

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2024

Bc. Vladimír Flandera

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

EDUKATIVNÍ SIMULÁTOR ŘÍDICÍHO PANELU CNC
FRÉZKY

Bc. Vladimír Flandera

Diplomová práce

2024

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Vladimír Flandera**
Osobní číslo: **I22179**
Studijní program: **N0714A150005 Automatické řízení**
Téma práce: **Edukativní simulátor řídicího panelu CNC frézky**
Zadávající katedra: **Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je vytvoření simulátoru panelu k CNC frézování pro edukaci studentů středních průmyslových škol. V simulátoru bude možné volit řezné podmínky (rychlost otáček, řezný posuv) a posuvy v jednotlivých osách. V rámci práce vytvořený virtuální řídicí panel bude napodobovat reálný panel CNC frézky s důrazem na předávání základních znalostí studentům, kteří se tak budou připravovat na práci na reálné CNC fréze. Panel bude dále umožňovat vytvoření nultého bodu při začátku frézování a hlášení kolizních stavů. Simulátor bude umožňovat animaci prováděných úkonů. Bude možné také přepínat mezi ručním a automatickým režimem a bude možné nahrát i externí program z periferie (např. flash-disk).

Teoretická část: Rešerše problematiky týkající se technologie frézování, CNC obráběcích strojů a jejich řízení. Dále rozbor možností tvorby aplikací s využitím programovacího jazyka Python.

Implementační část: Programová implementace simulátoru řídicího panelu v programovacím jazyce Python s využitím vybraného vývojového prostředí. Realizace animací prováděných úkonů při frézování v reálném čase ve zvoleném programovacím jazyce.

Rozsah pracovní zprávy: **cca 60 stran**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

ŠTULPA, Miloslav, 2006. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. Praha, Grada Publishing. 244 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
ŠTULPA, Miloslav, 2022. *Technologie obrábění: CNC soustružení, frézování, vrtání pro praxi*. Praha, Grada Publishing. 158 s. ISBN 978-80-271-2883-9.
FISCHER, Ulrich a kol., 2005. *Základy strojnictví*. 1. vyd. Praha, Europa Sobotáles. ISBN 978-3-8085-1193-0.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Libor Kupka, Ph.D.**
Katedra řízení procesů

Datum zadání diplomové práce: **8. listopadu 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2024**

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Daniel Honc, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 14. listopadu 2023

Prohlášení

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 13.5. 2024

Bc. Vladimír Flandera v. r.

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Liboru Kupkovi, Ph.D., za velmi cenné rady a podporu. Také děkuji své rodině a přítelkyni za podporu a trpělivost při psaní této práce.

V Pardubicích dne 13. 5. 2024

Bc. Vladimír Flandera v. r.

ANOTACE

Cílem této diplomové práce je vytvoření simulátoru řídicího panelu k CNC frézce pro edukaci studentů středních průmyslových škol, zejména prvních ročníků. Simulátor je tvořen v programovacím prostředí Python a obsahuje všechny prioritní funkce pro ovládání a chod CNC frézy včetně animace a nahrání externího programu v G kódu. Student bude moci pracovat v ručním nebo automatickém režimu a volit různé parametry pro obrábění. Student po absolvování tohoto simulátoru bude obeznámen se základními vlastnostmi CNC frézování a bude moci snáze pokročit ke sofistikovanějším programům či k reálnému CNC frézování.

KLÍČOVÁ SLOVA

CNC frézování, G kód, program, fréza, frézka, Python, řídicí panel

TITLE

CNC control panel simulator for education

ANNOTATION

The aim of this master's thesis is to create a simulator of a CNC milling machine control panel for educating students in secondary industrial schools, particularly in the first year. The simulator is developed in the Python programming environment and includes all essential functions for controlling and operating a CNC milling machine, including animation and the ability to load an external program in G-code. Students will be able to work in manual or automatic modes and select various machining parameters. Upon completing this simulator, students will be familiar with the basic features of CNC milling and will be better prepared to advance to more sophisticated programs or actual CNC milling operations.

KEYWORDS

CNC milling, G-code, program, milling machine, mill, Python, control panel

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	12
SEZNAM SYMBOLŮ VELIČIN A FUNKCÍ.....	14
SEZNAM ILUSTRACÍ	15
SEZNAM TABULEK	17
ÚVOD.....	18
TEORETICKÁ ČÁST	19
1 Technologie frézování	19
1.1 Popis frézovacího nástroje	19
1.2 Základní typy frézovacích nástrojů.....	19
1.2.1 Frézy čelní.....	19
1.2.2 Frézy stopkové.....	20
1.2.3 Frézy válcové.....	21
1.2.4 Frézy kulové	21
1.2.5 Frézy kotoučové.....	21
1.3 Ideální volba nástroje.....	22
1.4 Řezné podmínky	22
1.4.1 Řezná rychlost.....	22
1.4.2 Počet otáček	22
1.4.3 Hloubka řezu.....	23
1.5 Metody frézování.....	23
1.5.1 Rovinné frézování.....	23
1.5.2 Obvodové frézování válcovými frézami.....	24
1.6 Řezné materiály	24
1.7 Opatření nástroje.....	24
1.7.1 Druhy opatření nástroje	25
1.8 Frézovací stroje.....	25
1.8.1 Konzolové frézky.....	25
2 CNC obráběcí stroje.....	27
2.1 CNC obráběcí stroje a jejich řízení.....	27
2.1.1 Počítač.....	27
2.1.2 Řídicí obvody.....	28
2.1.3 Interpolátor.....	28
2.1.4 Porovnávací obvod	28

2.2	Řídicí panel	28
2.2.1	Vstup dat	29
2.2.2	Ovládání stroje	29
2.2.3	Volba režimu práce, aktivace testů a paměti, obrazovka.....	29
2.2.4	Přenosný panel	29
2.3	Souřadnicový systém stroje	30
2.3.1	Nulový bod obrobku	30
2.4	Typy řídicích systémů u CNC strojů	30
2.4.1	Řídicí systémy s nesouvislým řízením.....	30
2.4.2	Řídicí systémy se souvislým řízením.....	31
2.4.3	Systémy s absolutním programováním.....	32
2.4.4	Systémy s přírůstkovým programováním	32
2.5	Programování CNC strojů	32
2.5.1	Nejpoužívanější adresy programu CNC stroje	32
2.5.2	Nejpoužívanější G funkce při programování.....	33
2.5.3	Nejpoužívanější M funkce při programování	33
2.5.4	Cykly pro obrábění	34
2.5.5	Využití podprogramů.....	34
3	Programovací jazyk Python	35
3.1	Definice programu	35
3.1.1	Syntaxe.....	35
3.1.2	Sémantika.....	35
3.1.3	Paradigma	36
3.2	Platforma Python	36
3.2.1	Programovací jazyk	36
3.2.2	Vývojové prostředí	36
3.2.3	Vývojové prostředí Sublime text	37
3.3	Knihovny Python	37
3.3.1	Knihovny pro grafy a vizualizaci dat.....	37
3.3.2	Knihovny pro uživatelské rozhraní.....	38
3.3.3	Knihovny pro obrázky	38
	PRAKTICKÁ ČÁST	39
4	Funkce a prvky řídicího panelu CNC frézky	39
4.1	Zvolte nástroj	39

4.2	Zvolte průměr nástroje	40
4.3	Zobrazení pozice nástroje	41
4.4	Ruční ovládání posuvů.....	41
4.5	Řezné podmínky	42
4.6	Nulový bod obrobku	42
4.7	Klávesnice pro korekce.....	43
4.8	Stop tlačítko	43
4.9	Nahrát program	44
4.10	Tlačítka ruční a automatický režim	45
4.11	Vypisování úkonů	45
4.12	Animace prováděných úkonů	46
4.13	Zapnutí/Vypnutí otáček vřetene.....	46
5	Technologický postup práce s panelem	47
5.1	Výběr nástroje.....	47
5.2	Řezné podmínky	47
5.3	Nulový bod obrobku	48
5.4	Začátek obrábění.....	48
6	Automatický/Ruční režim panelu	49
6.1	Testovací G kód	49
6.2	Nahrání programu	50
6.3	Vyhledání funkce a parametrů v souboru	50
6.4	Vypsání daného úkonu automatického režimu	51
6.5	Vypisování daného úkonu v ručním režimu	52
6.6	Animace úkonů v automatickém a ručním režimu	53
6.6.1	Tvorba animační stopy po frézování	55
6.6.2	Změna nástroje viditelná v animaci	56
6.6.3	Tvorba animací pro jednotlivé G funkce	57
7	Tvorba GUI edukativního panelu	58
7.1	Tvorba tlačítek pro ovládání (button)	58
7.2	Tvorba záložek výběru (možnosti)	59
7.3	Tvorba popisů (label).....	60
7.4	Tvorba posuvných ukazatelů (scale).....	60
7.5	Definice funkcí tlačítek.....	61
8	Analýza výsledků.....	62

8.1	Finální úpravy	62
9	Závěr	63
	POUŽITÁ LITERATURA	64
	Přílohy.....	66

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

IDE	Integrated Development Environment
GUI	Uživatelské rozhraní
1D	Jednoosé obrábění
2D	Dvouosé obrábění
2,5D	Dvou-a-půl-osé obrábění
3D	Třiosé obrábění
4D	Čtyřosé obrábění
5D	Pětiosé obrábění
T	Nástroj
D	Paměť korekce nástrojů
G	Geometrická funkce
M	Pomocná funkce
N	Číslo bloku, resp. funkce
F	Posuv
S	Otáčky vřetene
L	Volání programu
G00	Lineární interpolace, která je využita pro rychloposuvy
G01	Lineární interpolace, která je využita pro pracovní posuvy
G02	Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G03	Kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
G17	Pracovní rovina X-Y
G18	Pracovní rovina Z-X
G19	Pracovní rovina Y-Z
G40	Zrušení korekcí

- G41 Zapnutí korekce
- G42 Zapnutí korekce rádiusů
- G54 Posuny nulového bodu
- G90 Absolutní programování
- G91 Inkrementální programování
- G92 Omezení otáček
- G96 Konstantní řezná rychlost
- M03 Otáčky vřetene ve směru hodinových ručiček
- M04 Otáčky vřetene proti směru hodinových ručiček
- M05 Zastavení vřetene
- M06 Výměna nástroje
- M07 Zapnutí čerpadla
- M08 Vypnutí čerpadla
- M09 Vypnutí čerpadla
- M17 Konec podprogramu
- M30 Konec hlavního programu

SEZNAM SYMBOLŮ VELIČIN A FUNKCÍ

v řezná rychlost.

n počet otáček nástroje.

d průměr nástroje.

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1 - Základní typy frézovacích nástrojů.....	19
Obrázek 2 - Čelní fréza.....	20
Obrázek 3 - Stopková fréza.....	20
Obrázek 4 - Válcová fréza.....	21
Obrázek 5 - Kulová fréza.....	21
Obrázek 6 - Kotoučová fréza.....	21
Obrázek 7 - Obvodové a čelní frézování.....	23
Obrázek 8 - Břitová destička.....	24
Obrázek 9 - Vodorovná konzolová frézka.....	26
Obrázek 10 - Svislá konzolová frézka.....	26
Obrázek 11 - Části CNC stroje.....	27
Obrázek 12 - Ovládací panel řídicího systému Sinumerik 828D BASIC T.....	29
Obrázek 13 - Kartézská soustava souřadnic, pravotočivá soustava.....	30
Obrázek 14 - Tvarové vybrání v editoru simulace.....	34
Obrázek 15 - Logo Python.....	35
Obrázek 16 - Logo Sublime text.....	37
Obrázek 17 - Simulátor řídicího panelu ve vývojové fázi.....	39
Obrázek 18 - Volba nástroje.....	40
Obrázek 19 - Volba průměru nástroje.....	41
Obrázek 20 - Zobrazení pozice nástroje.....	41
Obrázek 21 - Ruční ovládání posuvů.....	42
Obrázek 22 - Řezné podmínky a jejich výpočet.....	42
Obrázek 23 - Nastavení nulového bodu obrobku (vlevo), nastavení přírůstku posuvu.....	43
Obrázek 24 - Klávesnice pro korekce.....	43
Obrázek 25 - Stop tlačítko.....	44
Obrázek 26 - Nahrání programu z externí periferie.....	44
Obrázek 27 - Volba pracovního režimu.....	45
Obrázek 28 - Vypisování úkonů.....	45
Obrázek 29 - Start/Stop otáček vřetene.....	46
Obrázek 30 - Volba řezných podmínek.....	47
Obrázek 31 - Základní G kód funkce využitý v automatickém režimu.....	49
Obrázek 32 - Nahrání souboru.....	50
Obrázek 33 - Cyklus pro kontrolu prvků.....	51

Obrázek 34 - Příkaz pro vypsání úkonu.....	51
Obrázek 35 - Jednotlivé příkazy v GUI.....	52
Obrázek 36 - Vypsání pohybu v osách X, Y a Z	52
Obrázek 37 - Vypsání tlačítka +Y	53
Obrázek 38 - Část sekvence příkazů.....	54
Obrázek 39 - Stopa po obrábění a výpis úkonů	54
Obrázek 40 - Část kódu pro zanechání stopy po obrábění	55
Obrázek 41 - Část kódu pro změnu nástroje a názorná ulázka.....	56
Obrázek 42 - Systematické umístění tlačítek.....	59
Obrázek 43 - Příklad tvorby popisů (label)	60
Obrázek 44 - Finální verze panelu s obrobkem	62

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Část testovacího kódu.....	50
--	----

ÚVOD

CNC technologie (Computer Numerical Control) je jedna z klíčových metod, umožňující automatizaci a následné zpracování materiálů. Vzdělávání v oblasti CNC strojů a jejich ovládání má zásadní význam pro přípravu budoucích pracovníků v oboru strojírenství a technických profesí obecně. Zvláště na středních průmyslových školách je důležité poskytnout studentům praktické zkušenosti s těmito technologiemi ještě před jejich vstupem do praxe.

Cílem této diplomové práce je vytvoření simulátoru panelu pro CNC frézování, který bude sloužit jako výukový nástroj pro studenty středních průmyslových škol. Simulátor má za úkol přiblížit studentům praktickou práci s CNC frézou a poskytnout jim prostředí pro zkoušení a zdokonalování svých dovedností bez nutnosti přímého přístupu k reálnému stroji.

Osobní motivace pro výběr tohoto tématu pramení ze zkušenosti autora práce, jelikož vstupoval na Univerzitu Pardubice právě ze střední průmyslové školy strojírenské. Tato zkušenost autorovi dodává blízkost k CNC strojům a zároveň jej inspirovala k propojení dvou technických oborů v rámci této práce.

TEORETICKÁ ČÁST

V této části práce budou rozebírány základní principy, které jsou aplikovány v praktické části této práce. Také jsou zde uvedeny základní pojmy pro správné nastavení jednotlivých prvků v praktické části.

1 Technologie frézování

Fréza, nebo jakýkoliv jiný frézovací nástroj, je upnuta ve vřetení stroje (frézky) a koná primární rotační pohyb. Sekundární pohyb vykonává obrobek. (Štulpa, 2022)

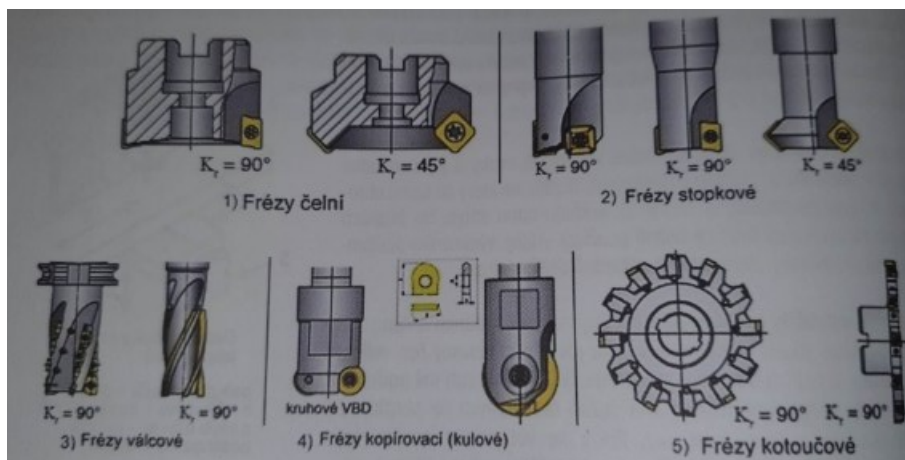
1.1 Popis frézovacího nástroje

Fréza je vícebřitý rotační nástroj, který může být v ojedinělých případech i jednobřitý, kde zuby frézy odebírají třísku. Konstrukce frézy závisí na tvaru obrobku a jeho materiálu. Následně se volí ta fréza, kde má každý zub ideální řezné úhly a počet zubů může být různý. Využívají se jak monolitní frézy, tak i frézy tzv. VBD, kde lze měnit břitovou destičku, která disponuje určitým řezným materiálem. (Štulpa, 2022)

1.2 Základní typy frézovacích nástrojů

Typy fréz lze dělit na několik typů s jinými vlastnostmi viz obrázek 1.

- a) Frézy čelní,
- b) frézy stopkové,
- c) frézy válcové,
- d) frézy kulové,
- e) frézy kotoučové (Štulpa, 2022).



Obrázek 1 - Základní typy frézovacích nástrojů (Štulpa, 2022)

1.2.1 Frézy čelní

Čelní frézování lze rozdělit do dvou kategorií.

- a) Frézování čelní do rohu
- b) Frézování čelních ploch

Frézování čelní do rohu 90° se využívá při frézování venkovní kontury s kolmou stěnou. Lze ji využít taktéž pro frézování čelních ploch, ale je výhodnější použít frézu, která disponuje úhlem 45° . Při frézování do rohu vzniká radiální síla, která může způsobovat vibrace a velmi namáhá vřeteno. Využití této frézy je ideální pro málo tuhé materiály. (Štulpa, 2022)

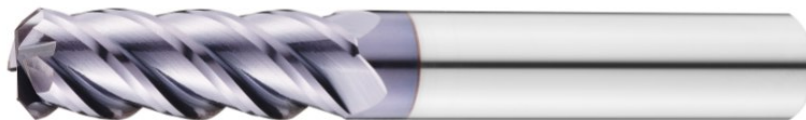
Zatímco při frézování čelních ploch působí řezná síla v radiálních i axiálních složkách a je zapotřebí volit menší výkon stroje. Tríska je tenčí a může se zvolit vyšší posuv. Čelní frézu lze vidět na obrázku 2. (Štulpa, 2022)



Obrázek 2 - Čelní fréza (NAKOL, 2023)

1.2.2 Frézy stopkové

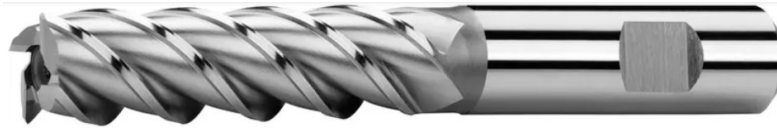
Tímto typem frézy, viz obrázek 3, je možné frézovat axiálně (ve směru osy), což znamená zavrtávat a zapichovat do materiálu obrobku, ale i zároveň čelně frézovat povrch. Nástroj může být vyhotoven z různých materiálů a dle nich se nastavují řezné podmínky. Využívají se i pro vnější kontury a plochy. Například pro hrubování kapes do obrobku. (ŠTULPA, 2022)



Obrázek 3 - Stopková fréza (Sovex, 2023)

1.2.3 Frézy válcové

Tento typ fréz, viz obrázek 4, se především využívá pro obrábění venkovních tvarů. Musí docházet k pravidelnému přerušení třísky, která nesmí být příliš široká. (Štulpa, 2022)



Obrázek 4 - Válcová fréza (ZPS-FN, 2023)

1.2.4 Frézy kulové

Tento typ fréz, viz obrázek 5, se využívá pro obrábění vnitřních tvarů. Vyrábí se pod úhlem $10^\circ - 15^\circ$ a bývá často jedinou volbou při frézování vnitřních rozmanitých tvarů. (Štulpa, 2022)



Obrázek 5 - Kulová fréza (CZNÁSTROJE, 2023)

1.2.5 Frézy kotoučové

Výhodou těchto fréz, viz obrázek 6, je to, že se perfektně hodí pro frézování průběžných drážek. Nástroj může mít opět různé průměry a může být z různých materiálů. Dokonce jej lze použít při dělení materiálu či jako pilu. (Štulpa, 2022)



Obrázek 6 - Kotoučová fréza (Boukal, 2023)

1.3 Ideální volba nástroje

Pro zvolený účel práce je vždy nutné si správně zvolit nástroj, kterým bude daný obrobek zpracováván (obráběn). Musí se vždy zvolit fréza se správnými vlastnostmi, které závisí právě na obráběném materiálu. Pro správnou volbu se musí vycházet z hlavních výhod fréz, ale i zvážit její nevýhody a případná omezení. Měla by se volit fréza co možná nejvíce univerzální pro danou sadu obráběcích procesů, jelikož při každé výměně nástroje dochází k časovým prodlevám a tím, že se zvolí fréza, co možná nejuniverzálnější, tak dochází k optimalizaci celkových nákladů s operacemi souvisejícími. (Štulpa, 2022)

Avšak i s ideálním nástrojem je vždy prioritou, co nejlépe zvolit řezné podmínky zvoleného nástroje (Štulpa, 2022).

1.4 Řezné podmínky

V případě řezných podmínek je zde opět snaha o dosažení nejlepší kombinace. Pokud se zvolí vysoké řezné parametry, tak se zajistí vysoká produktivita, avšak za ekonomické nevýhody jako jsou opotřebení nástroje, trvanlivost nástroje a podobně. (Štulpa, 2022)

Řezné podmínky lze rozdělit na následující parametry:

- Řezná rychlost,
- posuv na zub,
- počet otáček,
- hloubka řezu (Štulpa, 2022).

1.4.1 Řezná rychlost

Řezná rychlost se označuje v a volí se na základě řezného materiálu a také na žádané kvalitě vyhotoveného obrobku. Kvůli různým materiálům a povlakům na nich je nutné bezpodmínečně dodržovat doporučení, které uvádí výrobce. (Fisher a kol., 2004)

1.4.2 Počet otáček

Počet otáček vřetene se označuje n a vypočte se z řezné rychlosti v a průměru zvoleného nástroje d (Fisher, 2004).

$$n = \frac{v}{\pi d} . \quad (1.1)$$

1.4.3 Hloubka řezu

Hloubka řezu nebo šířka řezu se označuje a_p . Označuje hloubku záběru nástroje do obrobku a měří se kolmo k pracovní rovině. Záběr se může měnit dle materiálu nástroje a materiálu obrobku. (Fisher a kol., 2004)

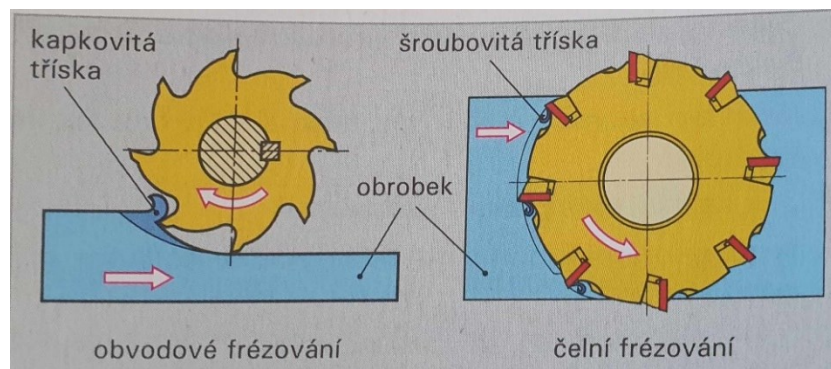
1.5 Metody frézování

Existují různé typy metod frézování, kde každá metoda nese určitá pozitiva a negativa frézování. Metody frézování lze dělit na:

- Rovinné frézování,
- obvodové frézování rovinnými hlavami,
- obvodové frézování stopkovými frézami,
- čelní frézování frézovacími hlavami. (Fisher a kol., 2004)

1.5.1 Rovinné frézování

Obvodové a čelní rovinné frézování se rozděluje dle toho, kde se plocha břitů frézy dotýká s plochou obrobku, viz obrázek 7. Právě při obvodovém frézování zpracovávají obrobek břity, které jsou na obvodu nástroje. (Fisher a kol., 2004)



Obrázek 7 - Obvodové a čelní frézování (Fisher a kol., 2004)

Při frézování obvodem nástroje je výkon frézování nižší, a to z důvodu malého počtu zubů při záběru třísky. Zatímco při čelním frézování vytvářejí obráběnou plochu břity čelní a provádějí primární obrábění. (Fisher a kol., 2004)

Mezi výhody čelního obrábění se řadí:

- Více zubů při záběru (klidnější chod a více opracovaného materiálu za jednotku času),
- lepší odvod třísek (jsou šroubovitě),

- pokud volíme frézovací hlavy, kde jsou k dispozici břitové destičky ze slinutého karbidu, tak umožňují vysoké řezné rychlosti,
- vysoká tuhost (Fisher a kol., 2004).

1.5.2 Obvodové frézování válcovými frézami

Při nesousledném obvodovém frézování je směr řezu břitů proti směru posuvu frézy, proto je zde typické opotřebení hřbetu břitů frézy. Řezná síla směřuje šikmo od obrobku, takže obrobek je tažen nahoru. (Fisher a kol., 2004)

Při sousledném frézování je směr řezu břitů sousledný se směrem posuvu frézy. Obrábění materiálu je zde nárazové a vzniká zde silné opotřebení nástroje. Podmínkou je, že se stůl musí pohybovat bez vůle, jinak je obrobek vztahován pod frézu. (Fisher a kol., 2004)

1.6 Řezné materiály

Řezné materiály se mohou dělit do dvou skupin a to na:

- Rychlořezná ocel,
- břitové destičky ze slinutých karbidů (Fisher a kol., 2004).

Rychlořezná ocel má vyšší houževnatost a pevnost hran, což umožňuje dosažení většího úhlu čela a tenčích třísek (Fisher a kol., 2004).

Oproti rychlořezné oceli umožňují destičky ze slinutých karbidů, viz obrázek 8, vyšší řeznou rychlost a jsou výkonnější (Fisher a kol., 2004).



Obrázek 8 - Břitová destička (Kennametal, 2023)

1.7 Opotřebení nástroje

Frézy zpravidla pracují přerušovaným řezem. Mnohé řezné materiály, včetně řezných destiček, reagují na změny teplot při obrábění. Při záběru se materiál nástroje zahřívá a následně se opět zchladí, a to jak okolní teplotou vzduchu, tak i chladicí kapalinou, a to má neblahý vliv

na životnost nástroje. Reakce nástroje může být únava materiálu nebo odloučováním povlaku. (Fisher a kol., 2004)

1.7.1 Druhy opotřebení nástroje

Nástroj se může poškodit různým způsobem a na různých místech nástroje. Způsoby opotřebení lze dělit takto:

- Opotřebení hřbetu,
- vymílání,
- příčné trhliny,
- hřbenové trhliny,
- vymalování a odlamování,
- nárůstek,
- deformace. (Fisher a kol, 2004)

1.8 Frézovací stroje

Frézovací stroje neboli frézky se vyrábějí v různých provedeních a typech (velikost, výkon apod.). Tyto stroje lze zařadit do třech základních skupin. Jedná se o tyto skupiny:

- Konzolové,
- rovinné,
- speciální. (Vasilko, 1991)

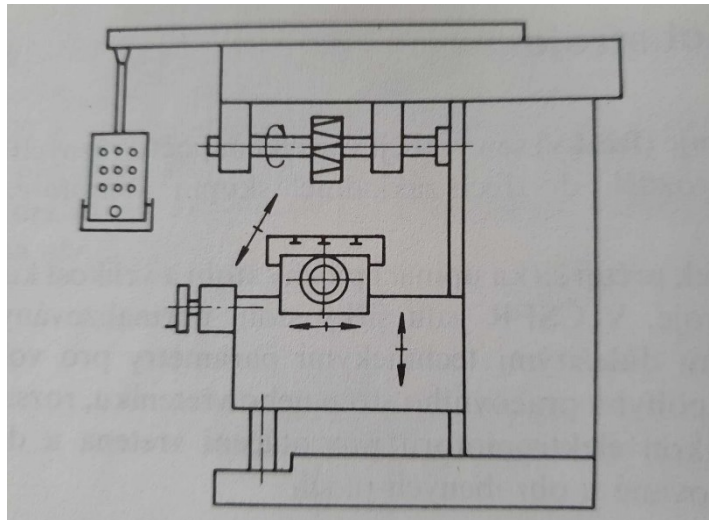
1.8.1 Konzolové frézky

Jednalo se o nejrozšířenější druh frézek (nahrazeny CNC), jejichž charakteristickou částí je konzola. Tato technologie stroje umožňuje ustavení obrobku do libovolné polohy, a to ve třech souřadnicích. (Vasilko, 1991)

Konstrukce pohybů konzoly se realizuje pomocí pohybových šroubů a matic. Tento typ frézek je vhodný pro frézování rovinných a tvarových ploch, a to v kusové či malosériové výrobě. Dále je možné je dělit na:

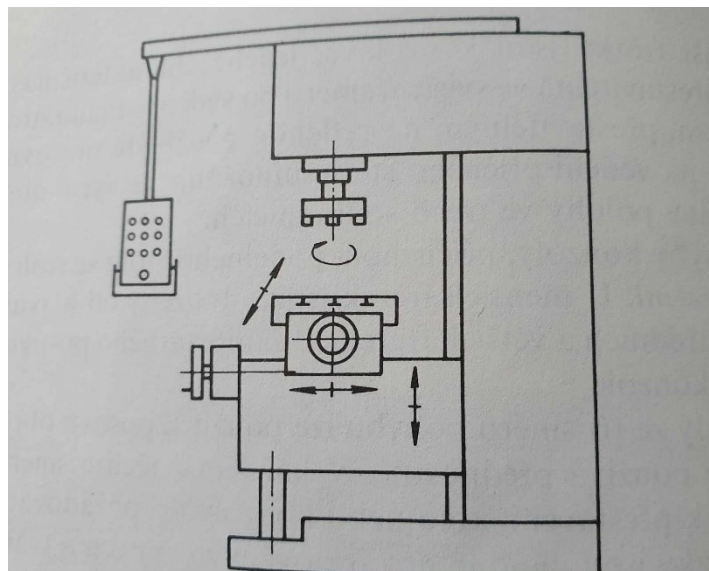
- Vodorovné konzolové frézky,
- svislé konzolové frézky,
- univerzální konzolové frézky. (Vasilko, 1991)

Vodorovné konzolové frézky, viz obrázek 9, mají, podle svého označení, vodorovnou osu pracovního vřetena, která je kolmá na směr pohybu a rovnoběžná s plochou podélného stolu. Na tomto typu frézky se obrábějí primárně drážky a tvarové plochy a obrábí se především kotoučovými frézami, válcovými frézami a tvarovými frézami. (Vasilko, 1991)



Obrázek 9 - Vodorovná konzolová frézka (Vasilko, 1991)

Svislé konzolové frézky, viz obrázek 10, mají osu (pracovní) kolmou k upínací ploše. Vřeteno je svisle stavitelné, může se naklánět o 45° na obě strany a je uloženo ve svislé hlavě. Tento typ stroje slouží primárně k frézování rovinných a šikmých ploch a drážek na těchto plochách. Jako nástroj je zde většinou volena stopková fréza. (Vasilko, 1991)



Obrázek 10 - Svislá konzolová frézka (Vasilko, 1991)

Speciální konzolové frézky jsou výhodné v tom, že spojují výhody obou předešlých typů frézek. Mají svislou hlavu pro upínání čelních fréz a také výsuvné rameno pro upínání trnu s válcovou frézou. (Vasilko, 1991)

2 CNC obráběcí stroje

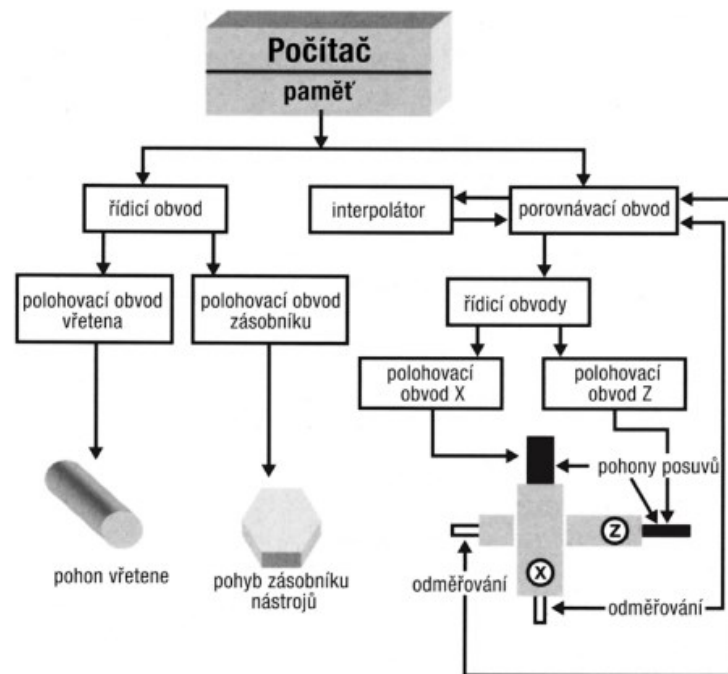
Číslicově řízené výrobní stroje jsou stroje, které se definují tím, že jejich funkce je prováděna řídicím systémem pomocí naprogramovaného algoritmu (programu). Program je tedy určen pro řízení prvků, které jsou silové a zaručuje výrobu daného obrobku. (Štulpa, 2006)

Stroje CNC se uplatňují ve všech oblastech strojírenské výroby a jejich typičtí představitelé jsou soustruhy a frézky, které také pracují v automatizovaném cyklu (Štulpa, 2006).

2.1 CNC obráběcí stroje a jejich řízení

CNC obráběcí stroj se skládá z několika prvků, které jsou pro chod CNC nezbytné, viz obrázek 11. Jsou to tyto prvky:

- Počítač,
- řídicí obvody,
- interpolátor,
- porovnávací obvod,
- řídicí panel. (Štulpa, 2006)



Obrázek 11 - Části CNC stroje (Štulpa, 2006)

2.1.1 Počítač

CNC disponuje průmyslovým počítačem, kde je nahrán řídicí systém. Jedná se o obrazovku s ovládacím panelem. Ovládací panel je potřebný pro nutné příkazy v ručním

ovládání, pro seřizování a pro další práci v různých režimech CNC stroje. Lze přes něj také vytvořit program nebo skrze něj program pouze nahrát. Program se uchovává v paměti a pro nahrání se vyvolá příkazem. (Štulpa, 2006)

2.1.2 Řídicí obvody

V řídicích obvodech se jednotlivé logické signály převádějí na proudové elektrické signály, kterými jsou ovládány akční součásti stroje (motory, ventily atd.). Řídí také stroj ve smyslu otáček vřetene, popř. výměny nástroje ze zásobníku nástrojů. Také řídí dráhu nástroje a zaručuje geometrickou přesnost výrobku. (Štulpa, 2006)

2.1.3 Interpolátor

Interpolátor má za úkol řešit dráhu nástroje, která je zadána geometrií a dalšími výpočty. Respektive vypočítává také ekvidistantu pohybu bodu výměny nástroje. Opět zaručuje geometrickou přesnost výrobku. (Štulpa, 2006)

2.1.4 Porovnávací obvod

CNC stroj by měl být vybaven zpětnou vazbou, ale není nutný v případě jednoduchých CNC strojů, které slouží k základnímu výcviku obsluhy. V podstatě porovnává zadané body souřadnic s těmi, které mají pozici danou strojem a s těmi daným programem. Stroj musí být vybaven tzv. odměřováním jako například pravítka na suportech. (Štulpa, 2006)

2.2 Řídicí panel

Panel, viz obrázek 12, lze dělit do několika částí, kde každá část splňuje odlišný účel. Jsou to tyto části panelu:

- Vstup dat,
- ovládání stroje,
- volba režimu práce,
- aktivace pamětí,
- aktivace testů,
- obrazovka,
- přenosný panel. (Štulpa, 2006)



Obrázek 12 - Ovládací panel řídicího systému Sinumerik 828D BASIC T (První Hanácká BOW spol. s.r.o., 2018).

2.2.1 Vstup dat

Zde se jedná o alfanumerickou část, pomocí které lze ručně zapsat program a další parametry. Mezi další parametry lze řadit data o strojích, seřízení CNC stroje a podobně. (Štulpa, 2006)

2.2.2 Ovládání stroje

Část panelu, díky kterému lze v ručním režimu pohybovat nástrojem či obrobkem (X, Y, Z) a také slouží k zapínání otáček vřetene. V neposlední řadě se zde nastavují otáčky vřetene a velikost posuvů. (Štulpa, 2006)

2.2.3 Volba režimu práce, aktivace testů a paměti, obrazovka

V části volby pracovního režimu lze volit mezi ručním režimem a automatickým režimem (případně i dalšími pracovními režimy stroje) (Štulpa, 2006).

Ve volbě aktivace testů a paměti lze vyvolat jednotlivé druhy paměti a případně otestovat programů stroje a jejich simulace (Štulpa, 2006).

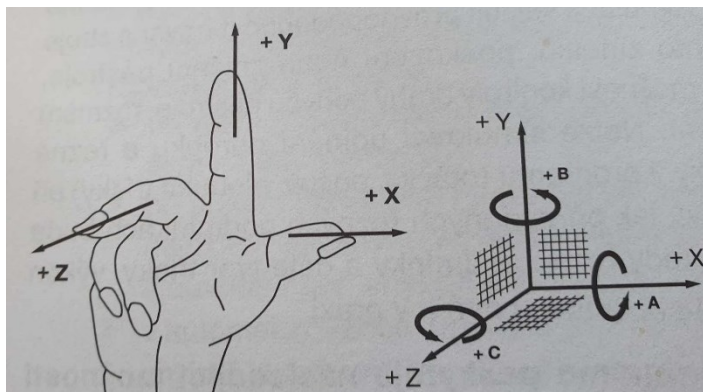
V části obrazovka slouží pouze ke kontrole prováděných činností (Štulpa, 2006).

2.2.4 Přenosný panel

Je využit k základním pohybovým funkcím stroje. Jeho největší výhodou je, že se s ním lze pohybovat libovolně okolo stroje a poskytuje tedy lepší vizuální kontrolu pohybů stroje. (Štulpa, 2006)

2.3 Souřadnicový systém stroje

Souřadnicový systém u těchto výrobních strojů se používá kartézský, viz obrázek 13. Systém je zpravidla pravotočivý, pravoúhlý s osami X,Y,Z. Hodnoty se vyskytují i v záporném poli souřadnic, a to vzhledem k obrobku. (Štulpa, 2006)



Obrázek 13 - Kartézská soustava souřadnic, pravotočivá soustava (Štulpa, 2006)

2.3.1 Nulový bod obrobku

Počátek souřadnic se volí z pohledu programátora do nejvýhodnějšího místa obrobku a toto místo označí jako nulový bod obrobku. Z tohoto důvodu se programátor zaobírá kartézským systémem souřadnic právě při tvorbě programu. (Štulpa, 2006)

Nejvýhodnější místo obrobku pro nulový bod je právě ten, kdy je co nejvíce zjednodušené vypočítávání jednotlivých geometrických bodů na obrobku. Stanovení nulového bodu je ovlivněno například:

- Kótování na výkresu,
- souměrnost výrobku,
- zvyklosti programátora. (Štulpa, 2006)

2.4 Typy řídicích systémů u CNC strojů

Na spolehlivosti daného řídicího systému závisí kvalita celého stroje. Jedny z nejoblíbenějších jsou od firmy FANUC a ti dělí řídicí systémy takto:

- Řídicí systémy s nesouvislým řízením,
- řídicí systémy se souvislým řízením. (FANUC Czech s. r. o., 2022)

2.4.1 Řídicí systémy s nesouvislým řízením

Mezi tyto systémy lze řadit následující řídicí systémy:

- Systémy stavěných souřadnic,
- pravoúhlé řízení (FANUC Czech s. r. o., 2022).

U systému stavěných souřadnic se jedná o nejstarší typ řízení, kde chybí procesor pro lineární a kruhovou interpolaci. Daný nástroj (fréza) se pohybuje rychloposuvem na daným bod programem. Jakmile dojde na do koncové polohy v jedné ose, tak teprve poté pokračuje v ose další. (FANUC Czech s. r. o., 2022)

U pravoúhlého řízení je posuv nástroje prováděno rovnoběžně se souřadnými osami. Tento typ řízení je vhodný při soustružení válcových ploch nebo u jednoduchých strojů (vrtačky, pily apod.). (FANUC Czech s. r. o., 2022)

2.4.2 Řídicí systémy se souvislým řízením

Tyto řídicí systémy umožňují výpočet korekce a výpočet geometrie. Tyto systémy lze dále rozdělit dle počtu současně řízených os na:

- Jednoosé obrábění 1D,
- dvouosé obrábění 2D,
- dvou-a-půl-osé obrábění 2,5D,
- tříosé obrábění 3D,
- čtyřosé obrábění 4D,
- pětiosé obrábění 5D. (FANUC Czech s. r. o., 2022)

Jednoosé obrábění patří k jednomu z nejzákladnějších, kde je umožněn pohyb pouze v jedné ose (využíváno například u vrtaček) (FANUC Czech s. r. o., 2022).

Dvouosé obrábění už umožňuje řízení dvou os najednou. Využívá se například u soustruhů, kde je možné řídit osu X a Z. (FANUC Czech s. r. o., 2022)

Dvou-a-půl-osé obrábění je důležité u frézovacích strojů, kde je možné tímto systémem řízení provádět kruhovou a lineární interpolaci. Stroj najede na hloubku řezu v ose Z a následně probíhá obrábění v osách X a Y. (FANUC Czech s. r. o., 2022)

Tříosé obrábění umožňuje obrábět ve třech osách zároveň. Je zde využit interpolátor, viz kapitola 2.8.3, který přepočítává pohyb frézy ve dvou osách v závislosti na třetí ose. (FANUC Czech s. r. o., 2022)

Čtyřosé obrábění je možné obrábět stejně jako u tříosého obrábění (X, Y, Z), ale s tím, že je zde umožněno rotovat kolem zmíněných os. Což znamená že nástroj, ale i obrobek mohou být natočeny do požadované polohy. (FANUC Czech s. r. o., 2022).

Pětiosé obrábění je nejvyšší úroveň pro programování CNC stroje. Jakožto pětiosé obrábění je zde možné obrábět velmi komplikované součásti (lopatky turbín apod.). (FANUC Czech s. r. o., 2022)

2.4.3 Systémy s absolutním programováním

Na absolutní programování je většinou přednastavena většina CNC strojů, jelikož je nejrozšířenější. U tohoto programování se všechny programové rozměry vztahují k nulovému bodu obrobku. Také je zde přímo ze souřadnic zřejmá poloha bodu a také se snadno hledá daný rozměr. (FANUC Czech s. r. o., 2022)

2.4.4 Systémy s přírůstkovým programováním

Inkrementální programování je odlišné od absolutního v tom, že poloha bodu není určena k nulovému bodu obrobku, ale vždy se uvažuje přírůstek k předchozí poloze. Kontrola proto není tak jednoduchá jako u programování absolutního, jelikož se musí projít program až do rozměru ke kontrole. Také zde hrozí riziko sčítání chyb, a proto je doporučeno programovat absolutně. Inkrementální programování se většinou využívá pouze pro podprogramy, kde se opakují určité obráběcí cykly na rozdílných místech. (FANUC Czech s. r. o., 2022)

2.5 Programování CNC strojů

Bývá zvykem, že na začátku programu, resp. na prvním řádku bývá symbol %, kde je za tímto znakem uvedeno číslo programu. Tento znak dovoluje psaní informací, které stroj nezpracovává a slouží pouze jako informace pro programátora. (Štulpa, 2006)

2.5.1 Nejpoužívanější adresy programu CNC stroje

Mezi nejpoužívanější adresy stroje patří příkazy viz níže, kde některá z uvedených písmen jsou pro výrobce systémů závazná a některá pouze doporučená (Štulpa, 2006).

Řadí se mezi ně:

- X, Y, Z – Pohyby v osách,
- A, B, C – rotace kolem os X, Y, Z,
- P, Q, R – paralelní pohyb kolem os X, Y, Z,
- U, V, W – druhý pohyb paralelní k základním osám,
- T – nástroj,
- D – paměť korekce nástrojů,
- G – geometrická funkce,
- M – pomocná funkce,
- N – číslo bloku, resp. funkce,
- F – posuv,
- S – otáčky vřetene,

- L – volání programu. (Štulpa, 2006)

2.5.2 Nejpoužívanější G funkce při programování

G funkce se používají dle normy ČSN ISO 6983 a zde jsou vybrány nejpoužívanější funkce pro tvorbu programu u CNC stroje (Štulpa, 2006).

- G00 – Lineární interpolace, která je využita pro rychloposuvy,
- G01 – Lineární interpolace, která je využita pro pracovní posuvy,
- G02 – Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček,
- G03 – Kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček,
- G17 – Pracovní rovina X-Y,
- G18 – Pracovní rovina Z-X,
- G19 – pracovní rovina Y-Z,
- G40 – Zrušení korekcí,
- G41 – Zapnutí korekce,
- G42 – Zapnutí korekce rádiusů,
- G54 až G59 – Posuny nulového bodu,
- G90 – Absolutní programování,
- G91 – Inkrementální programování,
- G92 – Omezení otáček,
- G96 – Konstantní řezná rychlost (Štulpa, 2006).

2.5.3 Nejpoužívanější M funkce při programování

M funkce se používají jako G funkce dle normy ČSN ISO 6983 a opět jsou zde vybrány pouze primární a nejpoužívanější funkce pro tvorbu programu u CNC stroje (Štulpa, 2006).

- M03 – Otáčky vřetene ve směru hodinových ručiček,
- M04 – otáčky vřetene proti směru hodinových ručiček,
- M05 – Zastavení vřetene,
- M06 – výměna nástroje,
- M07 a M08 – Zapnutí čerpadla,
- M09 – Vypnutí čerpadla,
- M17 – Konec podprogramu.
- M30 – Konec hlavního programu (Štulpa, 2006).

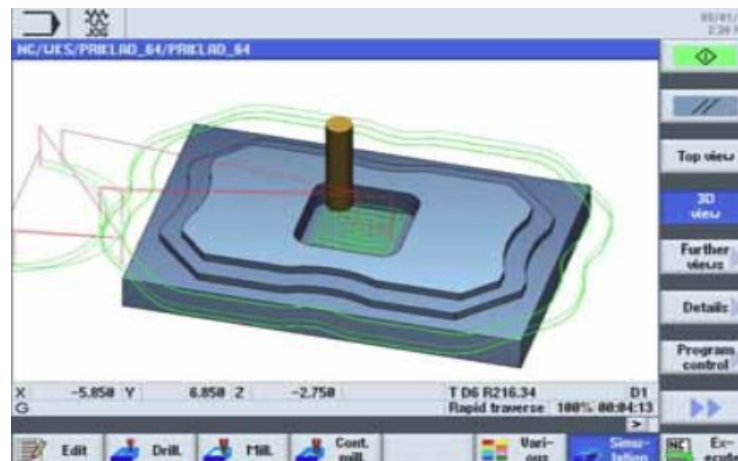
Tyto pojmy G a M kódů nemusí být vždy aktuální, záleží na firmě, která vytvořila daný řídicí systém. Norma je tvořena dle potřeb výrobců a není pevně stanovena. Každý software obsahuje HELP, kde je snadné si ujasnit různé funkce a případně jejich modifikace. (Štulpa, 2006)

2.5.4 Cykly pro obrábění

Cykly pro obrábění mohou být řešeny různými způsoby, dle udání výrobcem nebo možnostmi daného stroje. Používají se funkce G, kdy G není obsazeno číslem, které je dáno normou (G03, G01 apod.). Cykly usnadňují práci programátora tím, že nemusí programovat daný úkon opakovaně, ale stačí použít funkci G s daným číslem cyklu. Jedná se o makra, resp. podprogramy. Cykly jsou ukončeny v bodě, ve kterém byly spuštěny. (Štulpa, 2006)

Cykly jsou použity u frézek například pro:

- Závítování,
- tvarové vybrání (viz obrázek 14) apod. (Štulpa, 2006).



Obrázek 14 - Tvarové vybrání v editoru simulace (Polzer, 2011)

2.5.5 Využití podprogramů

Kde se vícenásobně opakují stejné tvary je výhodné využít podprogramy, a to z důvodu toho, že velmi zjednodušují tvorbu hlavního programu. Na rozdíl od cyklů je lze vytvořit dle potřeb programátora. Hlavní program vyvolá podprogram, tam kde je uvedena adresa L v kódu. Následně se vykoná podprogram, který musí být ukončen funkcí M17. (Štulpa, 2006)

V podprogramu lze i vyvolat další podprogram a opět jej ukončit či vícekrát opakovat pomocí funkce P. Těmto procesům se říká vnořování. (Štulpa, 2006)

3 Programovací jazyk Python

Python, logo viz obrázek 15, je moderní programovací jazyk, díky kterému lze jednoduše tvořit základní typy programů, ale také nabízí prostředky, díky kterým lze navrhovat i poměrně rozsáhlé a složité projekty. Programátor se nemusí rozptylovat tvorbou podprogramů, a to z důvodu toho, že pro programovací jazyk Python existuje řada knihoven a frameworků. (Pecinovský, 2022)



Obrázek 15 - Logo Python (Python software foundation, 2023)

3.1 Definice programu

V libovolném programovacím jazyku se zapíše předpis, jak má procesor, pro který je program určen, splnit zadanou (naprogramovanou úlohu). Na programu je primární, aby byl psán v programovém jazyce, kterému rozumí programátor. V počátcích programování musel programátor programovat ve strojovém kódu, což přinášelo spousty chyb a velkou náročnost na zapamatování různých kombinací čísel. Kvůli tomuto problému začaly následně vznikat další vyšší programovací jazyky, pro snadnější práci programátora. (Pecinovský, 2022)

Při popisu programovacího jazyku se lze setkat se třemi klíčovými termíny:

- Syntaxe,
- sémantika,
- paradigma (Pecinovský, 2022).

3.1.1 Syntaxe

Syntaxe je soubor pravidel, podle kterých lze správně zapsat kombinaci symbolů do programu. Nijak však nezasahují do toho, co by měl program dělat. (Pecinovský, 2022)

3.1.2 Sémantika

Definuje význam syntakticky správných textů v programovacím jazyce a také způsob jejich interpretace (Pecinovský, 2022).

3.1.3 Paradigma

Každý programátor má subjektivní přístup ke tvorbě programu a paradigma označuje jeho celkový přístup k řešení daného problému. Paradigma není definováno programovacím jazykem, ale tím, jak k programové části přistoupí programátor. (Pecinovský, 2022)

3.2 Platforma Python

Abychom správně zvolili programovou platformu, tak musí být jasné, že zařízení (počítač) bude správně rozumět programové sadě instrukcí, a také že poběží na správném operačním systému (Pecinovský, 2022).

3.2.1 Programovací jazyk

Jedná se o nástroj pro tvorbu aplikací, resp. o prostředek mezi programátorem a počítačem. V prvotní fázi programátor vytvoří algoritmus, který řeší daný problém a následně jej převede do programovacího jazyka pomocí sady instrukcí. Počítač, na kterém je problém řešen musí disponovat technickými prostředky pro řešení problému, viz kapitola 3.2. (IT-slovník.cz team, 2022)

3.2.2 Vývojové prostředí

Pro psaní programu lze využít jakýkoliv textový editor a následná komunikace může probíhat spuštěním z příkazového řádku. Většinou se ale i přes tento fakt volí speciální programové prostředí, které se označuje IDE. Výhodnou volby programového prostředí, dále jen IDE, je že dokáže velmi zefektivnit dané řešení problému, například:

- Přiměřeně komfortní editor,
- zprostředkovává překlad jazyku do interního mezi jazyka,
- jeho následné spuštění,
- zobrazení případných výsledků,
- usnadnění hledání případných chyb. (Pecinovský, 2022)

3.2.3 Vývojové prostředí Sublime text

U prostředí Sublime text se jedná o hybridní textový editor. Nabízí spoustu užitečných funkcí, které usnadňují práci programátora. Sublime text je v podstatě mezi vývojovým prostředím, ku příkladu Netbeans a klasickým editorem, například Geditu. (Grmela, 2012)



Obrázek 16 - Logo Sublime text (Sublime HQ Pty Ltd, 2022)

Mezi nejužitečnější funkce prostředí Sublime text patří například:

- Automatické doplňování kódu,
- zvýraznění syntaxí jazyku,
- více panelová editace na jedné obrazovce,
- režim zobrazení přes celou obrazovku a další (Grmela, 2012).

3.3 Knihovny Python

Knihovny jsou soubor různých funkcí, tříd, procedur apod., které lze naprogramovat jen jednou a následně je využívat v dalších programech, které na sobě nejsou závislé. To jednoduše znamená, že při řešení nějakého problému se nemusí začít úplně od začátku, ale lze využít knihovnu, která se pro daný problém hodí. (ENGETO, 2023)

3.3.1 Knihovny pro grafy a vizualizaci dat

Pro tvorbu různých grafů apod. lze využít různé knihovny, které program usnadní. Jsou to například:

- Matplotlib,
- NetworkX,
- Bokeh. (ENGETO, 2023)

Matplotlib a jeho výstup lze využít pro různé interaktivní platformy a je standardem pro publikace (ENGETO, 2023).

NetworkX lze využít pro studium a diagnostiku grafů. K této knihovně existuje i přehledná dokumentace. Jedna z mála negativních vlastností této knihovny je, že poskytuje jen základní a jednoduché vizualizace. (ENGETO, 2023)

Knihovna Bokeh se využívá pro interaktivní grafy, řídicí panely a další. Knihovna Bokeh využívá i jiné jazyky, a proto je lze vykreslit i na různých stránkách a serverech. (ENGETO, 2023)

3.3.2 Knihovny pro uživatelské rozhraní

Mezi nejzákladnější knihovnu pro tvorbu GUI je Tkinter. Tato knihovna obsahuje všechny základní widgety. Primární výhodou je, že se využívá velice intuitivně a lze se obejít i bez GUI editoru. Další knihovny pro tvorbu GUI jsou například:

- wxPython,
- PyQT a další. (ENGETO, 2023)

3.3.3 Knihovny pro obrázky

Pro obrázky se využívá nejčastěji knihovna Pillow a je velmi vhodná pro rastrové obrázky, a to jakéhokoliv formátu. S pomocí této knihovny lze obrázky ukládat, otvírat a vytvářet jejich miniatury. Další knihovny pro obrázky a práci s nimi jsou například:

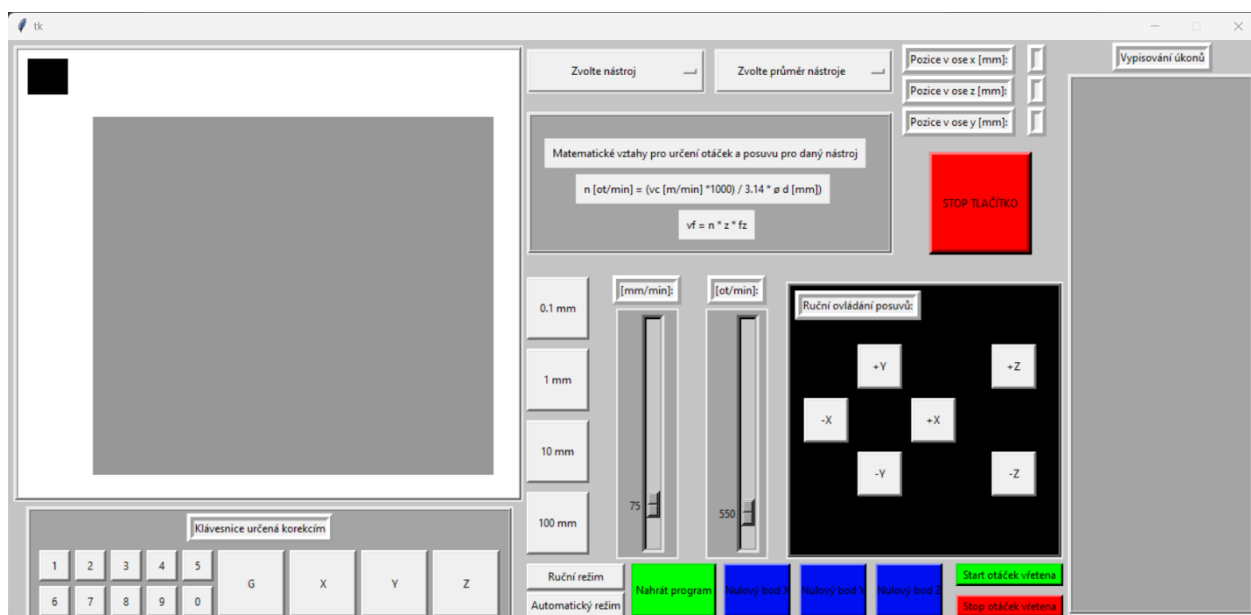
- OpenCV,
- Mahotas. (ENGETO, 2023)

PRAKTICKÁ ČÁST

V této části práce bude rozebírána obsluha, jednotlivé funkční prvky, ovládací režimy simulátoru řídicího panelu CNC frézky a jeho programová tvorba.

4 Funkce a prvky řídicího panelu CNC frézky

Panel je tvořen v programovém prostředí Python a jeho vizualizace je tvořena pomocí knihovny Tkinter a dalších funkcí této knihovny a dalších knihoven, které budou rozebírány v kapitole 7. Panel obsahuje primární funkce pro nastavení a ovládání CNC frézky. Ve vývojové fázi lze panel vidět na obrázku 17.



Obrázek 17 - Simulátor řídicího panelu ve vývojové fázi

Nyní budou uvedeny všechny prvky a funkce, které panel obsahuje. Prvky a funkce budou jednotlivě popsány. Také bude vždy uvedeno, jak funkce a prvky nastavit, ovládat a také proč je takové nastavení pro daný úkon ideální.

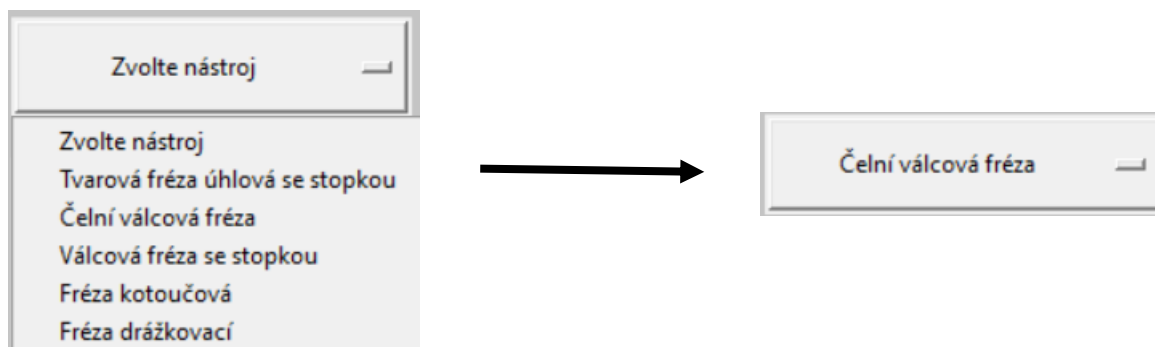
4.1 Zvolte nástroj

Pod tlačítkem nazvaným zvolte nástroj může uživatel zvolit typ nástroje, který bude pro zvolený úkon frézování nejvhodnější. To, jaký nástroj zvolit musí určit uživatel, například dle kapitoly 1.2. Uživatel může vybírat z následujících nástrojů pro frézování:

- Tvarová fréza úhlová se stopkou,
- čelní válcová fréza,
- válcová fréza se stopkou,
- fréza kotoučová,

- fréza drážkovací.

Při stisknutí tlačítka se rozbolí nabídka s typy fréz a uživatel může volit, viz obrázek 18, kde byla zvolena čelní válcová fréza. Následně se zvolený typ frézy vepíše do kolonky zvolení nástroje.



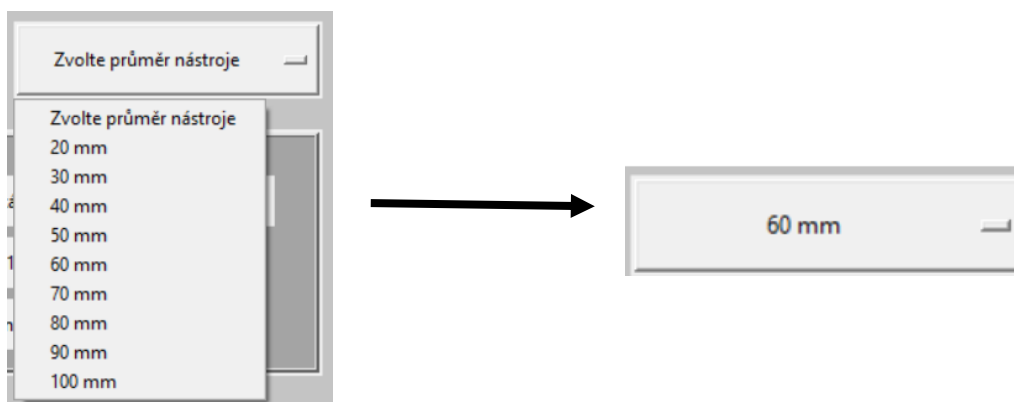
Obrázek 18 - Volba nástroje

4.2 Zvolte průměr nástroje

V záložce průměr nástroje může uživatel volit mezi různými průměry, viz obrázek 19, pro zvolený typ frézy z důvodu efektivity práce při CNC frézování. Uživatel může volit z devíti různých průměrů nástroje:

- 20 mm,
- 30 mm,
- 40 mm,
- 50 mm,
- 60 mm,
- 70 mm,
- 80 mm,
- 90 mm,
- 100 mm.

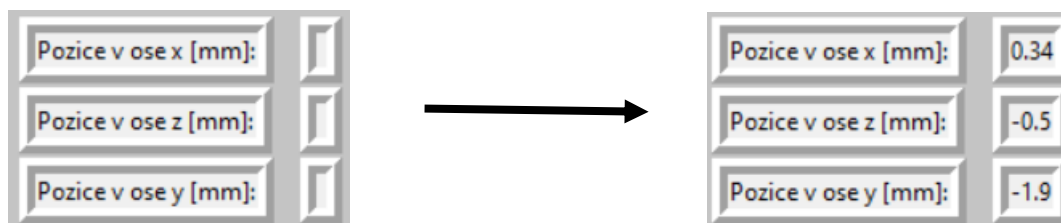
Když uživatel zvolí daný průměr, tak se v závislosti na to vykoná změna v simulaci a to tak, že se dle volby průměru změní velikost animovaného nástroje. Také se opět zvolený průměr uloží a vepíše do kolonky průměru nástroje.



Obrázek 19 - Volba průměru nástroje

4.3 Zobrazení pozice nástroje

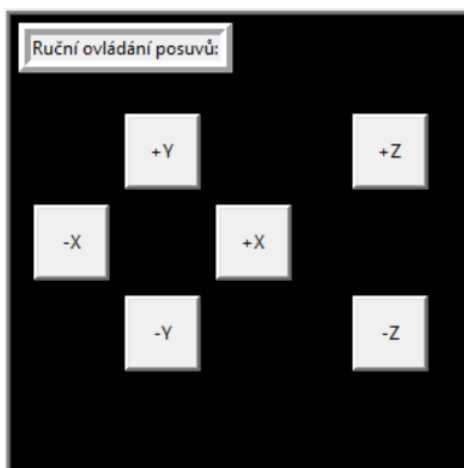
Pro orientaci, kde se v souřadném systému vůči obrobku nachází nástroj je využito zobrazování v osách x, y, z v jednotkách mm, viz obrázek 20. Při pousuvu nástroje v libovolné ose se k dané ose, ve které byl pohyb vykonán připiše údaj v mm, který odpovídá danému pohybu nástroje. Samozřejmě se v závislosti na změně polohy nástroje vůči obrobku následně vykoná i stejný pohyb v osách v animaci.



Obrázek 20 - Zobrazení pozice nástroje

4.4 Ruční ovládání posuvů

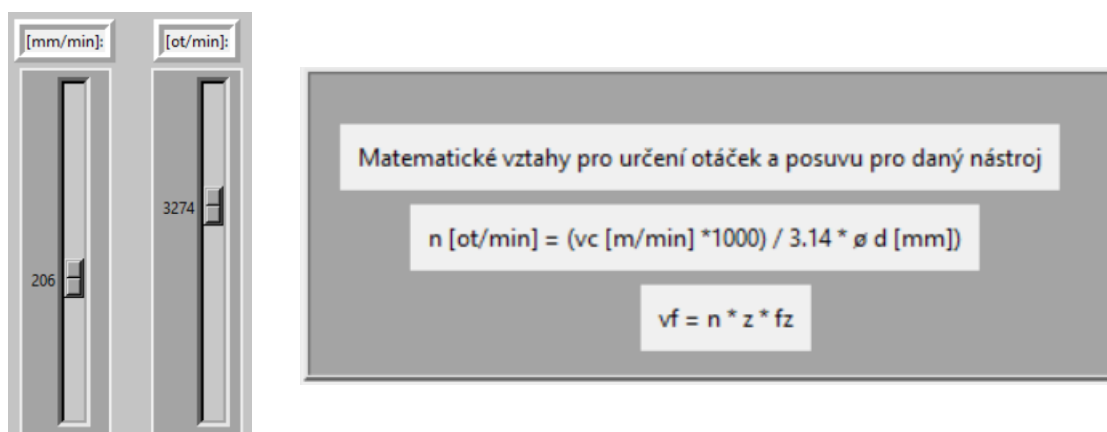
V sekci ruční ovládání posuvů, viz obrázek 21, se nachází dohromady 6 tlačítek pro ovládání jednotlivých os v kartézských souřadnicích. Každá osa (x, y, z) má své tlačítko pro posuv v kladných hodnotách a záporných hodnotách. Uživatel tedy pomocí těchto tlačítek může obrábět (frézovat) v ručním režimu a nemusí mít sestavený program. Primárně jsou ale tyto tlačítka pro posuvy v osách určeny pro tzv. „škrtnutí“ o obrobek a následné nastavení nulového bodu obrobku. Opět při stisknutí tlačítka reaguje animace, resp. nástroj se dá v dané ose do pohybu (záleží také na nastaveném přírůstku).



Obrázek 21 - Ruční ovládání posuvů

4.5 Řezné podmínky

Uživatel také musí v prvotních krocích, resp. po zvolení nástroje a jeho průměru správně zvolit řezné podmínky (v tomto případě otáčky nástroje a řezný posuv). Jakmile uživatel zvolí nástroj o určitém průměru, tak musí pomocí vzorců, viz obrázek 22, které jsou uvedeny na ovládacím panelu vypočítat tyto dva parametry. Po výpočtu řezných podmínek je už jednoduše uživatel nastaví pomocí posuvných ukazatelů na požadovanou hodnotu. Ukazatel pro otáčky nástroje je v rozmezí od 0 do 5000 otáček/min a ukazatel pro řezný posuv je v rozmezí od 0 do 500 mm/min.



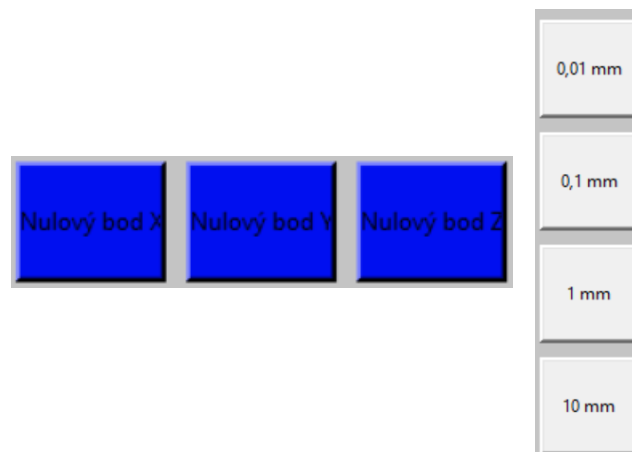
Obrázek 22 - Řezné podmínky a jejich výpočet

4.6 Nulový bod obrobku

Nulový bod obrobku lze nastavit pomocí tlačítek, viz obrázek 23:

- Nulový bod X,
- nulový bod Y,
- nulový bod Z.

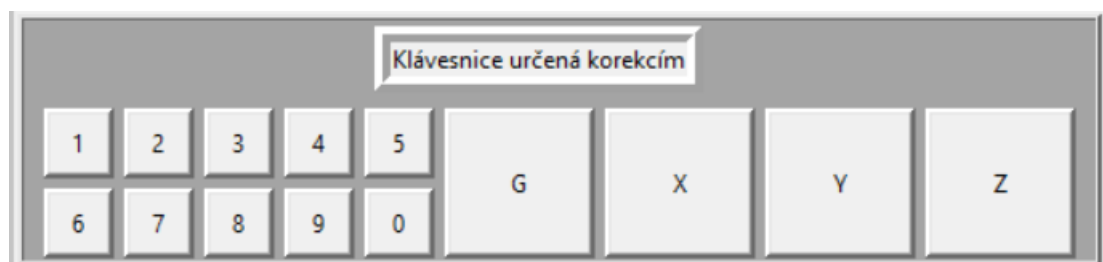
Uživatel vždy pomocí ručního ovládání posuvů najede posuvem k obrobku, viz animace a následně k dané ose ve které tzv. „škrtl“ o obrobek vynuluje danou osu a tím nastaví nulový bod v dané ose, který se vepíše k dané ose, viz kapitola 4.3. Následně pokračuje stejným postupem pro každou osu (x, y, z) a tím nastaví nulový bod obrobku v každé ose obrábění. Při najedí nástroje obrobku lze ovládat přírůstky posuvu pomocí čtyř tlačítek, které mění daný přírůstek v dané ose při ručním ovládání, viz obrázek 23.



Obrázek 23 - Nastavení nulového bodu obrobku (vlevo), nastavení přírůstku posuvu (vpravo)

4.7 Klávesnice pro korekce

Ovládací panel také obsahuje jednoduchou klávesnici, viz obrázek 24, se základními funkcemi pro korekci zadaného kódu a případně i pro tvorbu základního kódu přímo na panelu. Uživatel tedy může pomocí tlačítka „G“ zvolit G kód a pomocí číslic v rozmezí 1–9 zvolí danou funkci G kódu (například G1 pro lineární posuv apod.). V neposlední řadě může uživatel k dané G funkci (například k funkci G1) zadat orientaci os v kartézském souřadném systému, resp. pro osu X, Y a Z. Veškeré pokyny, které uživatel zadá se zobrazují v okně výpisu úkonů.



Obrázek 24 - Klávesnice pro korekce

4.8 Stop tlačítko

Každý stroj pro průmyslovou výrobu by měl disponovat tzv. stop tlačítkem, kterým v případě nebezpečí (například kolize obrobku a nástroje, nástroje se stolem či konstrukcí stroje nebo při ohrožení zdraví a bezpečí obsluhy stroje) kompletně zastaví chod stroje. V případě simulací se k nebezpečí samozřejmě dojít nemůže, ale každá simulace by měla být co

nejpodobnější realitě, a proto i zde na panelu CNC frézy je stop tlačítko k dispozici, viz obrázek 25.

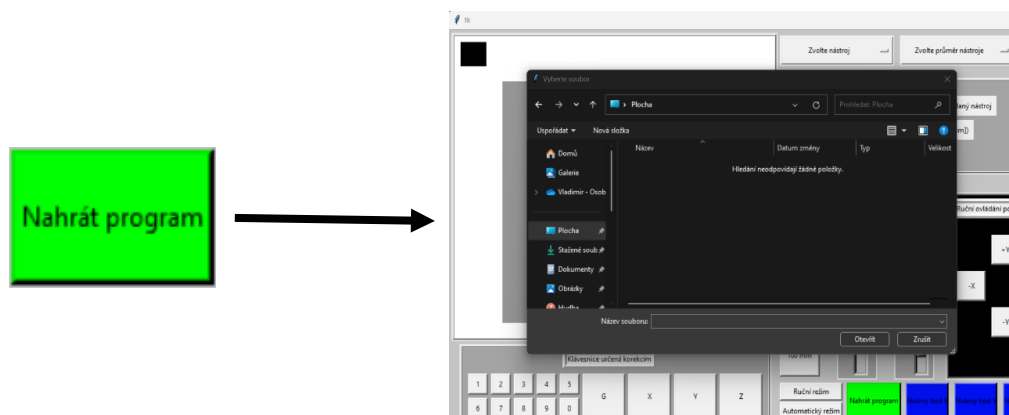
Stop tlačítko, jak již bylo zmíněno výše, tedy zastaví kompletní chod CNC frézy při hrozícím nebezpečí (kolize). Tomuto ději většinou nelze zabránit předem, jelikož v případě kolize si je ji obsluha vědoma až po nabourání například nástroje s obrobkem. Kolizi jde ale samozřejmě předcházet. Například pokud bude uživatel nahrávat program pro automatický režim, tak bude muset nejdříve definovat nulový bod obrobku. To udělá způsobem popsáním v kapitole 4.6 a znamená to tedy, že k obrobku přijede přiměřeným řezným posuvem, a ne posuvem pracovním (pracovní posuv 100 % možné rychlosti nástroje vůči materiálu obrobku) a tím může předcházet kolizi.



Obrázek 25 - Stop tlačítko

4.9 Nahrát program

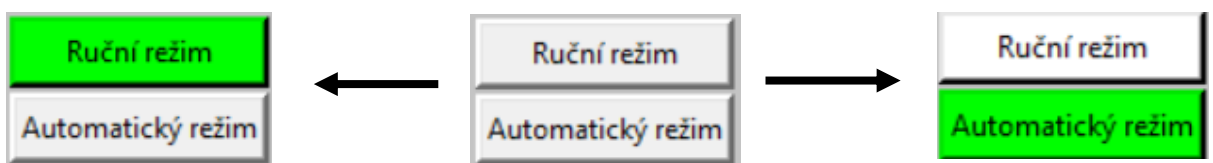
Pokud uživatel bude pracovat v automatickém režimu, tak bude moci pomocí tlačítka nahrát program zvolit z programů uložených v PC nebo v jakémkoliv externím zařízení (flashdisk). Nejprve však bude muset dodržet technologický postup práce, viz kapitola 5. Při stisknutí tlačítka „Nahrát program“ se zobrazí průzkumník souborů PC a uživatel bude moci následně vybrat daný program, viz obrázek 26.



Obrázek 26 - Nahrání programu z externí periferie

4.10 Tlačítka ruční a automatický režim

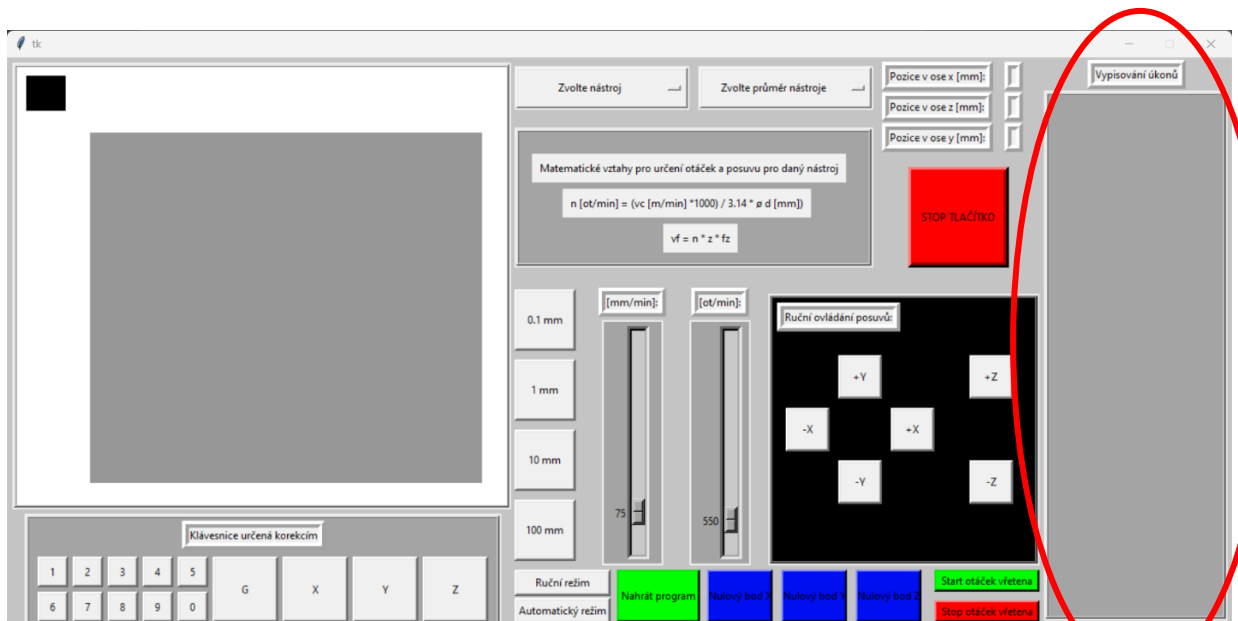
Na panelu může, resp. musí, uživatel zvolit v jakém pracovním režimu bude chtít vykonávat danou činnost. Pro tuto volbu jsou na panelu umístěna tlačítka „Ruční režim“ a „Automatický režim“, viz obrázek 27. Například pro nalezení nulového bode obrobku bude muset uživatel volit ruční režim a například pro nahrání programu z periferie bude muset zvolit automatický režim. Při stisknutí tlačítka režimu se daný režim, který je zvolený, rozblíká zeleně, aby uživateli bylo patrné, v jakém režimu se panel nachází. Při volbě automatického režimu se zablokuje funkce pro ruční režim, a naopak pro ruční režim se zablokuje funkce automatického režimu.



Obrázek 27 - Volba pracovního režimu

4.11 Vypisování úkonů

Na panelu je také vyobrazeno vypisování úkonů, a to z důvodu lepší orientace uživatele, viz obrázek 28. Na okraji panelu se vždy po provedeném úkonu daný úkon vepíše do tabulky. Také to bude mít velký přínos pro vyučujícího, jelikož dle historie úkonů bude moci lépe ohodnotit to, zda student postupoval správně z pohledu technologického postupu práce a případně studentovi lépe vysvětlit a poukázat na to, kde udělal případně chybu a napravit ji.



Obrázek 28 - Vypisování úkonů

4.12 Animace prováděných úkonů

Jako simulátor také panel disponuje animacemi prováděných úkonů v reálném čase. Na panelu se jedná o 1/3 plochy GUI, jelikož animace je u tohoto simulátoru velmi důležitá. Vždy je dán obrobek, který je čtvercový ve 2D pohledu, ale v reálném světě je to samozřejmě krychle nebo kvádr. Na panelu je viditelná jako šedá čtvercová plocha. Následně je viditelný i nástroj (v této simulaci jako černý čtverec), který se mění při změně poloměru nástroje (tzv. zvětšuje se a zmenšuje se). Při zajetí nástroje do obrobku za sebou nechává nástroj viditelnou stopu, kde byl již materiál obráběn (hrubování kapes, zarovnání čelní plochy a podobně). Animace bude dále rozebírána v kapitole 6 (Automatický režim), kde bude snáze pochopeno, jak funguje a bude i detailněji popsána.

4.13 Zapnutí/Vypnutí otáček vřetene

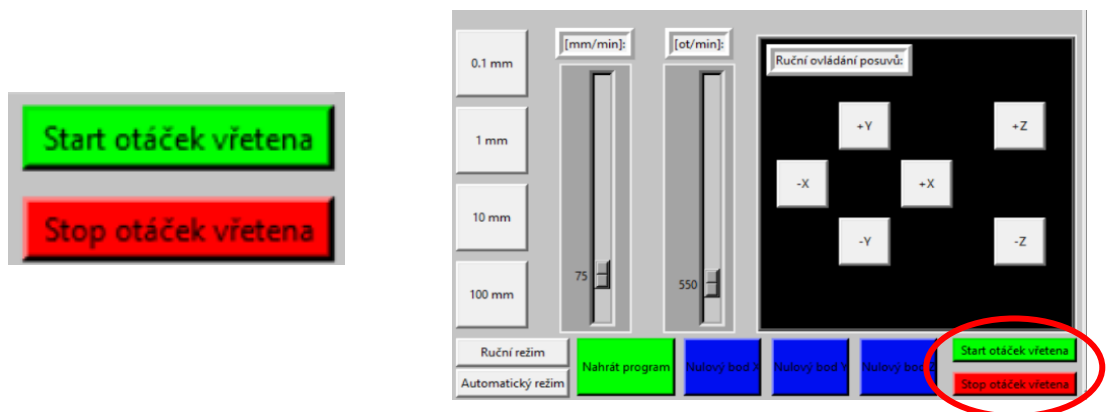
Pro zapnutí a vypnutí otáček vřetene jsou na panelu umístěna dvě tlačítka, viz obrázek 29, a to:

- Start otáček vřetena,
- Stop otáček vřetena.

Po zvolení nástroje, jeho průměru a řezných podmínek (řezná rychlost, otáčky vřetene) může uživatel zapnout otáčky vřetene, aby mohly následovat další úkony (definování nulového bodu obrobku apod.).

Následně po ukončení práce v ručním režimu musí uživatel otáčky vřetene opět vypnout (pomocí druhého tlačítka).

V automatickém režimu nemusí uživatel tyto dvě tlačítka řešit, jelikož v automatickém režimu se postupuje dle naprogramované sekvence příkazů, kde již zapnutí a vypnutí otáček vřetene musí být definováno.



Obrázek 29 - Start/Stop otáček vřetene

5 Technologický postup práce s panelem

V této kapitole bude vysvětleno, jak postupovat při práci s panelem v souladu s CNC frézováním. A to z důvodu toho, že simulátor panelu dovolí uživateli postupovat ne úplně korektně, ale u reálného CNC stroje by toto chování mohlo mít fatální následky.

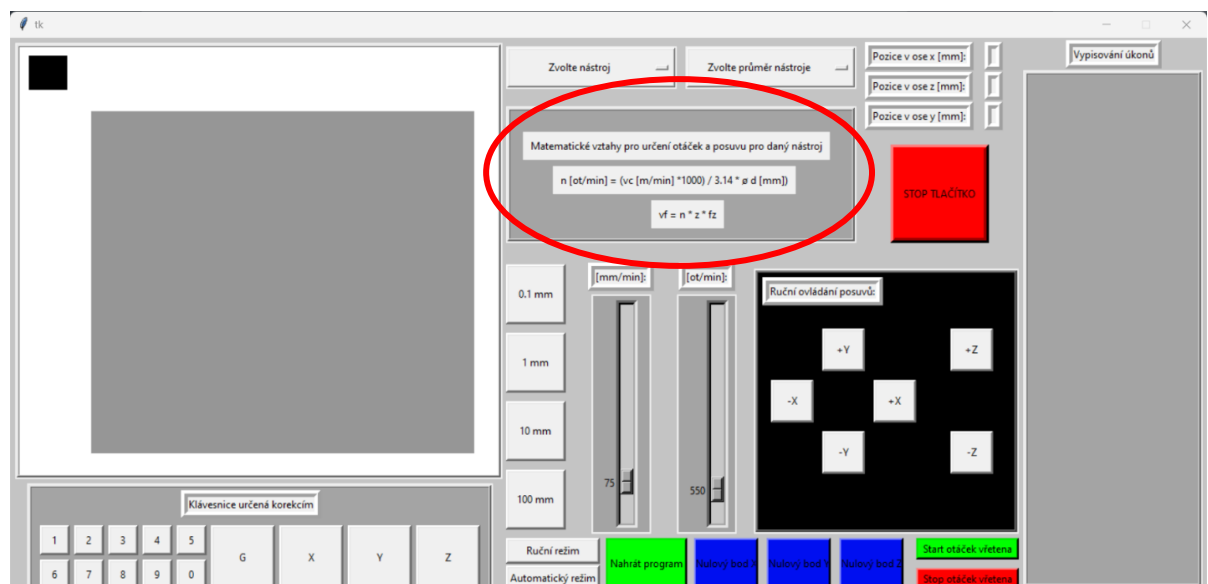
5.1 Výběr nástroje

V základní fázi by měl uživatel začít uvažovat, jaký úkon bude chtít s daným řezným nástrojem provést. Například pokud uživatel bude chtít pouze najet do nulového bodu obrobku (pro následné spuštění automatického režimu), tak bude moci uvažovat pouze s jedním typem frézy, který mu umožní daný úkon provést (například pro škrtnutí v osách X, Y a Z pro nastavení nulového bodu obrobku). Pro tento úkon lze volit základní typy válcových fréz.

Po volbě nástroje musí uživatel zvolit daný průměr nástroje, který bude optimální pro daný frézovací úkon.

5.2 Řezné podmínky

Po výběru nástroje by měl uživatel začít s výpočtem řezných podmínek pro daný nástroj se kterým hodlá v ručním režimu pracovat (v automatickém režimu jsou již řezné podmínky nastaveny uživatelem v programu, viz kapitola 6). Pro výpočet bude moci využít vzorce, které autor uvádí na simulátoru panelu, viz obrázek 30, a nebude je muset dohledávat například ve strojírenských tabulkách. Následně je uživatel může na panelu nastavit.



Obrázek 30 - Volba řezných podmínek

5.3 Nulový bod obrobku

Po dodržení prvních dvou bodů v kapitole 5 lze zapnout ruční režim panelu, otáčky vřetene a bezpečným posuvem (resp. nízkou rychlostí posuvu) škrtnout v jednotlivých osách o obrobek a nastavit nulový bod obrobku.

5.4 Začátek obrábění

Nyní může uživatel pokračovat v obrábění zvoleným nástrojem v ručním režimu (například zarovnání čela obrobku, tedy pokud již není definováno v programu), anebo může zapnout automatický režim a nahrát program z externí periferie nebo PC a začít obrobek obrábět.

6 Automatický/Ruční režim panelu

Automatický režim je tvořen v programovém prostředí Python, kde měla být v počáteční fázi část vytvořena v samostatném souboru v prostředí Sublime text. Následně se ale ukázalo, že bude snazší tuto část kódu mít ve stejném souboru jako GUI. V tomto režimu jsou základní funkce G kódu, viz obrázek 31, z nichž jsou ty primární následně nadefinovány a naprogramovány, aby splnily jejich předem danou funkci, dle předem daných definicí pro G kód.

```
#Nastavení režimu pro G00-----Lineární interpolace, rychloposuv
#Nastavení režimu pro G01-----Lineární interpolace, pracovní posuv
#Nastavení režimu pro G02-----Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
#Nastavení režimu pro G03-----Kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
#Nastavení režimu pro G40-----Zrušení korekcí
#Nastavení režimu pro G41-----Zapnutí korekce
#Nastavení režimu pro G54-----Posuny nulového bodu
#Nastavení režimu pro G90-----Absolutní programování
#Nastavení režimu pro G91-----Inkrementální programování
#Nastavení režimu pro G92-----Omezení otáček
#Nastavení režimu pro M03-----Otáčky vřetene ve směru hodinových ručiček
#Nastavení režimu pro M04-----otáčky vřetene proti směru hodinových ručiček
#Nastavení režimu pro M05-----Zastavení vřetene
#Nastavení režimu pro M06-----výměna nástroje
#Nastavení režimu pro M30-----Konec hlavního programu
```

Obrázek 31 - Základní G kódy funkce využité v automatickém režimu

6.1 Testovací G kód

Program je vytvořen tak, aby bylo možné číst soubor ve formátu tabulky (například z tabulkového procesoru excel). Kde v tabulce je vždy na první (pro program nulté) pozici vždy daný příkaz G (například G01 apod.) Na dalších pozicích v tabulce jsou parametry pro daný úkon (například pro G01 parametry X, Y a Z), viz tabulka 1. Pro test funkčnosti byl vytvořen částečný kód (na několik řádků), viz tabulka 1, který pouze testuje, zda je vypisování v pořádku.

Tabulka 1 - Část testovacího kódu

Příkaz	Souřadnice a parametry			
G0	Z5			
G0	X10	Y-50		
G1	Z-1			
G41	X0	Y-45		
G1	X-65			
G2	X-75	Y-35	I0	J10
G1	Y40			
G1	X-70	Y45		
G1	X70			
G1	X75	Y40		
G1	Y-40			
G3	X68	Y-47	J10	
G1	X0			

6.2 Nahrání programu

Nahrávání programu v G kódu je naprogramováno za pomoci knihovny Pandas (`pandas.read_excel`), díky které lze číst daný soubor, ve kterém je napsán kód, postup viz obrázek 32.

```
def ReadData(self, file):
    print("Čtení souboru")
    data = pandas.read_excel(file, sheet_name='List1')
    print(data)

    prikazy = data['Prikaz'].tolist()
```

Obrázek 32 - Nahrání souboru

6.3 Vyhledání funkce a parametrů v souboru

Pro účel hledání dané funkce v souboru a jejich parametrů, je využit cyklus, viz obrázek 33, který prochází řádky datového rámce „data“. Vždy pro daný řádek kontroluje, zda první prvek je roven dané funkci (v prvním případě funkci G0) a pokud ano, tak nastaví jeho parametry na nuly (v případě G0 je to X, Y a Z).

Následně pokud je prvek prázdný, tak je cyklus ukončen. Pokud ale prvek začíná písmenem X, Y nebo Z, tak nastaví na hodnotu čísla na druhé pozici. Takto je to vytvořeno pro všechny funkce uvedené na obrázku 31, přičemž se vždy změní parametry (resp. pro G01 a G41 jsou naprosto odlišné parametry).

```

if(data.iloc[i,0] == "G0"):
    X = 0
    Y = 0
    Z = 0

    for parametr in data.iloc[i]:
        if(pandas.isna(parametr)):
            break

        if(parametr[0]=="X"):
            X = int(parametr[1:])
        elif(parametr[0]=="Y"):
            Y = int(parametr[1:])
        elif(parametr[0]=="Z"):
            Z = int(parametr[1:])

self.G0(X,Y,Z)

```

Obrázek 33 - Cyklus pro kontrolu prvků

6.4 Vypsání daného úkonu automatického režimu

Po nahrání programu v G se může zdát, že se v prvotní fázi nic neděje. Není to však pravda, jelikož panel pouze čeká s připraveným programem na spuštění uživatelem (resp. stisknutí na tlačítko „Automatický režim“). Vypsání úkonu do uživatelského rozhraní je umožněné pomocí funkce `self.txt_VypisUkonu.insert`, viz obrázek 34.

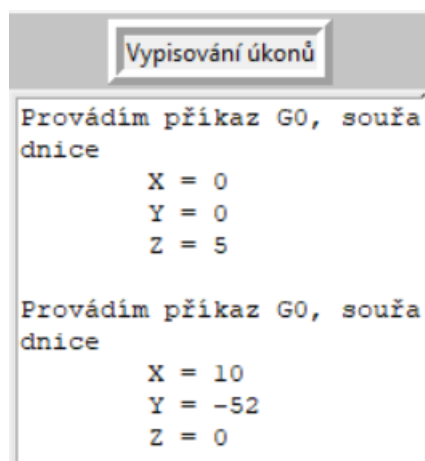
```

def G0(self, X=0, Y=0, Z=0):
    print(f"Provádím příkaz G0, souřadnice\n\tX = {X}\n\tY = {Y}\n\tZ = {Z}")
    self.txt_VypisUkonu.insert("end",f"Provádím příkaz G0, souřadnice\n\tX = {X}\n\tY = {Y}\n\tZ = {Z}\n\n")

```

Obrázek 34 - Příkaz pro vypsání úkonu

Takto je to využito u všech dalších příkazů G, ovšem opět se změnou parametrů a podobně. Následně může uživatel v uživatelském rozhraní vidět vypisování daných úkonů (pravá lišta v rozhraní). Je to zde zařazeno samozřejmě pro lepší orientaci při provádění animace, ale také z důvodu toho, že student bude moci vždy při sledování animace také sledovat jednotlivé G funkce a jejich parametry právě při animaci frézování. Je zde vypsána hláška „Provádím příkaz“ a k ní zařazena odpovídající G funkce a poté jednotlivé parametry a jejich hodnoty, viz obrázek 35.

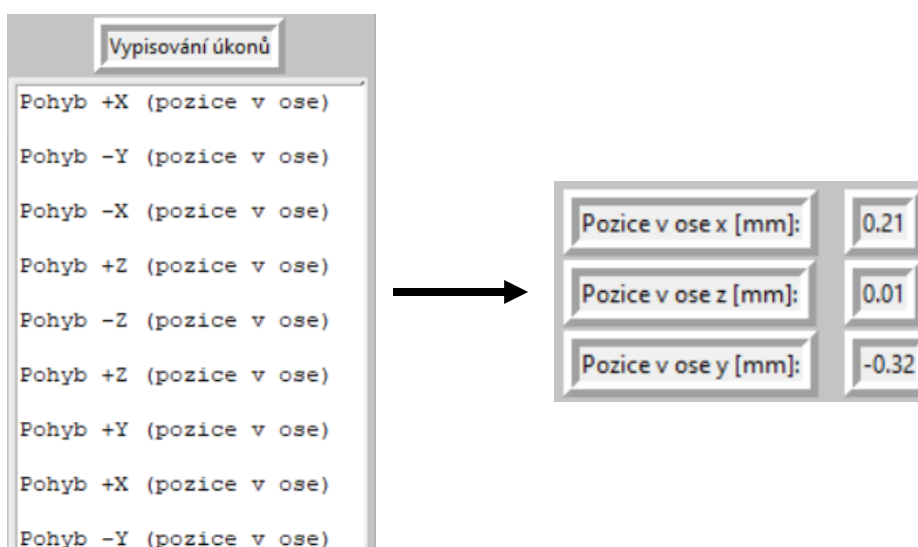


Obrázek 35 - Jednotlivé příkazy v GUI

6.5 Vypisování daného úkonu v ručním režimu

Než začne student pracovat v automatickém režimu musí postupovat dle technologického postupu, viz kapitola 5. Což znamená, že část práce s panelem probíhá v ručním režimu. Aby měl student přehled o prováděných úkonech, tak je vypisování úkonů zpřístupněno i v ručním režimu (opět pravá lišta v rozhraní).

Pro tento účel se postupovalo obdobně jako při vypisování úkonu při automatickém režimu, resp. se ke každé definici tlačítka (například definice pohybu v osách X, Y a Z nebo pro zapnutí/vypnutí otáček apod.) definovali opět parametry pro vypsání (například pohyb v ose X) a následně se vypsaly do rozhraní GUI (pravá lišta). Takto fungují veškerá tlačítka včetně STOP tlačítka, které se při nouzové situaci (resp. při jeho stisknutí) také vepíše do oznamovací lišty úkonů.



Obrázek 36 - Vypsání pohybu v osách X, Y a Z

Na obrázku 36 je patrné, že při každém stisknu tlačítka (zde například tlačítka pro pohyby v jednotlivých osách X, Y a Z) se úkon vepíše do oznamovací lišty pro výpis úkonů. V oznamovací liště je vždy hláška, která upozorňuje například na pohyb v ose, a to i se znaménkem směru pohybu, resp. plus a minus. Následně je student odkázán na pozici v ose v mm, kde uvidí aktuální údaj, v jakých souřadnicích se nástroj nachází.

Programově (Python) je to zde řešeno obdobně jako při vypisování daného úkonu v automatickém režimu. Řešení je pro ruční režim jednodušší, jelikož není potřebné programově dohledávat danou funkci a parametry, jelikož funkce (G) zde není a jedná se pouze o výpis definice tlačítka a jeho funkci (pohyb v ose +X). Nebylo zde ani nutné vypisovat aktuální hodnotu pozice v dané ose, jelikož tento údaj by duplikoval tentýž údaj, který se nachází ve výpisu aktuální pozice v ose, viz obrázek 36. Respektive se jedná o vypsání zmáčknutého tlačítka a odkázání na pozici v ose, viz obrázek 37.

Následně je to totožným stylem nadefinováno i u zbylých tlačítek, které panel obsahuje.

```
#print(f"Pohyb v ose Y+")
self.txt_VypisUkonu.insert("end",f"Pohyb +Y (pozice v ose)\n\n")
```

Obrázek 37 - Vypsání tlačítka +Y

Ačkoliv se tato část (kapitola 6.5 a kapitole 6.7) na první pohled zdá být tou jednodušší částí, tak to tak ve skutečnosti není. Může se zdát, že se u prvního tlačítka vymyslel algoritmus pro jeho správný výpis a následně se pouze kopíroval pro další tlačítka. Však takhle jednoduché to bohužel nebylo, jelikož každé tlačítko má své specifické vlastnosti (které již byly definovány) a k nim se musela další specifická vlastnost přidat (cca 15 různých tlačítek pro ruční ovládání). Ale ještě více komplikované to bylo pro G funkce, kde se mění jak daná funkce, tak jejich parametry a vlastnosti, tudíž se každá část pro G funkci nedala jenom jednoduše zkopírovat, ale musela se znovu nadefinovat, aby souhlasily její parametry a vlastnosti.

6.6 Animace úkonů v automatickém a ručním režimu

Po splnění jednotlivých podmínek technologického postupu je zde možnost nahrání programu z externí periferie nebo přímo ze systému Windows. Podmínkami technologického postupu se zde myslí například:

- Volba nástroje,
- volba průměru nástroje,
- výpočet a nastavení rezných podmínek,
- volba skokového posuvu,

- „škrtnutí“ o obrobek,
- zadání nulového bodu obrobku.

Po dodržení těchto kroků lze zvolit předem napsaný program v G funkcích a nahrát jej do simulátoru panelu. Následně panel provede sekvenci příkazů, které jsou definovány a vypíše jej do informační tabulky, viz obrázek 38 a ve stejný čas provádí animační simulaci.

```

Vypisování úkonů

Provádím příkaz G0, souřadnice
X = 0
Y = 0
Z = 5

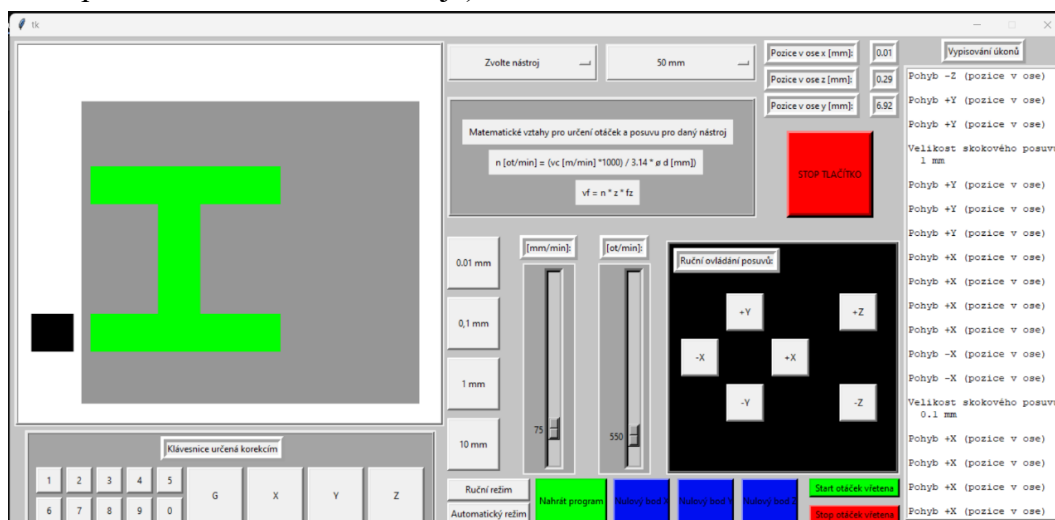
Provádím příkaz G0, souřadnice
X = 10
Y = -50
Z = 0

Provádím příkaz G1, souřadnice
X = 0
Y = 0
Z = -1

```

Obrázek 38 - Část sekvence příkazů

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.12, tak nástroj za splnění podmínky, že hodnota v ose Z musí být po určení nulového bodu záporná (resp. při nájezdu do obrobku odebrává materiál), za sebou nechává stopu po obrábění. Stopa po obrábění je viditelná jako zelená barva a zobrazuje se všude tam, kde nástroj odebíral materiál (obráběl), viz obrázek 39, kde je patrné, že nástroj vyfrézoval římskou číslici jedna. Stopa po obrábění se samozřejmě mění, dle zvoleného průměru nástroje (resp., když je zvolen nástroj o velikosti 20 mm, tak za sebou nechává stopu o velikosti daného nástroje).



Obrázek 39 - Stopa po obrábění a výpis úkonů

V kapitole 4.12 byla animace stále ve vývojové části, proto je v téže kapitole uvedeno, že nástroj je tvaru čtverce, viz obrázek 38. Což budí dojem, že nástroj není rotační část, což beze sporu být v tomto případě musí. Jak již bylo zmíněno jedná se pouze o animaci a tato animace je vytvořena jako bitmapový obrázek, který se při každém pohybu obnoví (tzv. nastane refresh), více v kapitole 6.6.1. Což bohužel nese ty následky, že nástroj nikdy nebude dokonalý kruh, i když u reálného CNC tohoto typu bude. A to z důvodu toho, že bitmapový obrázek se skládá z pixelů, a i přes snahu toho, aby bylo pixelů v animaci co nejvíce (z důvodu toho, že když by bylo voleno co nejvíce pixelů, tak by se mohla zdát, že animace nástroje by byla kruhová).

Bohužel výpočetní výkon je omezený a nebylo možné z tohoto důvodu, že při zvýšení počtu pixelů docházelo k prodlevám a PC nestíhal reagovat (resp. nestíhal obnovovat animaci) na daný úkon v reálném čase.

6.6.1 Tvorba animační stopy po frézování

Tato animační stopa, tak jako ostatní součásti této diplomové práce, je tvořena v programovém prostředí Python.

Je zde využito pole pro přepisování RGB barvy, kde je v podstatě i stanoveno to, že pokud se bude „nástroj“ nacházet na šedé ploše v animaci, resp. bude v určitém intervalu velikosti bitmapového obrázku, tak bude bitmapový obrázek (jeho část) „přebarven“ na zelenou barvu (0, 255, 0).

Aby bylo docíleno přebarvení správné pixelové plochy, tak je využito právě ono pole, do kterého se ukládá aktuální poloha animačního nástroje (tedy pokud je ve zvoleném intervalu velikosti bitmapového obrázku), viz obrázek 40. Následně se tato poloha při obnově bitmapového obrázku přebarví z černé (nástroj) na zelenou (stopa po obrábění).

```
#Pole pro přepis barvy stopy
if x > 150 and x < 950 and y > 150 and y < 950 and self.z < 0:
    self.pole_barva.append([x+20,y])

for bod in self.pole_barva:
    pix[bod[0],bod[1]] = (0,255,0)
```

Obrázek 40 - Část kódu pro zanechání stopy po obrábění

Tato část kódu musí být využita hned na několika místech v celém kódu, resp. musí se vyskytovat pokaždé tam, kde se vyskytuje definice (funkce) pro animaci v dané ose. Tudíž se vyskytuje v celém kódu celkem 4 krát, což může být ze začátku matoucí, jelikož osy jsou tři (X, Y, Z) a každá má kladnou a zápornou hodnotu, z čehož vyplývá, že by se zde tato část kódu

měla vyskytovat 6 krát.

Je to z toho důvodu, že pro osu Z postrádá tato část kódu význam. Jelikož osa Z v animaci není viditelná, tak z tohoto pohledu „nezanechává stopu“. Ale, jak bylo psáno výše, inicializuje, kdy má být stopa viditelná a kdy naopak ne (viz podmínka určitého intervalu bitmapového obrázku).

Z toho samého důvodu má také osa Z (jak v kladné, tak v záporné ose) jednodušší definici pro animaci, oproti osám X a Y, kde pro každou osu je to cca 50 řádků pro kladný směr a dalších 50 řádků pro záporný směr, celkem tedy 200 řádků pouze pro animaci v osách X a Y v obou směrech pohybu.

6.6.2 Změna nástroje viditelná v animaci

Velikost nástroje v animaci lze volit pomocí lišty pro volbu průměru nástroje, viz kapitola 4.2, která je doplněna o část kódu, díky kterému se při změně poloměru nástroje a jeho vepsání do kolonky volby průměru nástroje také změní v animační části.

Tato část kódu je tvořena pomocí funkce selection, kde je vždy k danému stringu, resp. číselné hodnotě poloměru nástroje zadané jako string přidělena určitá pixelová hodnota, viz obrázek 41. Na obrázku 41 jsou viditelné základní hodnoty „poloměru“ a jejich pixelové protiklady.



Obrázek 41 - Část kódu pro změnu nástroje a názorná ulážka

Po prvním odzkoušení funkčnosti této části kódu bylo zjištěno, že funguje dle předpokladu autora, ale také nastal malý problém. Problém byl v tom, že se animační velikost nástroje změnila až po kliknutí na některou z os, podle které se měl nástroj pohybovat, a ne ihned při kliknutí na požadovanou velikost, což by mohlo být velmi zmatečné.

Proto zde byla doplněna část kódu, která byla využita pro změnu velikosti nástroje v bitmapovém obrázku o `self.Velikost_nastroje`, což je proměnná, do které se ukládá aktuální velikost obrázku v pixelech. Bohužel nemůže být tato část kódu obsažena zde pod textem jako obrázek pro lepší vysvětlení, jelikož je tato část poměrně obsáhlá, a tudíž bude pouze součástí příloh práce.

6.6.3 Tvorba animací pro jednotlivé G funkce

Pro každou G funkci, která by měla být obsažena v panelu pro základní programovou práci, je vždy nadefinována funkce, která popisuje funkčnost dané G funkce a následně ji převádí na animaci. Zde se jedná o automatický režim panelu, takže po nahrání programu se přečtou jednotlivé instrukce (G funkce) a k nim dané parametry a poté je program animačně vykoná.

Tato část práce byla jednou z nejobtížnějších, jelikož bylo poměrně komplikované vytvořit algoritmus, který by mohl daný problém řešit. I přes vytvoření algoritmu to však bylo stále velmi komplikované pro převedení do programovacího jazyka.

Po prvních odzkoušeních prvního algoritmu bylo využito srovnávání hodnot na dané pozici. Vždy byla dána hodnota, kam se má nástroj animačně posunout a animace měla být vykonávána do chvíle, kdy se hodnoty nebudou rovnat. Tento princip, ale bohužel nebyl funkční, jelikož program finální pozici přeskočil a smyčka se vykonávala do nekonečna.

Po další analýze bylo zjištěno, že je to důsledkem toho, že nejsou zvoleny nulové body obrobku. Po „škrtnutí o obrobek“ a nastavení nulových bodů obrobku (X, Y, Z) se začaly vytvářet kroky až do finální pozice. Zde bohužel nastala další komplikace.

Při spuštění automatického režimu bylo zjištěno, že je režim funkční, ale Python nestíhá překreslit danou pozici v animaci, jelikož knihovna Tkinter nestíhá importovat daný obrázek. Bohužel je na dané knihovně postavena velká část práce, a tudíž ji nelze předělat na jinou.

Animaci (překreslování daného obrázku) však jde sledovat „externě“ přes obrázek v knihovně s programem, kde se daný úkon skutečně vykonává v reálném čase a je tedy zřejmé, že algoritmus pro automatický režim je funkční.

7 Tvorba GUI edukativního panelu

Celé uživatelské rozhraní (GUI) je tvořeno v programovém prostředí Python s využitím knihoven, kterými programovací jazyk Python disponuje. Knihovny a jejich součásti, které byly využity v této diplomové práci jsou například:

- Tkinter,
- filedialog,
- numpy,
- math,
- PIL,
- imageTk,
- matplotlib.pyplot,
- matplotlib.animation.

Knihovny, které jsou uvedeny výše, jsou využity pro tvorbu nejrůznějších výpočtů, tvorby animace, ale také pro vyobrazení jednotlivých tlačítek pro ovládání edukativního panelu CNC frézky.

7.1 Tvorba tlačítek pro ovládání (button)

Pro vytvoření všech tlačítek, které ovládací panel obsahuje (například pohyby v osách X, Y, Z) je využita knihovna Tkinter, podle které jsou kódově vytvořeny jednotlivá tlačítka.

Každé tlačítko je standartně definováno pomocí `self.button`, kde jsou poté definovány i jednotlivé parametry, které má tlačítko obsahovat. Parametry pro tlačítko byly například:

- Text, který se má na daném tlačítku zobrazovat,
- zvýraznění tlačítka („stín“),
- a další funkce.

Další funkce (viz výše) je myšleno jako definice daného tlačítka, resp. to, co má dané tlačítko dělat za funkci. Je zde využito opět standartní využití příkazu `command = lambda:` a výpis daného tlačítka (jeho funkce).

Další prvek pro tlačítka bylo jejich umístění v uživatelském rozhraní (například, aby ovládací tlačítka v jednotlivých osách byly logicky umístěny). Pro definici umístění tlačítka, ale i pro definici jeho velikosti je zde využito příkazu `self.button.place()`, do kterého jsou následně umístěny parametry daného tlačítka. V případě této práce jsou to například tyto parametry:

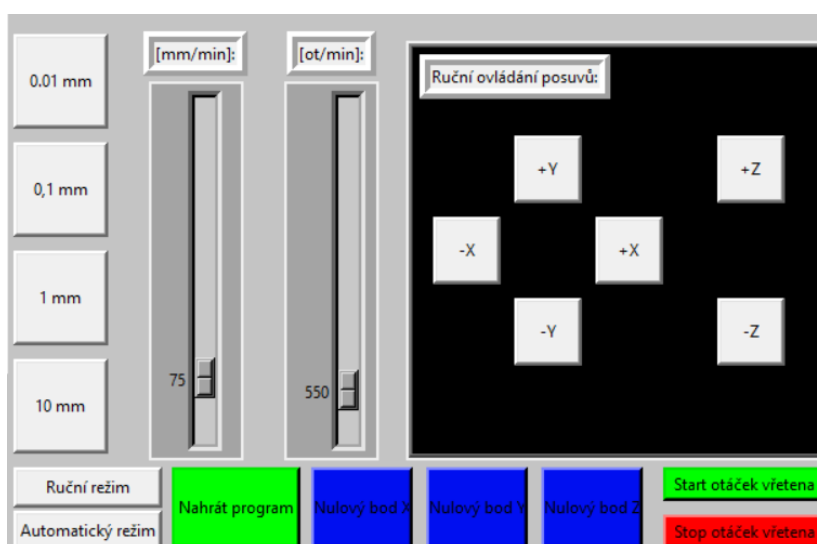
- Šířka tlačítka,
- výška tlačítka,
- umístění v ose x,
- umístění v ose y.

Volba těchto parametrů, resp. hodnot je velmi důležitá pro přívětivé uživatelské rozhraní. Umístění tlačítek by mělo být pro uživatele intuitivní a měl by se v dané aplikaci s přehledem orientovat. Což tedy znamená, aby byla systematicky umístěna tlačítka pro definici nulových bodů obrobku, zapnutí/vypnutí otáček vřetene a podobně, viz obrázek 42.

Je zde také nemálo důležité například zvolit pozadí (ohraničení) pro tlačítka, která spolu úzce souvisí (například pohyby v osách). Pro tento účel je zde využita funkce canvas, která je využita následovně. Vždy je nadefinováno dané ohraničení (self.ohraniceni) a parametry, které má zvolené ohraničení mít, například:

- Barva ohraničení,
- velikost ohraničení,
- vzhledové prvky.

Barva ohraničení je v hexadecimálním kódu (například #a4a4a4), velikost ohraničení by opět mělo být správně zvoleno, kvůli vzhledu aplikace. Následně je pomocí funkce self.ohraniceni.place dané ohraničení umístěno na pozici v uživatelském rozhraní.



Obrázek 42 - Systematické umístění tlačítek

7.2 Tvorba záložek výběru (možnosti)

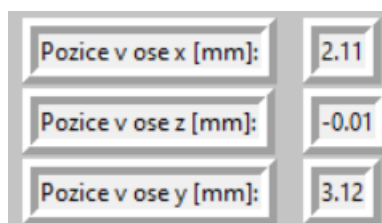
Pro tvorbu záložek pro výběr (v tomto případě) nástroje a průměru nástroje je zde využito funkce self.moznosti, ve které jsou definovány jednotlivé možnosti pro danou volbu

a nadpis dané záložky. Následně je daná záložka provázána s animací pro nástroj (při volbě většího nástroje se pixelově „zvětší“ animace nástroje).

7.3 Tvorba popisů (label)

Tvorba popisů, například pro jednotlivé pozice v osách X, Y, Z, je tvořena pomocí funkce `self.label` pro každý popis. Je zde využito v následujících případech:

- Pozice v osách, viz obrázek 43,
- matematické vztahy,
- ovládání posuvů,
- vypisování úkonů,
- klávesnice pro korekce,
- řezné podmínky.



Obrázek 43 - Příklad tvorby popisů (label)

7.4 Tvorba posuvných ukazatelů (scale)

Posuvné ukazatele jsou v této práci vytvořeny pomocí funkce `scale` (`self.otacky = scale()`). Daná funkce `scale` opět obsahuje volitelné parametry, které lze definovat. Jsou to například tyto parametry:

- Horní hodnota ukazatele (maximální hodnota),
- dolní hodnota ukazatele (minimální hodnota),
- orientace ukazatele (vertikální, horizontální),
- barva ukazatele (hexadecimální kód),
- vzhledové prvky.

Pro tuto práci byly definovány dva tyto ukazatele a jsou nimi:

- Otáčky vřetene,
- řezný posuv.

Oba tyto ukazatele byly definovány obdobně. Oba ukazatele jsou voleny ve vertikální orientaci (intuitivnější provedení). Ukazatele disponují totožnou dolní hranicí pro volbu

hodnoty a ta je nula. Rozlišují se v horní hodnotě ukazatele (v maximální hodnotě). Pro otáčky vřetene je maximální hodnota 5000 ot/min a pro řezný posuv je to 500 mm/min.

7.5 Definice funkcí tlačítek

Každé tlačítko je po jeho grafickém vytvoření následně definováno na danou funkci. Nejobtížnější definice těchto tlačítek byla u jednotlivých pohybů v osách X, Y a Z, jelikož museli být v podstatě jediná, která musela být svázána s animací úkonů.

Tato věc se vztahuje pouze k pohybu v osách X a Y, jelikož pouze u těchto dvou je ve 2D animaci patrný pohyb. V ose Z je pouze daná podmínka, že při hodnotě v ose Z menší jak nula, tak za sebou nástroj zanechává stopu po obrábění. Pro osy X a Y to bylo jiné. Pro osy X a Y musel být nejprve definována proměnná přírůstek, který je proměnný, jelikož se mění dle toho, jak uživatel zvolí krokový posuv (0.1 mm, 1 mm apod.).

Animace pro tyto osy funguje následovně. Vždy se animačně zobrazí obráběná plocha (obrobek) a nástroj (černá plocha). Následně se pro osu X+ (button1) vypočte následující pozice z pozice předcházející, která závisí na zvoleném krokovém posuvu (přírůstku) a obnoví bitmapový obrázek.

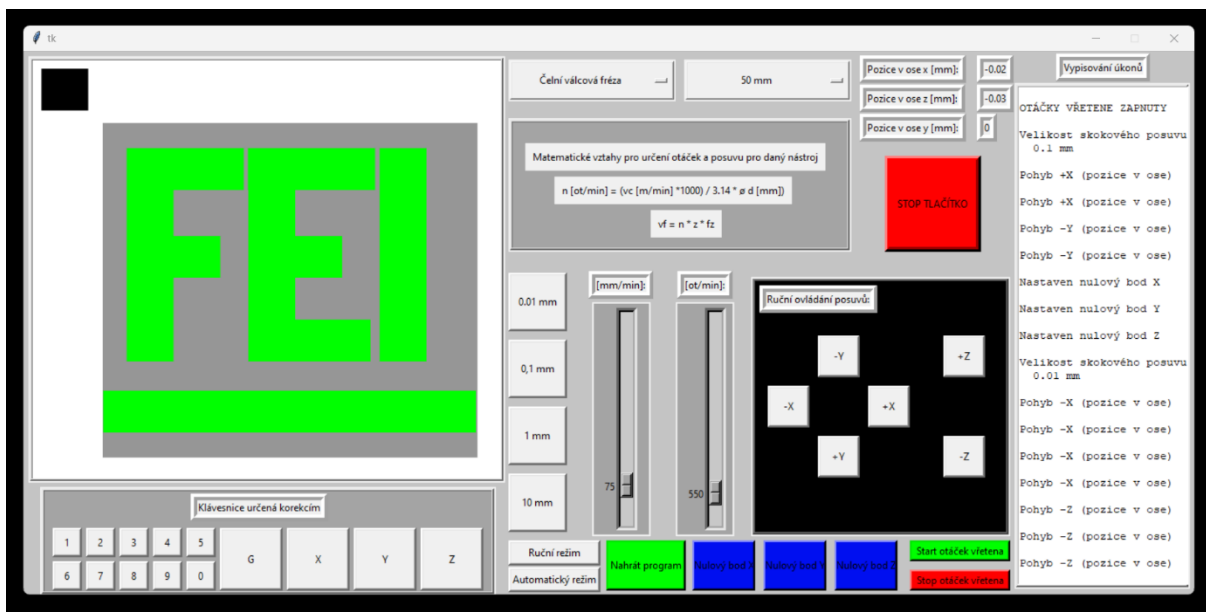
U dalších tlačítek, jako jsou X-, Y+, Y-, je postup obdobný. Pro tlačítko X- se v kódové části mění pouze znaménko z plusového na minusové a u tlačítek Y je to opět stejné, jen se prohazuje definice řádků pro x a y.

8 Analýza výsledků

Panel splňuje základní požadavky, které by měly studenti využívat v prvotních fázích výuky (první ročníky středních škol). Disponuje rozeznáváním základních typů G kódu (například pro lineární posuv, rychloposuv apod.). Uživatel pouze musí vždy zvolit daný nástroj ručně (nedisponuje automatickým nahrazením nástroje). Pracuje jak v ručním, tak v automatickém režimu a disponuje dalšími funkcemi, které jsou i na fyzickém panelu a byly zadáním této práce.

8.1 Finální úpravy

V závěrečné fázi byl panel ještě drobně poupraven, viz obrázek 44. Následně byl opatřen ochrannými prvky, aby nedocházelo k chybám při používání. V poslední řadě byl panel odzkoušen autorem, a to jak v ručním, tak automatickém režimu a odzkoušen nejmenovaným laikem, který dané problematice zatím nepříliš rozumí (jako to bude u studentů prvních ročníků středních škol), který postupoval podle kapitoly 5 (Technologický postup práce s panelem). Po pozorování toho, jak nejmenovaný laik postupuje byly doladěny poslední změny (resp. menší úpravy), které byly primárně v textu v kapitole 5.



Obrázek 44 - Finální verze panelu s obrobkem

9 Závěr

Cílem této práce bylo vytvoření simulátoru panelu pro CNC frézování s ohledem na edukaci studentů středních průmyslových škol. Vytvořený simulátor umožňuje volbu řezných podmínek, včetně rychlosti otáček a řezného posuvu, a také posuvy v jednotlivých osách. Důraz byl kladen na vytvoření virtuálního řídicího panelu, který napodobuje reálný panel CNC frézky a poskytuje studentům základní znalosti potřebné pro práci s reálnými stroji. Simulátor také umožňuje vytvoření nultého bodu před začátkem frézování a poskytuje hlášení kolizních stavů. S funkcí animace prováděných úkonů a možností přepínání mezi ručním a automatickým režimem je simulátor komplexním nástrojem pro výuku. Dále umožňuje načítání externích programů z periferií, jako je například flash disk, což rozšiřuje možnosti využití a přizpůsobení výuky individuálním potřebám studentů. Tímto bylo dosaženo hlavního cíle práce a připravení studentů na praktickou práci s CNC frézkami v průmyslovém prostředí.

V rámci této práce se lze setkat s omezením v části automatického režimu, kde knihovna Tkinter není schopna zajišťovat přímou aktualizaci animace na panelu (toto omezení platí pouze pro část automatického režimu – animaci). To znamená, že studenti musí zobrazit externí obrázek umístěný ve složce s aplikací a sledovat animační část přes tento obrázek. Automatický režim je mimo této skutečnosti plně funkční (například nahrání jednotlivých příkazů přímo na panel).

Případná doporučení pro další vývoj jsou například optimalizace výkonu ve smyslu výběru alternativních knihoven, případně optimalizování kódu nebo použití asynchronních operací.

POUŽITÁ LITERATURA

- BOUKAL, ©2023. *Kotoučová fréza HSSCo5* [online]. [Cit. 12.8. 2023]. Dostupné z: https://www.boukal.cz/kotoucova-freza-hssco5-50-x-8-mm-format-typ-n-din885-a/46170/produkt?gclid=CjwKCAjw29ymBhAKEiwAHJbJ8gMbGzPJHZrsEVUEu9nOL-siLjhIz0Ko-ktryCojXxmYWibZo6mNIxoCyMAQAvD_BwE
- CZNÁSTROJE, ©2023. *Tvrđokovová fréza kulová 55HCR– 2 břitá TiAlN* [online]. [Cit. 12.8. 2023]. Dostupné z: <https://www.cznastroje.cz/Tvrđokovova-freza-kulova-55HRC-2-brita-TiAlN-d224.htm>
- ENGETO, ©2023. *Python knihovny pro každého* [online]. [Cit. 20.10. 2022]. Dostupné z: <https://engeto.cz/blog/programovani/python-knihovny-pro-kazdeho/>
- FANUC Czech s.r.o., ©2022. *Magazín o průmyslové automatizaci a robotice* [online]. [Cit. 9.10. 2023]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/ridici-systemy-cnc-stroju-poznejte-ruzne-typy-rizeni/>
- FISHER, Ulrich a kolektiv. 2004. *Základy strojnictví*. Praha: Europa-Sobotáles. ISBN 80-86706-09-5.
- GRMELA, Jan. 2012. *Sublime text* [online]. [Cit. 17.10. 2023]. Dostupné z: <https://www.abclinuxu.cz/software/nastroje/textove-editor/sublime-text>
- IT-slovník.cz team, ©2022. *Co je to programovací jazyk?* [online]. [Cit. 17.10. 2023]. Dostupné z: <https://it-slovník.cz/pojem/programovaci-jazyk>
- KENNAMETAL, ©2023. *Kenloc – Břítová destička WNMG Negativní RN* [online]. [Cit. 2.10. 2023]. Dostupné z: <https://www.kennametal.com/cz/cs/products/fam.kenloc-inserto-wnmg-negativo-rn.100001876.html>
- NAKOL, ©2023. *Fréza válcová čelní 620275, polohrubozubá* [online]. [Cit. 12.8. 2023]. Dostupné z: <https://www.nakol.cz/freza-valcova-celni-620275-polohrubozuba>
- PECINOVSKÝ, Rudolf. 2022. *Začínáme programovat v jazyku Python. 2.* přepracované a rozšířené vydání. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-3609-4.
- POLZER, Aleš. 2011. *Akademie CNC obrábění* [online]. [Cit. 16.10. 2023]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-66_8601.html
- První Hanácká BOW spol. s.r.o., ©2018. *Řídící systém Sinumerik 828D BASIC T* [online]. [Cit. 9.10. 2023]. Dostupné z: <https://www.bow.cz/clanky/ridici-system-sinumerik-828d-basic-t-23>
- Python software foundation, ©2023. *The Python Logo* [online]. [Cit. 16.10. 2023]. Dostupné z: <https://www.python.org/community/logos/>
- SOVEX, ©2023. *TK STOPKOVÁ FRÉZA SPECIÁL SEZ1210 12x30 mm* [online]. [Cit. 12.8. 2023]. Dostupné z: <https://eshop.sovex.cz/e-shop/14808-tk-stopkova-freza-special-sez1210-12x30mm>
- ŠTULPA, Miloslav. 2022. *Technologie obrábění: CNC soustružení, frézování, vrtání : pro praxi*. Praha: Grada publishing. ISBN 978-80-271-2883-9.
- ŠTULPA, Miloslav. 2006. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN - technická literatura, ISBN 978-80-7300-207-7.

SUBLIME HQ Pty Ltd, ©2022. *Sublime text* [online]. [Cit. 17.10. 2023] . Dostupné z:
<https://www.sublimetext.com/>

VASILKO, Karol; HRUBÝ, Jindřich a LIPTÁK, Ján. 1991. *Technológia obrábania a montáže*. Bratislava: Alfa. ISBN 80-05-00807-4.

ZPS-FN, ©2023. *Frézy válcové čelní dlouhé*[online]. [Cit. 12.8. 2023]. Dostupné z:
https://www.zps-fn.cz/cz/hledani/detail1/frezy-valcove-celni-dlouhe,-typ-n,-kod-141218,-prumer-20-mm/?gclid=CjwKCAjw29ymBhAKEiwAHJbJ8mcl-5codh1hIN7yWCwPztVYoeDUVN-Wijrz5Ff-xMCXZgU4N8hvwrOC3AoQAvD_BwE

Přílohy

Příloha A – CD

Příloha k diplomové práci

Edukativní simulátor řídicího panelu CNC frézky

Bc. Vladimír Flandera

CD

Obsah

- 1 Text diplomové práce ve formátu PDF.
- 2 Vývojový diagram programované aplikace.
- 3 Zdrojový kód programu v jazyce Python.