobenému povrchu.
- d) **Čelně kuželové** – stejně jakou u čelního frézování je i zde osa kolmá s obrobenou plochou, ale liší se skloněním břitů k obráběnému povrchu s určitým úhlem.

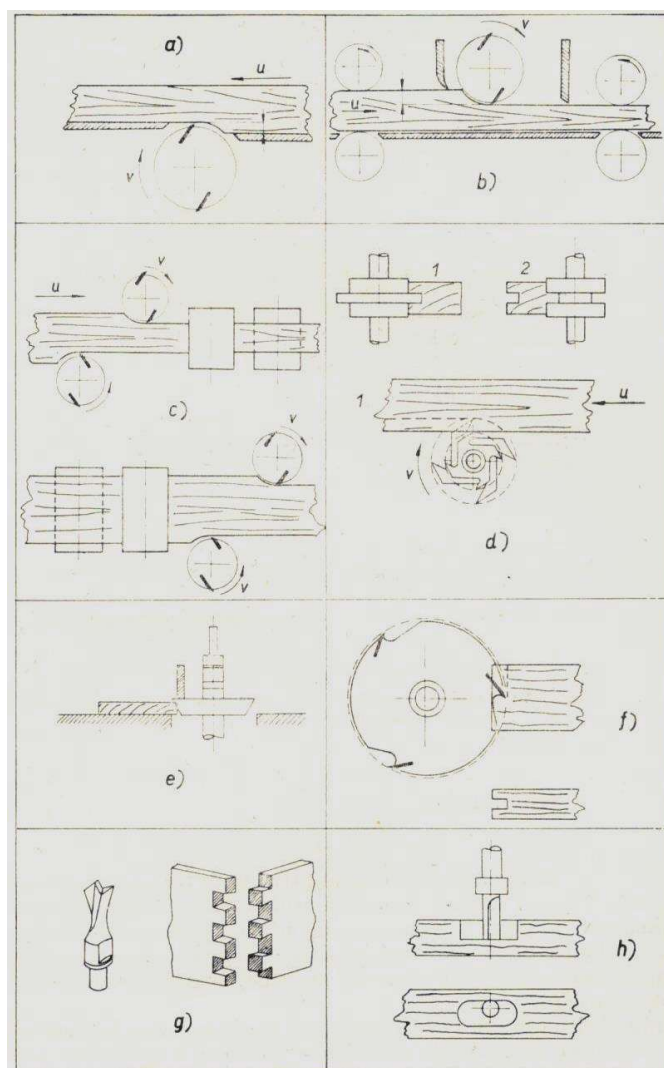


Obrázek 2: Druhy frézování
(Prokeš, 1978)

Obrobek je v reálných situacích frézován ve všech směrech vzhledem na průběh vláken dřevní hmoty, avšak nejčastější směr frézování je v rozmezí podélného a příčného směru vláken. (Prokeš, 1978)

Hlavní druhy frézování jsou:

- a) Srovnávání (nožovým hřídelem)
- b) Tloušťkování
- c) Dvoustranné frézování
- d) Frézování pera a drážky
- e) Frézování úhlovou frézou
- f) Čepování
- g) Frézování spojů rybinovací frézou
- h) Frézování vrchní frézou



Obrázek 3: Hlavní druhy frézování
(Prokeš, 1978)

4.3 Historie CNC strojů

Historie číslicového řízení obráběcích strojů neboli CNC strojů sahá do konce první poloviny 20. století v USA, kdy vrcholila druhá světová válka. Jako zakladatel tohoto zařízení je považován John T. Parson. Tento zajímavý pán byl mechanikem a obchodníkem. Zabýval se výrobou helikoptér a tehdy začala vznikat myšlenka slova automatizace. K Johnovi T. Parsonovi se přidali další tři pracovníci. Jeden z nich Curtis Wright používal pro technické výpočty metodu, při které potřeboval kalkulačku s děrnými štítky. Další mechanik Stulen se zmínil o jiné technologii – převádění výpočtů pevnosti pro rotory, a to byl zvrát prvních automatizovaných výpočtů pro rotory helikoptér. John T. Parson se začal zabývat myšlenkou, jak vytvořit úplně automatizovaný stroj, kde by nebyla potřeba ruční práce. Po roce 1950 navázal spolupráci s laboratoří MIT. Ta došla k závěru, že jeho objev by se mohl do budoucna vylepšit a být velmi výnosným, co se týče přesných řezů.

V dalších letech firma Herbert ukázala světu první soustružnické centrum s rotačními nástroji pro vrtání a frézování. Stroje s názvem NC dokázaly ukládat programy do své paměti. A to byl zlom, kdy mohly přijít CNC stroje. S tímto strojem přišla první firma Kearney&Trecker a jeho název zněl FMS-PVS. Na rozdíl od NC strojů měl tento nový model řízení vlastním počítačem, který řídí výrobní proces. V 90. letech byli CNC stroje vylepšeny o další funkce, a to velkokapacitním zásobníkem s mezi operační dopravou nástrojů a obrobků, dále se zlepšila jejich přesnost a rychlost. V dnešní době můžeme o těchto strojích říct, že přišla úplně nová generace, ve které jde o vytváření multifunkčních strojů a o sjednocení hardwaru a softwaru. CNC stroje prošli v historii vývojem, kterým se budu zabývat v další kapitole – Vývojové stupně CNC strojů. (Kvietková, 2015)

4.3.1 Vývojové stupně CNC strojů

Vývoj CNC strojů probíhal za přítomnosti vývojových stupňů. Postupně po sobě následovalo celkem šest vývojových stupňů, které mají tyto základní charakteristiky a nevýhody:

1. Vývojový stupeň – CNC stroje prvního stupně vznikly z běžných konvenčních strojů a byly doplněny o číslíkové řazení. Nevýhodou je vysoká nepřesnost a malá spolehlivost, proto byly tyto stroje nahrazeny vyšším stupněm strojů.
2. Vývojový stupeň – řízení CNC stroje druhého stupně se realizuje v určitých cyklech, jsou doplněny o automatickou výměnu nástrojů, kterou zajišťuje revolverová hlava. Za nevýhodu může být považováno to, že jednotlivé opotřebené nástroje je nutno měnit ručně.
3. Vývojový stupeň – stroje z tohoto vývojového stupně jsou využity v automatizovaných výrobních sestavách a jsou navíc vybaveny automatickou výměnou obrobků. V tomto vývojovém stupni umí systém řízení automaticky vybrat potřebný nástroj k obrobě. Nevýhodou těchto strojů je skutečnost, že i v této generaci se jednotlivé opotřebené nástroje vyměňují ručně. Výhodou těchto strojů je jejich variabilita zajištěná stavebnicovou strukturou a s tím spojená ekonomicky příznivější výroba.
4. Vývojový stupeň CNC strojů je již zcela automatický jak v oblasti výměny nástrojů, obrobků a manipulaci s třískami, tak i v oblasti následné mezioperační dopravy. Tím je zaručeno kontinuální fungování stroje, tudíž je vhodný pro práci v třísměnném provozu. Jako další výhody lze uvést automatickou výměnu opotřebených nástrojů ze zásobníku nebo také jeho schopnost využívat při práci moderní technologie (např. laserové paprsky).

5. Vývojový stupeň – pátý stupeň je od čtvrtého doplněn o mechatronické prvky, díky nimž dokáže měřit rozměry obrobků v průběhu obrábění měřicími sondami. Stroj najde chyby a opraví je pomocí polohování nebo programem pro dodržení výkresových rozměrů. Jsou vylepšeny řezné podmínky a zvládne měřením laseru zjistit polohu nástroje.
6. Vývojový stupeň – tento stroj vychází z dosavadních zkušeností z předchozích vývojových stupňů a minimalizuje tím jejich nevýhody. Typická vlastnost tohoto stroje je vybavenost řídicími systémy vysoké kvality a rychlou automatickou výměnou nástrojů. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací a udržovací náklady a požadavek na kvalifikované programátory NC programů, které však jsou převáženy pozitivy: levnější výroba, nižší koncová cena výrobku, méně pracovníků, vysoká přesnost a kvalita obrábění, lze snadno měnit výrobní programy a tím i rozšiřovat spektrum vyráběných produktů včetně možnosti opětovné výroby. (Kvietková, 2015)

V současné době se lze ve výrobě setkat téměř se všemi vývojovými stupni strojů. Je snaha o modernizaci provozoven na nejvyšší stupeň, avšak rozhodující je finanční rentabilita stroje a možnosti provozu.

4.4 Definice CNC stroje

„Číslicově řízené výrobní stroje (CNC) jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem (ŘS) stroje pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapsány v programu pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin znaků, kterým říkáme bloky nebo věty. Program je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby požadovaná výroba součásti proběhla v pořadí zadaném po jednotlivých blocích, které jsou napsány v NC kódu.“
(Štulpa, 2015, s. 9)

4.4.1 Dělení CNC strojů

CNC stroje lze dělit do skupin dle různých hledisek (např. dle řídicího systému, dle druhu operace, dle tvaru obráběného obrobku, dle vykovávané práce, aj.).

4.4.1.1 Rozdělení číslicově řízených strojů podle řídicího systému

Číslicově řízené stroje se dle řídicího systému dělí do tří skupin:

1. NC stroje (numeric control neboli číslicové řízení) – tato kategorie strojů využívá ke svému řízení speciální kombinaci čísel a znaků. Tyto symboly vytváří kód. V tomto kódu má každé písmeno i číslo svůj vlastní význam. Seřazením symbolů určitým způsobem vznikne NC program (G kód). Tento program je vpravován do stroje pomocí paměťového média (např. na děrné pásce, která obsahuje vždy pouze jeden NC program). Ve stroji dochází k přeměně těchto dat do elektrických impulzů, které následně zpracovává řídicí systém. Ten následně tyto informace postupně vyhodnocuje a vykonává programem dané úkoly.
2. CNC stroje (computer numeric control neboli počítačové číslicové řízení) – princip jejich práce je stejný jako u NC strojů, ale ke svému řízení je využíván počítač, který dokáže vytvořit, editovat a pružně upravit program i během výrobního procesu. Díky tomu stroj dokáže rychle a snadno opakovat úkony, přecházet na jiný program a tím se i adaptovat na výrobu různých druhů výrobků v krátkém čase. V současnosti jsou tyto stroje neoddelitelnou součástí větších výrobních provozoven v mnoha průmyslových oborech. CNC stroji můžeme obrábět mnoho materiálů (např. kov, plasty, dřevo). (Josten, Reiche, Wittchen, 2010)
3. DNC stroje (distributed numerical control neboli přímé číslicové řízení) – tyto stroje jsou napojeny přímo do počítačové sítě, která ústí do jednoho hlavního počítače. Tento model je využíván v případech, kdy má samostatný CNC stroj malou paměť anebo při obrábění složitého povrchu. Jako výhody DNC strojů lze zmínit snížení prostojů CNC strojů, snížení počtu pracovníků při stejném počtu strojů. (Zelený, 1999)

4.4.1.2 Rozdělení CNC strojů podle druhu operací

Podle druhu operací jsou CNC stroje děleny do dvou skupin:

1. **Jednoprofesionální kategorie** – jsou určeny pro výkon jednoho jediného druhu operace, který vykonávají kvalitně a spolehlivě (např. frézování, soustružení).

- 2. Víceprofesní kategorie** – jsou určeny pro výkon jednoho i více druhu operace při jednom upnutí. Jsou nazývány obráběcími centry. Patří sem např. obráběcí centra pro výrobu obrobků hřídelových a přírubových, obráběcí centra pro výrobu skříňovitých součástí a obráběcí centra pro výrobu rotačních i nerotačních součástí s určitým omezením operací.

4.4.1.3 Rozdělení dle tvaru obráběného obrobku:

- Stroje využívané na obrábění obrobků rotačního tvaru,
- Stroje pro výrobu skříňových obrobků,
- Stroje umožňující výrobu rotačních i nerotačních součástí.

4.4.1.4 Rozdělení dle druhu informací a řízení stroje:

- Informace o geometrii obrábění (údaje o pohybech nástroje a obrobku),
- Informace o technologii obrábění – lineární ovládání funkcí (posuv, frekvence otáčení),
- Pomocné a přípravné informace - (například tuhost supportu, oběh chladícího média).

4.4.1.5 Podle vykonávané práce

- CNC stroje pro obrábění – soustruhy, frézky, brusky, obráběcí centra, stroje pro dělení materiálu, stroje pro nekonvenční obrábění (drátové řezačky, laserové vrtačky, plazmové řezačky atd.)
- Ostatní CNC stroje – lisy, ohýbačky, svařovací roboty, dopravní manipulátory atd.)
(Kvietková, 2015)

4.4.1.6 Rozdělení podle počtu souvisle řízených pracovních os

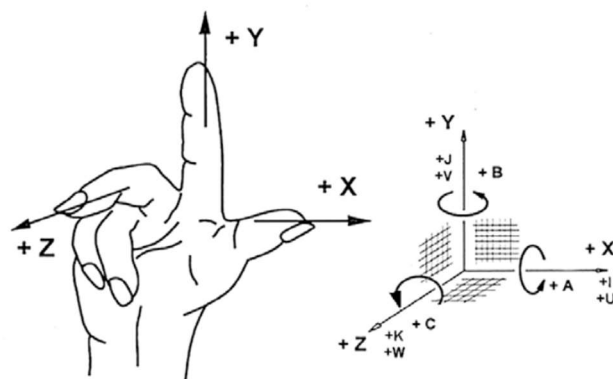
Množství os, podle kterých koná stroj svůj pohyb, je základním předpokladem pro splnění nároků na funkčnost stroje. Jejich počet určuje to, ve kterých osách zvládne stroj obrábět. Nejzákladnější stroje jsou dvouosé, nejkomplikovanější jsou pětiosé. V praxi lze zjistit, že na některé úkony bude stačit např. pouze dvou – či tříosý stroj, proto je vhodné důkladně analyzovat, jaké operace a jaká očekávání jsou na konkrétní stroj kladeny.

1. Dvouosé stroje se dokážou pohybovat pouze po dvou na sebe kolmých osách, a to v jedné rovině dané pracovní rovinou stroje. To znamená, že k obrábění v různých rovinách je třeba více strojů s různou výškou pracovní roviny stroje.
2. Tříosé stroje používají pro svůj chod tři na sebe kolmé pracovní osy. Obrábění probíhá nástrojem, který koná pohyb mezi dvěma prostorově definovanými body. Pokud nástroj vykonává rotující pohyb ve směru své osy, jde o vrtání, při pohybu rovnoběžném, se jedná o frézování.

3. Čtyřosé stroje se liší od tříosých tím, že zvládnou naklánět po ose svou pracovní rovinu nebo dokážou naklonit nástroj kolem jedné z os obrobku. Pohyby v tomto stroji vykonává většinou nástroj podle os X, Y, Z a A. Také se lze setkat s frézovacími stroji, které jsou totožné s tříosým, ale navíc je zde pohyblivá pracovní rovina. Ta koná otočný pohyb vůči nástroji.
4. Pětiosé stroje jsou ze všech předešlých nejsložitější. Od čtyřosých jsou navíc vybaveny pracovní rovinou, která se zvládne otáček okolo dvou na sebe kolmých os. Nástroj se v tomto stroji pohybuje po osách X, Y, Z a pracovní stůl, na kterém je upevněn obrobek, se otáčí okolo os A a B. Díky schopnosti těchto strojů vykonávat množství pohybů v pěti různých směrech produkují tyto stroje nejsložitější produkty. Toto se ovšem odráží v jejich vysoké ceně. (Svoboda, 1998)

4.4.2 Souřadnice řídicí osy

V procesu obrábění musí být v trojrozměrném pracovním prostoru stroje každý jeden bod určen a označen. Určování probíhá za pomoci tří os pravoúhlého systému souřadnic. Tyto osy jsou shodné s pohybovými osami stroje. Nulovým souřadnicovým bodem je možno označit bod, ve kterém se protínají hlavní osy X, Y a Z. Program řídí a popisuje body obrábění a pojezdové dráhy v souřadnicovém systému, do kterého je umístěn obrobek. Při programování je zapotřebí vycházet z toho, že se pohybuje pouze nástroj, ale obrobek zůstává v klidu. Jako kladný směr pohybu je označován směr otáčení hodinových ručiček při pohledu od bodu souřadnic. Označují se jako +X, +Y, +Z. Pohyby A, B, C je možno označit jako rotační pohyby kolem os X, Y, Z. Uspořádání souřadnic je popisováno pomocí pravidla pravé ruky. (Štulpa, 2015)



Obrázek 4- Kartézský systém souřadnic
(Štulpa, 2015)

Definice pravidla pravé ruky:

„Z toho vyplývá následující uspořádání:

Osa x (směr palce) probíhá rovnoběžně s upínací plochou a přední hranou stolu tedy horizontálně;

Osa y (směr ukazováčku) probíhá horizontálně, kolmo k ose x;

Osa z (směr prostředníčku) je kolmá na rovinu upínání, shodně s hlavním pracovním vřetenem stroje.“ (Josten, Reiche, Wittchen, 2010, s. 258)

Přídavné osy (doplňkové)

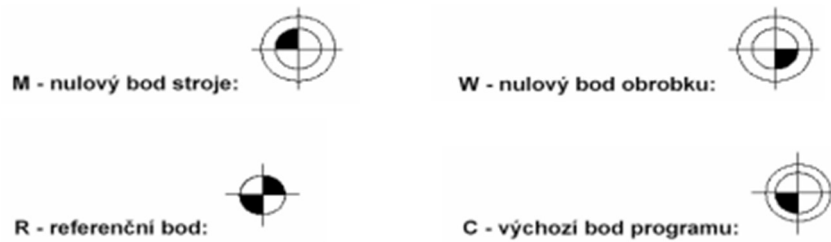
O přídavné posuvné a otočné osy jsou rozšířeny pětiosé CNC stroje, u čtyřosých je přítomna pouze jedna z uvedených os. Přídavné osy se používají se pro speciální operace s výkyvnými a posuvnými pohyby.

4.4.3 Systémy měření dráhy a vztažné body na CNC strojích

Zde je ukázka čtyř základních vztažných bodů, které jsou nezbytné pro řízení průběhu programu.

- 1. Nulový bod stroje (M)** – je určován výrobcem stroje. Používá se jako základní bod, ze kterého vychází všechny další vztažné body a je konstantní.
- 2. Referenční bod (R)** – výrobce stroje ho určí v systému souřadnic stroje. Z tohoto bodu se provádí normování ovládání a jeho start. Pomáhá při náhlém vypnutí či při výpadku proudu nalézt nulový bod programu a obrobku.
- 3. Nulový bod obrobku (W)** – tento bod určuje výrobce programu. Při chytrém zvolení tohoto bodu dokáží souřadnice z výkresu zobrazit míry zhotovení. Pokud nastane situace, že výrobek bude symetrický, je výhodnější začít programovat na ose symetrie obrobku. (Svoboda, 1998)
- 4. Nulový (výchozí) bod programu (C)** – je bodem, ve kterém program začíná pracovat. Je libovolně umístěn do místa, ve kterém je možná výměna nástroje.

Vzdálenost nulového bodu stroje a nulového bodu obrobku je nazván posunem nulového bodu.



Obrázek 5: Vztažné body CNC stroje
(<https://www.vut.cz>, 20.2.2022)

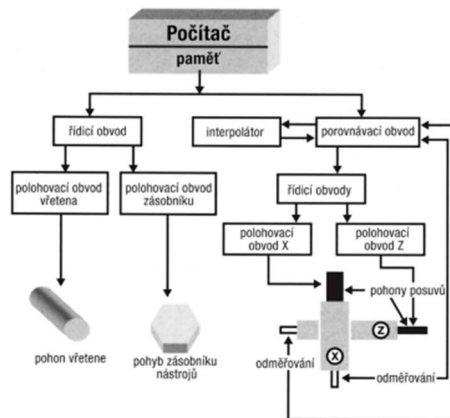
4.4.4 Schéma CNC obráběcího stroje a jeho řízení

Počítač – v průmyslovém počítači je vložen řídicí systém. Tento řídicí systém je dílem různých autorů. Musí však splňovat kritéria dané strojem a počítačem, ale i podmínky předpokládané výrobní technologie, která bude použita. Obsluhou je vnímán jako obrazovka s ovládacím panelem. Díky ovládacímu panelu je možno CNC obráběcímu stroji udělovat příkazy, v případě potřeby ručního ovládání (při seřizování) zvládne za účasti softwaru řídicího systému vytvářet CNC program. Tento program je možné naprogramovat i na samostatném počítači a následně ho vložit do řídicího systému stroje. Je uchováván v paměti stroje a pro jeho aktivaci je potřeba povel obsluhy.

Řídicí obvody – v této části stroje dochází k transformaci logických signálů na silnoproudé elektrické signály. Těmi jsou ovládané následující části stroje: motory vřetene, posuvné motory, aj.

Interpolátor – v CNC stroji má funkci ovladače dráhy nástroje, ta může být přímková, kruhová i ve šroubovici. Dokáže kalkulovat i se zadanými délkovými korekcemi a korekcemi na průměr nástroje. Umí počítat dráhové vzdálenosti mezi bloky od nulového bodu programu, kde nástroj startuje, do konečného bodu, kde končí stroj svou práci. Je zodpovědný za to, že výrobek bude přesně geometricky obroběn podle programu.

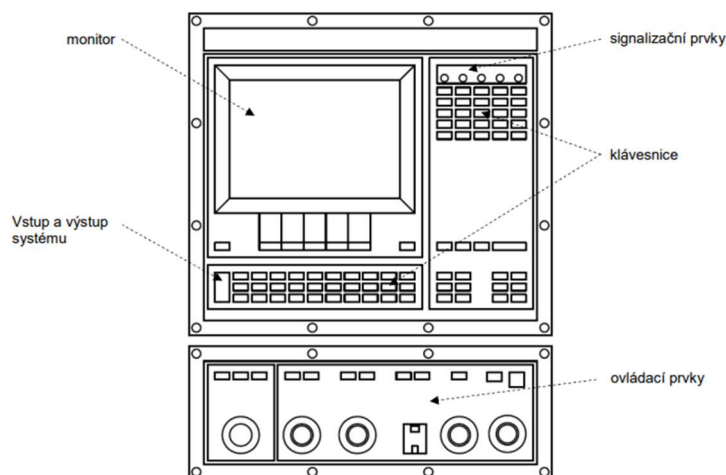
Porovnávací obvod – slouží pro porovnání souřadnic dosažených nástrojem a hodnotami souřadnic určené programem (které jsou již upraveny v interpolátoru). Pokud tento obvod odhalí nějaký rozdíl, pošle sérii povelů k částem zajišťujících pohyb a dokáže díky tomu zkorigovat polohu nástroje zpět ke správným souřadnicím zadaných programem.



Obrázek 6: Schéma řízení CNC obráběcího stroje (Štulpa, 2015)

Řídicí panel – každý výrobce CNC strojů přichází s různými typy řídicích panelů. Všechny ale obsahují základní prvky:

- vstup dat – část alfanumerická, díky této části je možno vytvořit program, zadat data o nástrojích, seřízení stroje a strojní konstanty
- ovládání stroje – část speciální, způsobuje pohyb obrobku nebo nástroje, rychlost otáček a velikost posuvu
- volba režimu práce – mezi základní režimy patří ruční režim, automatický režim a režim B-B (blok po bloku). Používají se třeba v případě potřeby seřízení stroje, lze samostatně nastavit rychlost otáček a velikost posuvu. Další možnosti využití jsou při editaci nového programu, ověření programu a vlastní automatické výroby.
- aktivace paměti
- aktivace testů
- obrazovka – je využívána k vizuální kontrole probíhajících úkonů
- přenosný panel – je napevno kabelem připevněn k řídicímu panelu. Slouží jako mobilní zařízení, které poskytuje kontrolu i v rámci většího prostoru při prohlídce stroje. (Štulpa, 2015)



Obrázek 7: Zobrazení ovládacího panelu CNC stroje
(<http://www.sjf.tuke.sk>, 22.2. 2022)

4.4.5 Konstrukce základních částí CNC obráběcích strojů

CNC obráběcí stroje mají 11 základních částí.

1. **Rámy** – jsou tvořeny z částí (lože, stojany, příčnický, konzoly, sloupy). Na jejich mechanických vlastnostech (např. tuhosti) je závislá v nezanedbatelné míře přesnost práce stroje. Při jejich navrhování je nutno dbát na následující kritéria: výběr správného materiálu, správné mechanické vlastnosti, odvod třísek, malá hmotnost, schopnost snadné manipulace se strojem, jednoduchá efektivní výroba. Jako nejčastější materiály pro výrobu rámu jsou používány šedá litina, ocel, ocelolitina a v současnosti i nezelezné materiály, např. beton nebo polymer-beton.
2. **Vřetena CNC obráběcích strojů** – „úlohou vřetena je zaručit obrobku (u soustruhů) nebo nástroji (u fréz, vrtačky, brusky) přesný otáčivý pohyb, tj. takový, při němž se dráhy jednotlivých bodů obrobků nebo nástroje liší od kružnice jen v přípustných mezích.“ (Marek, Učeň, 2010, s. 32) V drtivé většině případů je ukládáno vřeteno do valivých ložisek. Ve zbývajícím jednom procentu případů se vřeteno ukládá do rotačních hydrostatických ložisek. Vřeteno je považováno za velmi důležitý konstrukční prvek obráběcích strojů. Z tohoto důvodu jsou na něj kladeny velké požadavky – přesnost chodu, dokonalé vedení, ztráty v uložení vřetena musí být co nejmenší, vřeteno musí být tuhé.
3. **Posuvné soustavy CNC obráběcích strojů** – v současnosti jsou používány lineární servomotory nebo elektromechanická posuvná soustava. Oboje zajišťují uskutečnění posuvu. Rovněž na posuvné soustavy jsou kladeny vysoké požadavky – vysoká tuhost, velký regulační rozsah, přijatelná dynamika a kinematika a přesnost signálů bez zkreslení.

4. **Rotační náhonové soustavy CNC obráběcích strojů** – rozdělují se do dvou skupin: nástrojové rotační náhonové soustavy (zajišťují náhon vřetene a pohon naklápěcích hlav), obrobkové rotační náhonové soustavy (ty slouží k pohonu rotačních a naklápěcích stolů).
5. **Automatická výměna nástrojů u CNC obráběcích strojů** – slouží k polohování, upínání a manipulaci nástrojů. Existuje velké množství konstrukčních řešení pro automatickou výměnu. Mezi základní požadavky, na které je kladen důraz, patří: co nejkratší časový interval pro výměnu nástroje, velká spolehlivost, ideální kapacita zásobníku, požadavek prostorové nenáročnosti, odolné proti prachu a třískám. Používají se zásobníky několika typů (revolverové, centrální, kruhové, diskové, řetězové, velkokapacitní).
6. **Automatická výměna obrobků u CNC obráběcích strojů** – zajišťuje jí soubor funkcí, které slouží pro upnutí obrobku, jeho polohování a manipulaci s ním. Výhodou strojů, které disponují touto konstrukční částí je, že se stroj nemusí zastavovat během výměny obrobku.
7. **Nástrojové soustavy CNC obráběcích strojů** – nástrojů využívaných k obrábění je velká škála. Jsou typizované, ale i tak se na jejich provedení kladou vysoké nároky: nároky na flexibilitu a kvalitní systém upnutí, přesnost nástroje a jeho polohy, snadná a rychlá změna nástroje, jednoduchá obsluha a dodržování norem a standardů. Mezi tři základní nástrojové soustavy je možno zařadit sestavy pro obrábění nerotačních obrobků, rotačních obrobků a jejich vzájemné kombinace.
8. **Aktivní kontrola, adaptivní řízení a technická diagnostika CNC obráběcích strojů** – je to základní součást, díky níž je docílena bezobslužnost daného výrobního stroje. Tyto prostředky umožní vyšší přesnost výroby a minimalizování lidských chyb. Dokážou předcházet poškození stroje prostřednictvím mnoha diagnostik a kontrol.
9. **Číslicové řízení CNC obráběcích strojů** – tato část má sedm základních funkcí. Těmi jsou: řízení pohybu, geometrie pohybu, programování, transformace souřadnic, korekce nástroje, technologické, diagnostické a kontrolní funkce, obsluha a vizualizace.
10. **Média a odvod třísek v konstrukci CNC obráběcích strojů** – jako média používaná v CNC strojích jsou označovány tyto elementy: elektrický proud (je využíván pro pohony, části specializované pro ovládání a řízení a pro bezpečnostní prvky), olej (může mít funkci chladicího média, maže kluzné plochy a zvládne ovládat pomocné funkce), vzduch (plní kontrolní funkci – pomocí tlakového snímače a funkci čistící - stroj se jím čistí), řezná kapalina (jejím hlavním úkolem je odvod tepla a snížení odporu tření při

obrábění), třísky (odvod třísek je realizován za pomoci gravitace, odsáváním nebo splachováním a odplavováním) .

11. Ochranné kryty CNC obráběcích strojů – jejich hlavním významem je ochrana pracovníků výroby proti potřísnění chladicí kapalinou, proti oddělenému materiálu (třískám) a proti pohyblivým částem stroje. (Marek, Učeň, 2010)

4.4.6 Stavba CNC programu

„Řídící program je soubor číselně vyjádřených informací, které podrobně popisují činnost stroje. Prostředky pro programování zachovávají jednoduchou skladbu slov a používají neomezeného souboru znaků. Program se zhotovuje v tzv. strojovém kódu.“ (Svoboda, 1998, s. 32)

Existují tři základní části programu:

1. **Technické informace** – je v nich dána technologie obrábění, a to výběrem správných řezných podmínek.
2. **Geometrické informace** – ty udávají geometrický tvar produktu tím, že určují dráhu nástroje a celou jeho trajektorii.
3. **Pomocné a přídatné informace** – ty jsou potřebné pro ostatní úkony stroje, které zaštiťují výrobu produktu.

Programování je možno rozdělit:

1. Podle způsobu programování:

- ruční programování
- strojní programování

2. Podle způsobu vyjádření souřadnic:

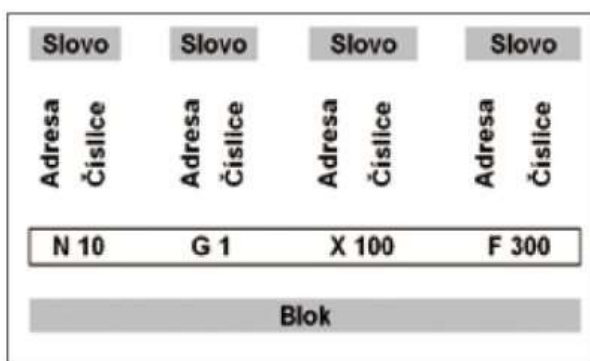
- absolutní programování (Při tomto programování je řešeno, jak se z nulového bodu dostat do bodu požadovaného.)
- přírůstkové programování (Toto programování není moc běžné. Pro tento způsob je souřadnicová soustava umístěna na hrotu nástroje. Neexistuje pro ni nulový bod obrobku. Při tomto programování je řešeno, o kolik bude posunut nástroj v osách X, Y, Z.)
- programování pomocí polárních souřadnic
- parametrické programování

4.4.7 Struktura věty

Každý program je složený z jednotlivých vět (bloků), které jsou zkonstruovány ze slov. Jednotlivé slovo udává právě jeden příkaz. Slovo je tvořeno číselným kódem, před kterým je adresový znak. Každá skupina příkazů je určena jedním znakem. Formát bloku může být buď s konstantní délkou nebo s délkou proměnnou. Rozdíl mezi nimi je ten, že u formátu s proměnnou délkou je možno vynechat slova, která se buď nevyskytují nebo jsou neměnná. Zatímco u formátu s konstantní délkou bloku je nutno zadat všechna slova bez ohledu na to, jestli se opakují nebo nevyskytují. Slova programu se rozdělují na rozměrová a bezrozměrová. Ta rozměrová jsou vyjádřena adresným znakem, jedním znaménkem a určitým počtem číslic. Jako bezrozměrová slova označujeme následující funkce:

1. **Přípravné funkce (G)** – jsou to slova daná dvoumístným číselným údajem a informují stroj o podmínkách obrábění.
2. **Pomocné funkce (M)** – je to také dvoumístný údaj, který je ovšem jedinečný pro každý stroj. Jsou nositeli především informací technologického rázu.
3. **Ostatní technologické funkce** – posuvová funkce (F), otáčková funkce (S), funkce nástroje (T), funkce korekce (D).

Každá věta je označena číslem (N). Toto číslo určuje pořadí a návaznost vět. (Svoboda, 1998)



Obrázek 8: Schematické zobrazení struktury věty
(<https://www.technickytydenik.cz>, 25.2. 2022)

4.4.8 CAD/CAM systémy

Programování v těchto systémech je uplatňováno v praxi stále častěji. Jednou z jeho největších výhod je rychlost, díky které je programátor schopen program vytvořit. Tato výhoda je umožněna díky tomu, že výkres od konstruktéra v digitální podobě je převzat přímo programátorem a ten se už jím nemusí znovu zabývat. Jejich nevýhoda spočívá ve složitosti softwaru, jeho správném ovládnutí, vhodné volbě postprocesoru, obráběcí strategie a použití adekvátní technologie.

CAD (Computer Aided Design neboli počítačová podpora konstruování) - jedná se o počítačový program, který umožňuje kreslení, modelování a konstruování dvou či třírozměrných objektů. Konstruktor v tomto programu vypracuje výkres s modelem obrobku. Tyto materiály společně s kusovníkem (seznam všech částí výrobku) je dále předán technologovi, který zpracuje technologický postup výroby. (Zelený, 1999)

CAM (Computer Aided Manufacturing neboli počítačová podpora výroby) - poté co technolog převezme od konstruktéra výkres a model v digitální podobě, prostuduje je a stanoví pracovní postup v dané technologické operaci. Tato operace v CAM systému je programována tak, aby z ní vycházející CNC program měl parametry ekonomické výhodnosti. ATP nebo CL jsou datové soubory vystupující z CAM systému.

Postprocessor je součástí CAM systému. V postprocesoru jsou ATP nebo CL data přepsána do G a M kódu. Tyto kódy jsou následně vloženy do řídicího systému stroje a podle nich je obrobek vyráběn. (Štulpa, 2015)

4.5 Měření kvality povrchu

Vyhodnocení kvality povrchu je silně spjaté s obráběním jako takovým. Úroveň kvality závisí na následném užití obrobku nebo na jeho další úpravě. V minulosti byla úroveň kvality povrchu velmi omezená, proto se pro určení jakosti povrchu užívalo pouze porovnávacích metod. S následným technologickým vývojem se ale začala přesnost a kvalita obráběných materiálů zvyšovat. V současné době jsou využívány pro vyhodnocení kvality tři metody. Těmi jsou: porovnávací, dotykové a bezdotykové.

Porovnávací metody existují dvě. První je vizuální, při té se kvalita posuzuje pouze lidským zrakem. Druhá je porovnávací, u té se kvalita povrchu určuje pomocí hmatu. Obě tyto metody poskytují velmi nepřesné a subjektivně ovlivněné výsledky.

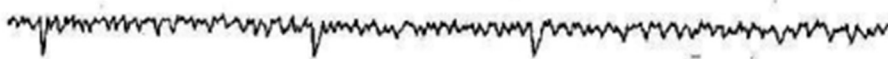
Dotykové metody určují jakost pomocí speciálních přístrojů. Tyto přístroje jsou označovány jako drsnoměry nebo profilometry. Jejich nevýhodou je, že při použití mohou znehodnotit či jinak poškodit zkoumaný povrch.

Bezdotykové metody dokáží být velmi přesné a v současné době se používají čím dál tím více. Je mnoho druhů bezdotykových přístrojů pro měření jakosti povrchu, mezi ty nejpoužívanější patří fotometrické, skenovací a laserové.

Jakost povrchu je určována pomocí dvou profilů. Jedná se o profil drsnosti a profil vlnitosti. K jejich vyhodnocení jsou zpravidla používány průměrné aritmetické úchyly profilu

drsnosti (R_a) a vlnitosti (W_a). Jedná se o výškové parametry profilu. Jsou definovány jako aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky (ČSN EN ISO 4287, 1999).

Drsnost (R) povrchu je označení, které popisuje nejmenší nerovnosti, jež vznikají při obrábění povrchu nástrojem. Jedná se o kvantitativní měřítko stop po nástroji a dalších vlivů, které dohromady tvoří povrchovou texturu. (Hobson, 2011)



*Obrázek 9: Drsnost povrchu
(Jurena, P., 13.5.2011. [online])*

Vlnitost (W) je součástí textury, na které se zkoumá drsnost. Vlnitost je vytvořena většinou vadami a nedostatky na stroji. Vlnitost bývá způsobena např.: nesprávnou geometrií a špatným vyvážením nástroje, vibracemi, vydávanými strojem, špatným uchycením obráběného materiálu atd. (Jurena, 2011)



*Obrázek 10: Vlnitost povrchu
(Jurena, P. 13.5.2011. [online])*

5 METODIKA

Metodika této bakalářské práce se může rozdělit do několika bodů podle chronologického seřazení.

1. Obráběný materiál (bukový masiv) je obroben na stolním CNC obráběcím centru (Stepcraft D.840) při posuvu 0,04 a 0,08 mm/ot a při otáčkách vřetene 10 000, 15 000 a 20 000 ot/min.
2. Na obrobené ploše jsou zjištěny hodnoty Ra (průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu drsnosti, měřená v μm) a Wa (průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu vlnitosti, měřená v μm) za použití profiloměru (Form Talysurf Series 50mm Intra 2)
3. Poté je zapotřebí vyloučit odlehlé hodnoty naměřené profiloměrem (tento krok proběhl v MS Excel), jež jsou následně vloženy do softwaru Statistica 13, ve kterém je provedeno ověření normality rozdělení hodnot pomocí Shapiro – Wilkova testu. Dalším krokem je zjištění shody rozptylu Bartlettovým testem. Na základě předchozích testů se použije Anova (Analýza rozptylu). Vyhodnocování probíhá s pravděpodobností 95 %.
4. Vyhodnocení výsledků a následná diskuse.
5. Porovnání výrobců CNC obráběcích center.

5.1 Použitý materiál

Materiál, který byl použit k obrábění a následnému měření drsnosti a vlnitosti byl buk lesní (*Fagus sylvatica*). Jeho fyzikální a mechanické vlastnosti jsou k dispozici výše v této práci na straně 13. Na ploše buku bylo obrobeno 24 čtvercových vzorků, které měly tvar okének. Tato okénka měla 20 mm x 20 mm a jejich hloubka byla 1 mm.

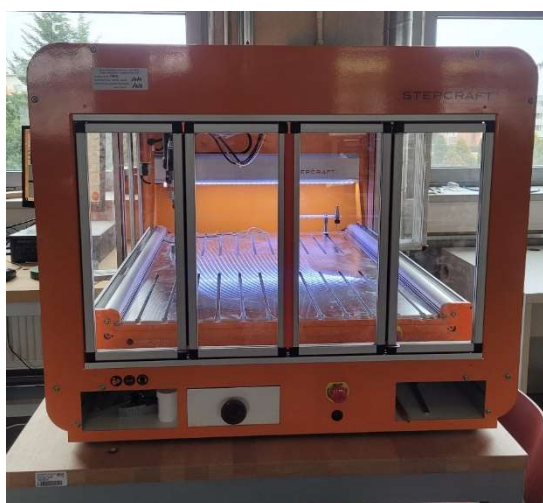
5.2 Použité vybavení v podobě strojů

5.2.1 CNC obráběcí centrum StepCraft D.840

Vzorky pro měření drsnosti a vlnitosti byly vytvořeny pomocí stolního CNC obráběcího centra Stepcraft D.840. Na tomto stroji byly měněny hodnoty posuvu a otáček, čímž se dosáhlo různých hodnot drsnosti a vlnitosti.



Obrázek 11: Stolní obráběcí centrum – Stepcraft D.840 (foceno z čela)



Obrázek 12: Stolní obráběcí centrum – Stepcraft D. 840 (foceno z profilu)

5.2.2 Kontaktní profilometr FORM TALYSURF 50 Intra

Za pomocí kontaktního profilometru FORM TALYSURF 50 Intra byla měřena R_a (průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu drsnosti) a W_a (průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu vlnitosti).



Obrázek 13: Kontaktní profilometr FORM TALYSURF 50 Intra

Při měření profilometrem byl použit diamantový hrot $R=2\ \mu\text{m}$. Nastavení profilometru proběhlo podle normy ČSN EN ISO 4287 (1999), které je v tabulce 2 modře zvýrazněno.

Tabulka 2: Parametry měření podle normy ČSN EN ISO 4287 (1999)

PARAMETRY MĚŘENÍ				
Periodické profily R_{Sm} [mm]	$\lambda_c = l_c$ [mm]	l_n [mm]	l_t [mm]	r_{tip} [μm]
$0,013 < R_{Sm} \leq 0,04$	0,08	0,4	0,48	2
$0,04 < R_{Sm} \leq 0,13$	0,25	1,25	1,5	2
$0,13 < R_{Sm} \leq 0,4$	0,8	4	4,8	2 nebo 5
$0,4 < R_{Sm} \leq 1,3$	2,5	12,5	15	5
$1,3 < R_{Sm} \leq 4$	8	40	48	10

5.2.3 Použité nástroje

Na frézování vzorků byla použita diamantová čelní fréza o průměru 2 mm (\varnothing stopky 4 mm) pro obrábění kompozitních materiálů na bázi uhlíku. Tato fréza je přímo určená pro CNC systémy StepCraft D-Serie.



Obrázek 14: Frézka pro CNC StepCraft D-Serie

5.3 Použité softwarové vybavení

Pro práci na CNC obráběcím stroji byl vytvořen program v softwaru UCCNC software for STEPCRAFT. Tento program byl naprogramován tak, aby vytvořil 24 vzorků, které byly předmětem dalšího zkoumání.



Obrázek 15: Software UCCNC for STEPCRAFT

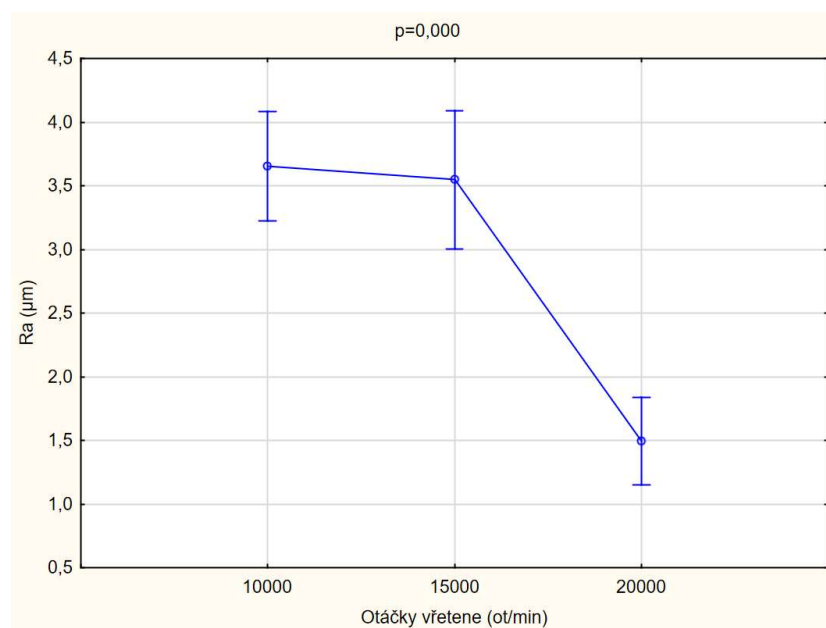
Pro práci s naměřenými hodnotami bylo zapotřebí dvou dalších softwarů, a to Microsoft EXCEL 2019 (Microsoft, Redmont, Washington, Spojené státy americké) a STATISTICA 14 (Statsoft INc., Tulsa, Oklahoma, Spojené státy americké). Díky nim jsou hodnoty naměřené profilometrem vyjádřeny v přehledných grafech.

6 VÝSLEDKY A DISKUZE

6.1 Průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti – Ra

Z obrázku č. 16 je jasně viditelné, že se kvalita obráběného materiálu zvyšuje společně se zvyšováním otáček vřetene. Zatímco při 10 000 ot/min byla drsnost povrchu okolo 3,7 μm , tak u 20 000 otáček se drsnost povrchu zmenšila o téměř dvou a půl násobek na hodnotu 1,5 μm . Mezi 10 000 ot/min a 15 000 ot/min je vidět zlepšení kvality pouze o cca 6 %, zatímco mezi 15 000 ot/min a 20 000 ot/min se kvalita zlepšila cca o 57% lepší.

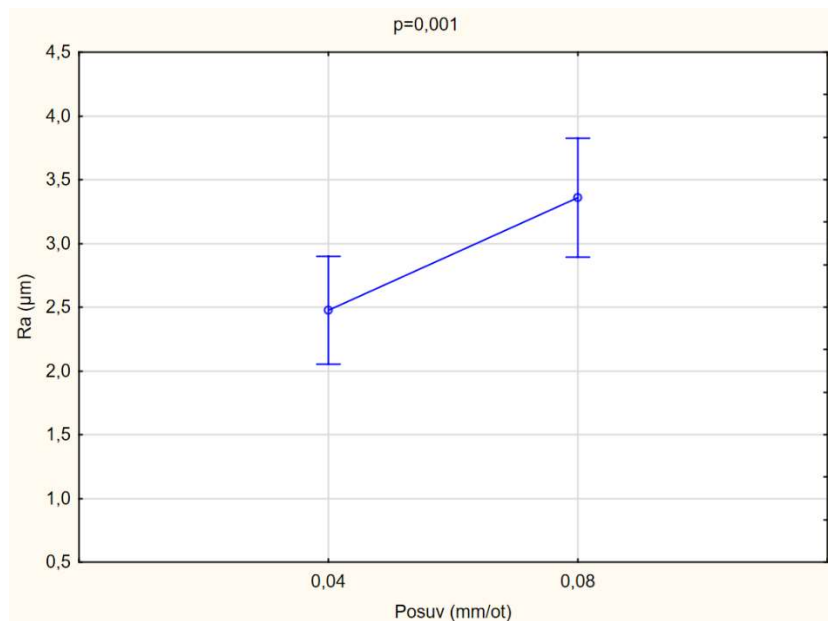
Z toho vyplývá, že drsnost obrobeného povrchu se stoupající rychlostí otáček klesá. Tuto závislost potvrdil ve svém výzkumu i Yasir et al. (2016).



Obrázek 16: Vliv změny otáček vřetene na drsnost povrchu

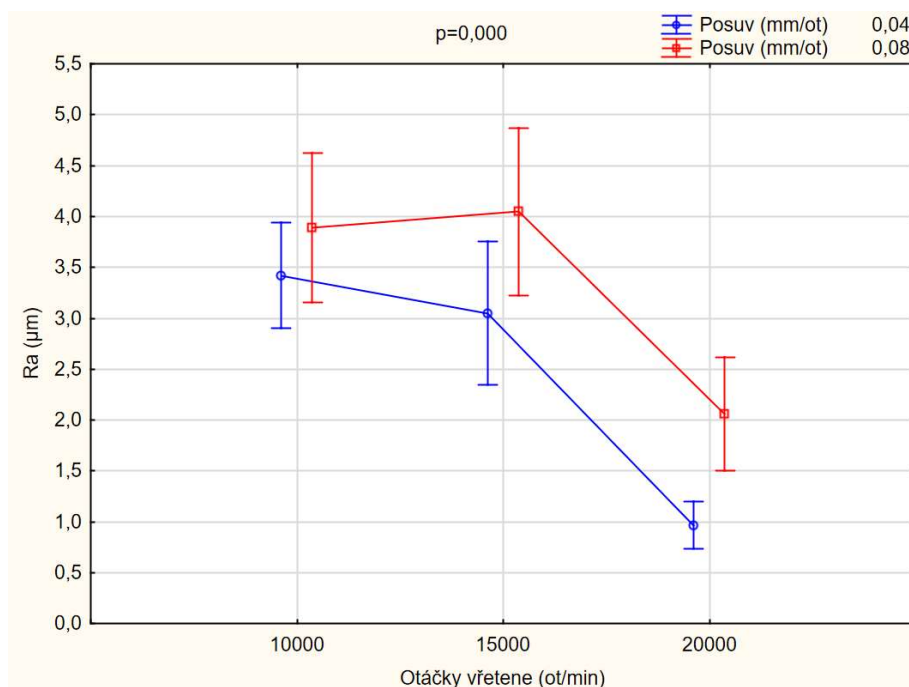
Z obrázku č. 17 se dá vyvodit, že se kvalita obrobeného materiálu snižuje při zvyšování hodnoty posuvu. Je zřejmé, že při posuvu 0,04 mm/ot je hodnota drsnosti na 2,5 μm , ale jakmile se zvýší rychlost posuvu na 0,08 mm/ot, sniží se kvalita obrobeného povrchu o téměř 36 % na hodnotu drsnosti 3,35 μm .

Z naměřených výsledků lze konstatovat, že se zvýšením hodnoty posuvu sniží kvalita obrobeného povrchu, což se projeví na zvýšení hodnoty naměřené drsnosti. Tento výsledek zcela koresponduje s výzkumem Maher, 2008.



Obrázek 17: Vliv změny posuvu na drsnost

Při celkovém zhodnocení se dá z obrázku č. 18 vyčíst, že nejlepší kvality obráběného povrchu se nechá dosáhnout při snížení posuvu a současném zvýšení otáček. To znamená, že nejnižší hodnota Ra byla zjištěna u posuvu 0,04 mm/ot při 20 000 ot/min, a to 0,95 µm. Podobnou závislost ukázal ve svém výzkumu i Škaljic et al. (2009).



Obrázek 18: Hodnocení drsnosti

V tabulce č. 3 jsou hodnoty s významným statistickým rozdílem. Hodnoty jsou označeny černou barvou, nejsou statisticky průkazné a jedná se o hodnoty, kde $p < 0,05$. Naopak červené hodnoty jsou statisticky průkazné, protože se u nich objevuje velmi nízký statistický rozdíl. Z výsledků hodnot, které byly naměřeny, je zřejmý statistický rozdíl mezi posuvem 0,04 mm/ot a 0,08 mm/ot při 20 000 ot/min. V ostatních případech nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v hodnotách drsnosti.

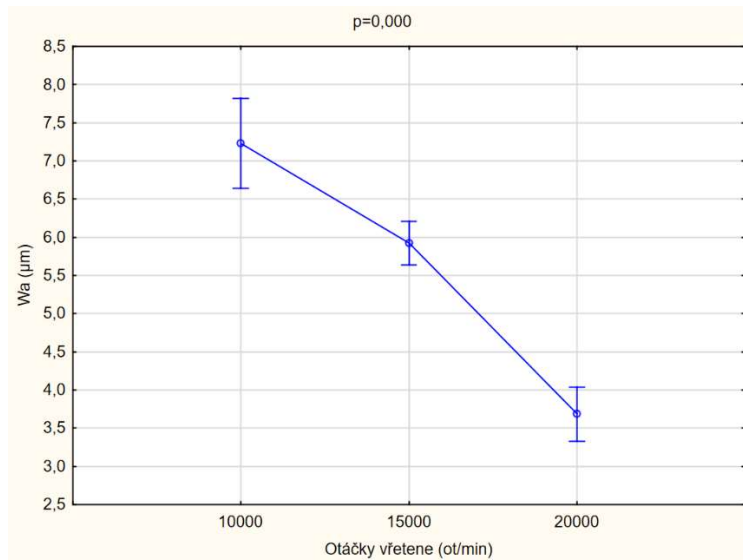
Tabulka 3: Vliv faktorů na drsnost s využitím Duncanova testu

	Otáčky vřetene (ot/min)	Posuv (mm/ot)	{1} 3,4178	{2} 3,8896	{3} 3,0491	{4} 4,0463	{5} 0,965	{6} 2,0605
1	10000	0,04		0,258	0,377	0,157	0,000	0,002
2	10000	0,08	0,258		0,057	0,706	0,000	0,000
3	15000	0,04	0,377	0,057		0,028	0,000	0,019
4	15000	0,08	0,157	0,706	0,028		0,000	0,000
5	20000	0,04	0,000	0,000	0,000	0,000		0,009
6	20000	0,08	0,002	0,000	0,019	0,000	0,009	

6.2 Průměrná aritmetická úchylka profilu vlnitosti – W_a

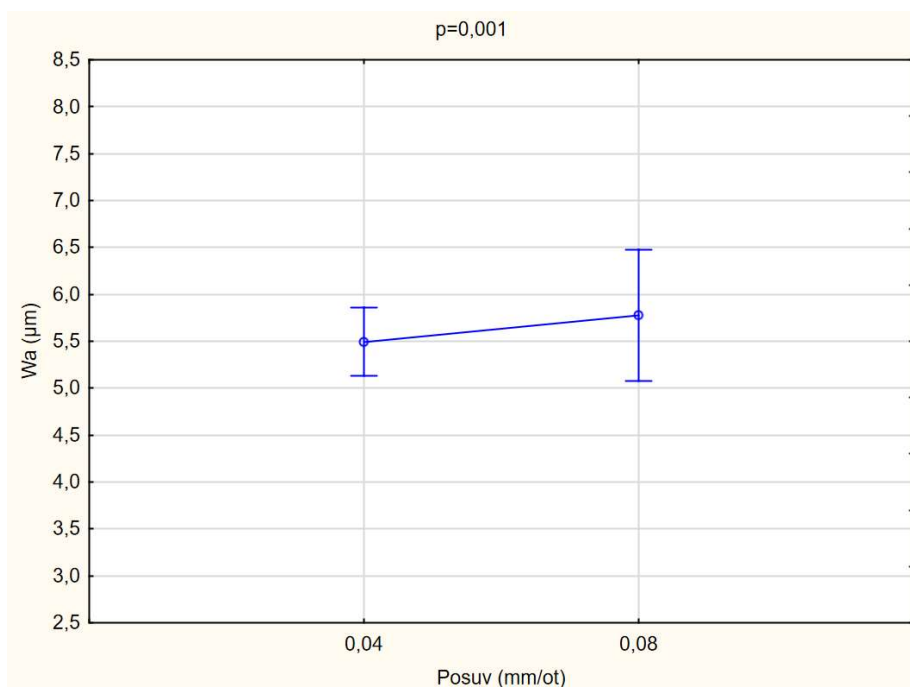
Na obrázku č. 19 je znázorněn graf, který ukazuje závislost mezi vlnitostí povrchu a počtem otáček za minutu. Na tomto grafu je viditelné, že s přidáváním otáček roste i kvalita obrobeneho materiálu. Při 10 000 ot/min je W_a rovna 7,25 μm . Když ale přidáme otáčky na hodnotu 15 000 ot/min, můžeme vidět, že se vlnitost sníží o 18,5 % na hodnotu 5,9 μm . Při dalším nárůstu otáček z 15 000 ot/min na 20 000 ot/min se hodnota vlnitosti sníží z 5,9 μm na 3,7 μm . To je rozdíl, který vychází téměř na 38 %.

Všeobecně je možno konstatovat, že se kvalita obrobeneho povrchu zlepšuje při zvýšení rychlosti otáček. Tuto závislost je možné objevit i u Keturakis a Juodeikienė (2007).



Obrázek 19: Vliv změny otáček vřetene na vlnitost povrchu

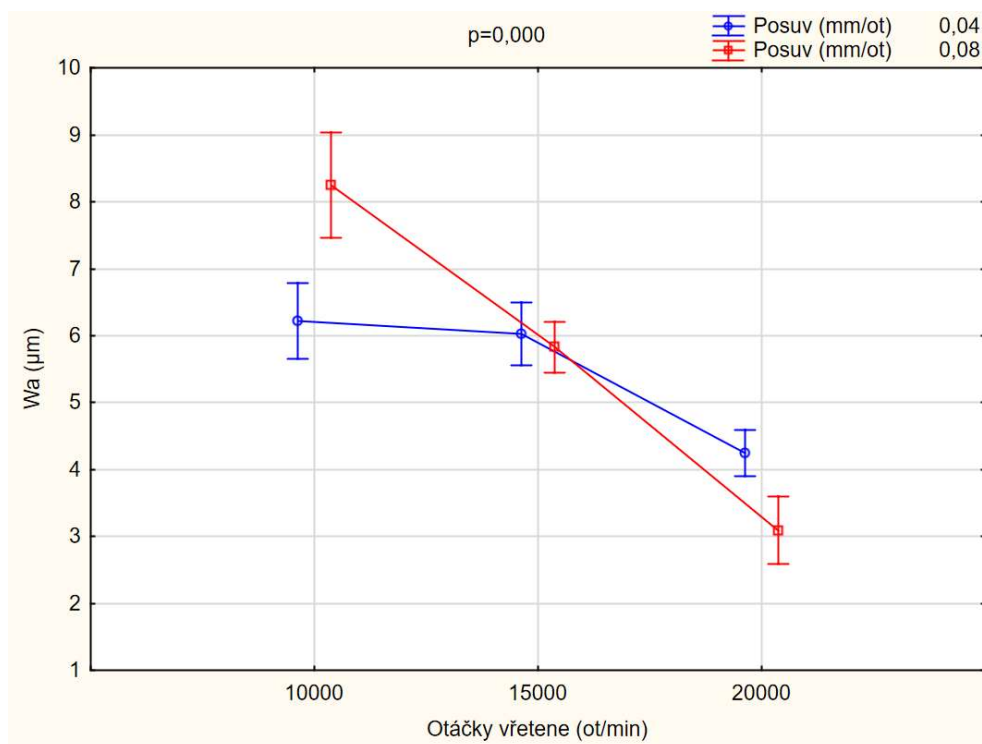
Z obrázku č. 20 je možné určit, že pokud se zvýší posuv z hodnoty 0,04 mm/ot na hodnotu 0,08 mm/ot, je kvalita obrobeneho materiálu menší o 5,2 %, což se projeví ve vzrůstající hodnotě vlnitosti. Ta se změní z původních 5,5 μm na hodnotu 5,8 μm. I tuto korelaci mezi posuvem a vlnitostí ukázali ve své práci Keturakis a Juodeikienė (2007).



Obrázek 20: Vliv změny posuvu vřetene na vlnitost povrchu

Na obrázku 21 je vyobrazen vztah mezi posuvem, otáčkami vřetene a vlnitostí. Zatím co u 15 000 ot/min je hodnota vlnitosti téměř totožná u obou posuvů, na obou stranách se hodnoty vlnitosti velmi liší. Při 10 000 ot/min je u posuvu 0,04 mm/ot hodnota vlnitosti o 24%

nižší než u posuvu 0,08 mm/ot. Ale při 20 000 ot/min je u posuvu 0,04mm/ot hodnota vlnitosti o 38% vyšší. Tato překvapivá a nikým neobjasněná korelace může být způsobena malým počtem testovacích vzorků anebo lidským faktorem.



Obrázek 21: Hodnocení vlnitosti

V tabulce č. 4 jsou hodnoty s významným statistickým rozdílem. Hodnoty označeny černou barvou nejsou statisticky průkazné a jedná se o hodnoty, kde $p < 0,05$. Naopak červené hodnoty jsou statisticky průkazné, protože se u nich objevuje velmi nízký statistický rozdíl. Statisticky významný rozdíl se projevil při 10 000 ot/min a současné hodnoty posuvu 0,08 mm/ot, dále se projevil u posuvu 0,04 mm/ot a 0,08 mm/ot a při 20 000 ot/min. U ostatních otáček a posuvech se staticky významný rozdíl v hodnotách vlnitosti neprokázal.

Tabulka 4: Vliv faktorů na vlnitost s využitím Duncanova testu

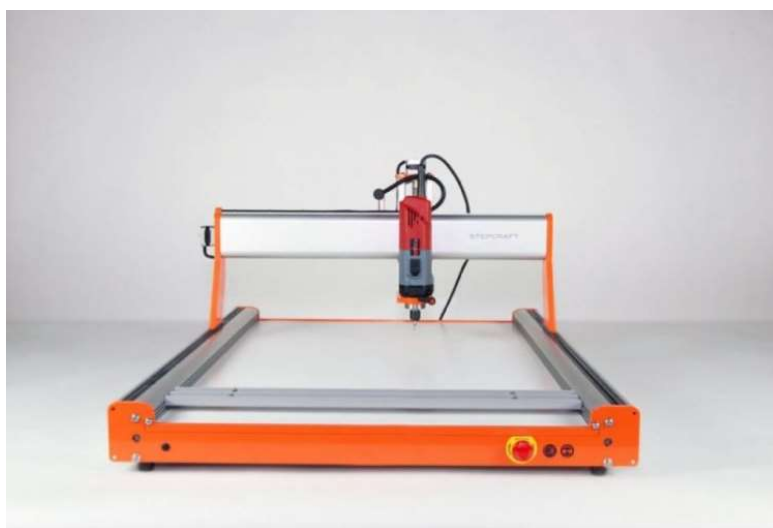
	Otáčky vřetene (ot/min)	Posuv (mm/ot)	(1) 6,2199	(2) 8,2481	(3) 6,0203	(4) 5,8286	(5) 4,2432	(6) 3,1189
1	10000	0,04		0,000113	0,568505	0,294944	0,000048	0,000030
2	10000	0,08	0,000113		0,000053	0,000048	0,000030	0,000025
3	15000	0,04	0,568505	0,000053		0,583838	0,000055	0,000048
4	15000	0,08	0,294944	0,000048	0,583838		0,000128	0,000053
5	20000	0,04	0,000048	0,000030	0,000055	0,000128		0,001907
6	20000	0,08	0,000030	0,000025	0,000048	0,000053	0,001907	

6.3 Porovnání CNC obráběcích center

6.3.1 StepCraft D.840

Firma StepCraft GmbH byla založena v roce 2012. Jedná se o firmu, která sídlí v německém Mendenu. StepCraft má více než 30 zaměstnanců ze 6 zemí světa, a také vlastní dceřinnou společnost StepCraft Inc., která působí v Americe. (<https://www.stepcraft-systems.com/>)

StepCraft D.840 je prvním porovnávaným stolním CNC obráběcím centrem. Na tomto zařízení proběhlo obrábění, ze kterého bylo prováděno měření drsnosti a vlnitosti pro praktickou část této práce.



Obrázek 22: StepCraft D.840
(<https://eshop.profittek.cz>, 5.3. 2022)

Tabulka 5: Technická specifikata – StepCraft D.840

Výkon	1050 W
Otáčky vřetene	5000–25000 ot/min
Hmotnost	31 kg
Maximální pracovní plocha	600 mm x 840 mm x 140 mm
Cena	43 789,90 Kč (s DPH)

6.3.2 Vevor 4axis CNC Router 6040

Vevor je mezinárodní firma, která je zaměřená na výrobu vybavení a nástrojů. Počet jejich zaměstnanců přesahuje jeden tisíc. Má více než 10 miliónů spokojených zákazníků ve 200 zemích světa. Prostřednictvím jejich skladu, které se nacházejí prakticky po celém světě, mají velmi rychlou komunikaci a k tomu adekvátní zákaznický servis.

Z jejich sortimentu byla pro srovnání vybrána stolní CNC frézka Vevor 4axis CNC Router 6040.



Obrázek 23: Vevor 4axis CNC Router 6040
(<https://eur.vevor.com>, 5.3. 2022)

Tabulka 6: Technická specifikata – Vevor 4axis CNC Router 6040.

Výkon	1000 W
Otáčky vřetene	0-24 000 ot/min
Hmotnost	59 kg
Maximální pracovní plocha	750 mm x 480 mm x 75 mm
Cena	26 879,26 Kč (s DPH)

6.3.3 Volter L8020

Česká společnost Volter je jedním z největších výrobců frézovací a gravírovací techniky u nás. Sídlí 60 km od Prahy ve městě Kolíně. Své výrobky prodává jak do východní, tak i západní Evropy, ale i do Asie.

Mezi největší jimi vyráběné CNC centrum patří produkty ze série L. Konkrétně největší CNC stroj jejich výroby je Volter L8020.



Obrázek 24: CNC centrum – Volter L8020
(<https://volter.com>, 5.3. 2022)

Tabulka 7: Technická specifikata - Volter L8020

Výkon vřetene	4,5 – 10 kW
Otáčky vřetene	1 000 – 24 000 ot/min
Hmotnost	4 000 kg
Maximální pracovní plocha	9 300 mm x 2 600 mm x 1 600 mm

Společnost Volter vyrábí tyto stroje na zakázku. Cena se u nich velmi liší z důvodu možného individuálního nastavení a přibojednání mnoha kompatibilních částí.

Při pohledu na konkurenční stroje je jasné, že CNC obráběcí centra jsou velmi všestranná a mají obrovský potenciál k využití. Zatímco ty nejmenší stolní CNC obráběcí centra jsou spíše pro výrobu drobných designových či okrasných prvků, s použitím těch obrovských je možné vyrábět i celé dřevěné stavební konstrukce. To dává CNC centrům široké pole působnosti.

7 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla zaměřena na technologii obrábění stolním CNC obráběcím centrem od firmy StepCraft. Hlavním cílem bylo zhodnotit a porovnat kvalitu obráběného materiálu – buku lesního (*Fagus Silvatica*), a to díky parametru drsnosti a vlnitosti. Dalším cílem bylo srovnání s konkurencí.

V teoretické části řešila práce problematiku obráběného materiálu, obrábění, CNC obráběcích strojů, ale také měření kvality povrchu pomocí profilu drsnosti (Ra) a vlnitosti (Wa).

Praktická část byla složena z metodiky, kde se práce zabývala vytvořením vzorků, na kterých probíhalo měření profilometrem, a také softwarové upravení výsledků do grafické podoby.

Z části s názvem výsledky a diskuze vyplývá, že se zvyšujícími otáčkami vřetene se zvyšuje i kvalita obráběného materiálu, což je zřejmé ze snižujících se hodnot drsnosti i vlnitosti. Při změně posuvu byl pozorován přesně opačný efekt - se zvýšením rychlosti posuvu se sníží kvalita obrobeného materiálu, což se projeví zvýšením hodnot drsnosti a vlnitosti naměřených profilometrem.

Nejnižších hodnot drsnosti a vlnitosti, jakožto ukazatelů kvality obrobeného povrchu frézovaného materiálu, dosáhneme při zvýšení rychlosti otáček a současném snížení rychlosti posuvu. Jestli tento trend pokračuje i do vyšších otáček a zároveň do menšího posuvu bychom mohli určit pouze při dalším zkoumání a nastavování dalších parametrů obrábění.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Literární zdroje

Follprecht, J., Zahradník, J. *Řízení obráběcích strojů*. 2. vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury 1982.

HOBSON T., *Exploring Roundness: A fundamental guide to the measurement of cylindrical form*. 3. vydání. Leicester 2011.

Josten, E., Reiche, T., Wittchen, B. *Dřevo a jeho obrábění*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2010. ISBN 978-80-247-2961-9

KETURAKIS, G.; JUODEIKIENĖ, I. Investigation of milled wood surface roughness. *Materials Science (Medžiagotyra)*. 2007. 47-51. ISSN 1392-1320

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

MAHER, I. *Surface Roughness Prediction in End-Milling Process*. Egypt: Assiut University, Faculty of Engineering. Disertační práce. 2008

Marek, J., Učeň, O. *CNC obráběcí stroje*. 1. vydání. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010. ISN 978-80-248-2329-4.

Prokeš S., *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva*. 2. vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury 1978. DT 674.02

Smith T. G., *CNC Machining Technology*. 1. vydání. Londýn, 1993. ISBN 3-540-19586-6

Svoboda, E. *Technologie a programování CNC strojů*. 1. vydání. Havlíčkův Brod: FRAGMENT, 1998. ISBN 80-7200-297-X.

ŠKALJIĆ, N.; BELJO-LUČIĆ, R.; ČAVLOVIĆ, A.; OBUĆINA, M. Effect of feed rate and wood species on roughness of machined surface. *Drvna Industrija*. 2009. 229-234. ISSN 0012-6772.

Štulpa, M. *CNC Programování obráběcích strojů*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2015. ISBN 978-80-247-5269-3

Vigué J., Dřevo od A do Z. 1. vydání. Praha: Nakladatelství Rebo Productions CZ, s. r. o. 2006. ISBN 978-80-255-0717-9

Wagenfür R., obrazový lexikon Dřevo. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2002. ISBN 80-247-0346-7

Walker A., Dřevo, Velká encyklopedie. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2009. ISBN 1-84566-158-3

YASIR, M.; GINTA T. L.; ARIWAHOEDI, B.; ALKALI, A. U.; DANISH, M. Effect of Cutting Speed and Feed Rate on Surface Roughness of AISI 316L SS Using End-Milling. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016, 2496-2500. ISSN 1819-6608

Zelený, J. *Numerically controlled machine tools and accessories*. 1. vydání. Praha: ČVUT, 1999. ISBN 80-01-01927-6

Internetové zdroje

Akademie CNC obrábění. *Www.technickytydenik.cz* [online]. Praha: Business Media CZ, 2007 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-4_8539.html

DVOŘÁK, Kamil. *VÝROBA SOUČÁSTI NA CNC SOUSTRUHU* [online]. Brno, 2008 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6799. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.

JURENA, P. *Snímání a hodnocení jakosti broušeného povrchu kontaktním a bezkontaktním způsobem* [online]. Zlín, 2011 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/16302/jurena_2011_dp.pdf?sequ%20ence=1. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Vladimír Pata.

L série. *Volter.com* [online]. Kolín: Volter, 2022 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://volter.com/cz/catalog/l_serie

Masivní buk – barva b.1 přírodní buk. *Www.gastronabytek24.cz* [online]. Strážnice: gastronabytek24, 2022 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.gastronabytek24.cz/cz/Barvy-dreva/masivni-buk-barva-b-1-prirodni/>

Příručka CNC programování (Vitalab_Title). In: *Www.sjf.tuke.sk* [online]. Košice: vitalab, 2011 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/vitalab/upload/CNC%20prirucka_CZ.pdf

STEPCRAFT-2/D.840 KIT. In: *Eshop.profittek.cz* [online]. Praha: © Profittek, 2022 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://eshop.profittek.cz/konstrukni-kit/stepcraft-2-d-840/>

Vevor 4axis Cnc Router 6040. *Eur.vevor.com* [online]. Londýn: Vevor, 2009 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://eur.vevor.com/wood-engraving-machine-c_11142/vevor-4axis-cnc-router-6040-machine-tool-6063-industrial-aluminum-durable-cutter_p_010620179346?gclid=CjwKCAjw3cSSBhBGEiwAVII0Z2IpDUisPQP5QcmGVFAPm3DvK5QRjGPrCzoxxNz4oKjGfli19SG5WBoCJH8QAvD_BwE