

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 – Strojní inženýrství
Studijní specializace: Strojírenská technologie – technologie obrábění

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Nástroje systému Sinumerik pro řízení posuvové rychlosti a jejich praktické využití.

Autor: Martin KRULIŠ
Vedoucí práce: Ing. Jan HNÁTÍK, Ph.D.

Akademický rok 2021/2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martin KRULIŠ**
Osobní číslo: **S19B0605P**
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**
Specializace: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**
Téma práce: **Nástroje systému Sinumerik pro řízení posuvové rychlosti a jejich praktické využití**
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování

1. Úvod
2. Definice cílů
3. Rozbor současného stavu
4. Definice experimentu
5. Popis průběhu experimentu
6. Vyhodnocení experimentu
7. Technické hodnocení
8. Závěr

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- STANĚK, J., NĚMEJC, J. Metodika zpracování a úprava diplomových prací. Plzeň : ZČU,2005, ISBN 80-7043-363-9.
- MAREK, J. a kol.: Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha, MM publishing, 2014, ISBN: 978-80-260-6780-1.
- Softwarová optimalizace obrábění složitých tvarových ploch při práci na čisto s ohledem na ochranu nástroje [písemná práce ke státní doktorské zkoušce], Libor Hamouz, 2010.
- ŠTULPA, M.: CNC programování obráběcích strojů. Praha, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.
- Manufacturing automation : metal cutting mechanics, machine tool vibrations and CNC design / Yusuf Altintas, Cambridge, 2012, Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-17247-9.
- Manuál sinumerik 840D.
- Softwarová optimalizace NC kodu pomocí Eureka Chronos [písemná práce ke státní magisterské zkoušce], Lukáš Nezbeda, 2021.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Hnátík, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Luboš Kroft, Ph.D.**
Regionální technologický institut

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2022**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Janu Hnátíkovi, Ph.D. za odborné konzultace, užitečné rady a profesionální přístup. Dále děkuji panu Ing. Lubošovi Kroftovi, Ph.D. za cenné rady při psaní této bakalářské práce.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Kruliš	Jméno Martin	
STUDIJNÍ PROGRAM	B0715A270013 Strojní inženýrství		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Hnátík, Ph.D.	Jméno Jan	
PRACOVISŤE	ZČU – FST – KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Nástroje systému Sinumerik pro řízení posuvové rychlosti a jejich praktické využití.		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	65	TEXTOVÁ ČÁST	59	GRAFICKÁ ČÁST	6
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce zkoumá vliv nástrojů systému Sinumerik pro řízení posuvové rychlosti a jejich praktické využití. Je popsán základní princip fungování CNC stroje, regulace posuvu, chování zrychlení, interpolátorů a pohonů posuvů. Charakteristiky posuvů jsou více popsány a jsou k nim navrženy dva experimenty, které ukazují jejich vliv na využití v praxi.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	posuvová rychlost, charakteristiky posuvu, CNC stroj, Sinumerik, praktické využití

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Kruliš	Name Martin	
STUDY PROGRAMME	B0715A270013 Mechanical Engineering		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Hnátík, Ph.D.	Name Jan	
INSTITUTION	ZČU – FST – KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Sinumerik system tools for feed rate control and their practical use.		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2022
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	65	TEXT PART	59	GRAPHICAL PART	6
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor thesis examines the influence of Sinumerik system tools for feed rate control and their practical use. It describes the basic principle of operation of the CNC machine, feed control, acceleration behavior, interpolators and feed drives. The characteristics of the displacements are described in more detail and two experiments are proposed for them, which show their influence on their use in practice.
KEY WORDS	feed rate, feed characteristics, CNC machine, Sinumerik, practical application

Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	10
Seznam tabulek	13
1 Úvod.....	14
2 Definice cílů	15
3 Rozbor současného stavu	16
3.1 Sinumerik.....	16
3.1.1 Verze řídicího systému Sinumerik	16
3.2 Popis funkce CNC strojů	17
3.2.1 Vstupní část.....	17
3.2.2 Zpracování informací	18
3.2.3 Výstupní část.....	18
3.3 Interpolátor	18
3.3.1 Druhy interpolátorů	18
3.3.2 Porovnání typů splinů a ukázka programu C splinu	21
3.4 Pohony posuvů	22
3.4.1 Lineární soustavy	22
3.5 Regulace posuvu.....	23
3.5.1 Druhy funkcí	23
3.6 Průběh charakteristiky posuvu.....	24
3.6.1 FNORM.....	24
3.6.2 FLIN	24
3.6.3 FCUB	25
3.6.4 F=FPO	25
3.6.5 Příklady funkcí průběhu charakteristik posuvu.....	26
3.7 Chování zrychlení.....	27
3.7.1 Ryv (JERK).....	27
3.7.2 BRISK, BRISKA	27
3.7.3 SOFT, SOFTA	27
3.7.4 DRIVE, DRIVEA.....	27
3.8 Porovnání funkcí SOFT a BRISK	28
4 Definice experimentu	29
4.1 První experiment.....	29
4.2 Druhý experiment.....	30
5 Popis průběhu experimentu.....	31

5.1	První experiment.....	31
5.1.1	První měření	31
5.1.2	Druhé měření.....	33
5.1.3	Třetí měření	35
5.2	Druhý experiment.....	37
6	Vyhodnocení experimentu	38
6.1	První experiment.....	38
6.1.1	Vyhodnocení prvního měření.....	38
6.1.2	Vyhodnocení druhého měření	39
6.1.3	Vyhodnocení třetího měření.....	41
6.1.4	Porovnání FNORM	42
6.1.5	Porovnání FLIN.....	46
6.1.6	Porovnání FCUB	49
6.1.7	Vyhodnocení naměřených časů.....	53
6.2	Druhý experiment.....	53
7	Technické hodnocení.....	54
7.1	Ekonomické hodnocení	54
8	Závěr.....	56
9	Bibliografie.....	58
	PŘÍLOHA č. 1.....	i
	NC kód funkce FNORM bez cyklu CYCLE832.....	i

Přehled použitých zkratk a symbolů

NC	Numerical Control – Číslicově řízený
CNC	Computer Numerical Control – Počítačově číslicově řízený
CAD	Computer Aided Design – Počítačová podpora konstrukce
PLC	Programmable Logic Controller – Programovatelný logický automat
T_p	Časový fond stroje [h/rok]
d	Počet pracovních dnů v roce
h	Počet pracovních hodin v jednom dni [h]
t_z	Plánované prostoje
N	Teoretické náklady na stroj [Kč/rok]
S	Hodinová sazba stroje [Kč/h]
F	Posuvová rychlost [mm/min]

Seznam obrázků

Obrázek 1: Prostředí systému Sinumerik	16
Obrázek 2: Blokové schéma NC řídicího systému [4]	17
Obrázek 3: Lineární interpolace [3]	18
Obrázek 4: Kruhová interpolace [3]	19
Obrázek 5: Ukázka A splinu o zadaných souřadnicích P1 a P7 [7]	19
Obrázek 6: Ukázka B splinu o zadaných souřadnicích P1 a P7 [7]	20
Obrázek 7: Ukázka C splinu o zadaných souřadnicích P1 a P7 [7]	20
Obrázek 8: Porovnání druhů splinů [7]	21
Obrázek 9: Ukázka příkladu C spline [7]	21
Obrázek 10: Schéma rychlostně polohového servomechanismu [9]	22
Obrázek 11: Grafická ukázka posuvové rychlosti funkce FNORM [8]	24
Obrázek 12: Grafická ukázka posuvové rychlosti funkce FLIN [8]	24
Obrázek 13: Grafická ukázka posuvové rychlosti funkce FCUB [8]	25
Obrázek 14: Grafická ukázka posuvové rychlosti funkce F=FPO [8]	25
Obrázek 15: Ukázka psaní funkcí FNORM, FLIN, FCUB a F=FPO [8]	26
Obrázek 16: Grafická ukázka funkcí FNORM, FLIN, FCUB a F=FPO [8]	26
Obrázek 17: Ukázka zápisu funkce SOFT a BRISKA [11]	27
Obrázek 18: Ukázka průběhu rychlosti pohybu po dráze funkce DRIVE [11]	27
Obrázek 19: Porovnání funkcí SOFT a BRISK [11]	28
Obrázek 20: Ukázka programu jednoho přejezdu	29
Obrázek 21: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FNORM	31
Obrázek 22: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FLIN	32
Obrázek 23: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FCUB	32
Obrázek 24: Možnosti nastavení CYCLE832 [13]	33
Obrázek 25: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FNORM a CYCLE 832 s tolerancí 0,1	34
Obrázek 26: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FLIN a CYCLE 832 s tolerancí 0,1	34
Obrázek 27: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FCUB a CYCLE 832 s tolerancí 0,1	35
Obrázek 28: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FNORM a CYCLE 832 s tolerancí 0,01	36
Obrázek 29: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FLIN a CYCLE 832 s tolerancí 0,01	36
Obrázek 30: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FCUB a CYCLE 832 s tolerancí 0,01	37

Obrázek 31: Graf závislosti polohy osy x na čase při vyhodnocení funkcí z prvního měření .	38
Obrázek 32: Detailní pohled na graf závislosti polohy osy x na čase při vyhodnocení funkcí z prvního měření	39
Obrázek 33: Graf zatížení vřetena z prvního měření	39
Obrázek 34: Graf závislosti polohy osy x na čase při vyhodnocení funkcí z druhého měření	40
Obrázek 35: Detailní pohled na graf závislosti polohy osy x na čase při vyhodnocení funkcí z druhého měření.....	40
Obrázek 36: Graf zatížení vřetena z druhého měření.....	41
Obrázek 37: Graf závislosti polohy osy x na čase při vyhodnocení funkcí z třetího měření...	41
Obrázek 38: Detailní pohled na graf závislosti polohy osy x na čase při vyhodnocení funkcí z třetího měření	42
Obrázek 39: Graf zatížení vřetena z třetího měření	42
Obrázek 40: Graf závislosti polohy osy x na čase při porovnání funkce FNORM.....	43
Obrázek 41: Detailní pohled na graf závislosti polohy osy x na čase při porovnání funkce FNORM.....	43
Obrázek 42: Graf porovnání funkce FNORM a posuvové rychlosti F-FNORM v závislosti na čase	44
Obrázek 43: Graf porovnání funkce FNORM s CYCLE832 při toleranci 0,1 a její posuvové rychlosti F-CYCLE832-0,1 v závislosti na čase	44
Obrázek 44: Graf celkového porovnání posuvové rychlosti F a dráhy na čase funkce FNORM	45
Obrázek 45: Graf funkce posuvové rychlosti F funkce FNORM v závislosti na čase.....	45
Obrázek 46: Graf funkce posuvové rychlosti F funkce FNORM s CYCLE832 a tolerancí 0,1 v závislosti na čase	46
Obrázek 47: Graf závislosti polohy osy x [mm] na čase [s] při porovnání funkce FLIN	46
Obrázek 48: Detailní pohled na graf závislosti polohy osy x [mm] na čase [s] při porovnání funkce FLIN	47
Obrázek 49: Graf porovnání funkce FLIN a posuvové rychlosti F-FLIN v závislosti na čase	47
Obrázek 50: Graf porovnání funkce FLIN s CYCLE832 při toleranci 0,1 a její posuvové rychlosti F-CYCLE832-0,1 v závislosti na čase	48
Obrázek 51: Graf celkového porovnání posuvové rychlosti F a dráhy na čase funkce FLIN .	48
Obrázek 52: Graf funkce posuvové rychlosti F funkce FLIN v závislosti na čase	49
Obrázek 53: Graf funkce posuvové rychlosti F funkce FLIN s CYCLE832 a tolerancí 0,1 v závislosti na čase	49
Obrázek 54: Graf závislosti polohy osy x [mm] na čase [s] při porovnání FCUB	50
Obrázek 55: Detailní pohled na graf závislosti polohy osy x [mm] na čase [s] při porovnání FCUB	50
Obrázek 56: Graf porovnání funkce FCUB a posuvové rychlosti F-FCUB v závislosti na čase	51

Obrázek 57: Graf porovnání funkce FCUB s CYCLE832 při toleranci 0,1 a její posuvové rychlosti F-CYCLE832-0,1 v závislosti na čase	51
Obrázek 58: Graf celkového porovnání posuvové rychlosti F a dráhy na čase funkce FCUB	52
Obrázek 59: Graf funkce posuvové rychlosti F funkce FCUB v závislosti na čase	52
Obrázek 60: Graf funkce posuvové rychlosti F funkce FLIN s CYCLE832 a tolerancí 0,1 v závislosti na čase	53

Seznam tabulek

Tabulka 1: Naměřené časy z prvního měření	31
Tabulka 2: Naměřené časy z druhého měření	33
Tabulka 3: Naměřené časy z třetího měření	35
Tabulka 4: Neměřené časy z druhého experimentu	37
Tabulka 5: Naměřené časy z prvního experimentu	53
Tabulka 6: Úspora času a nákladů druhého měření	55
Tabulka 7: Úspora času a nákladů z třetího měření	55
Tabulka 8: Porovnání úspory časů 2. a 3. měření	56

1 Úvod

Aktuálně existuje na trhu hned několik řídicích systémů pro řízení CNC strojů. Každý z těchto systémů disponuje odlišným software a hardware. Uživatelé si na základě těchto informací dostupných na internetových stránkách prodejců vyberou systém, který je pro ně vhodný. Nejrozšířenější řídicí systémy jsou Fanuc, Heidenhain a Sinumerik. Jednotlivé systémy se liší převážně po softwarové stránce, kde každý nabízí odlišná nastavení. Existuje zde mnoho nástrojů pro nastavení rozličných podmínek při obrábění. Použitím určitých funkcí lze dosáhnout lepší kvality povrchu obrobku, produktivity, zvýšení životnosti nástrojů a samotných CNC strojů.

Práce se bude snažit objasnit problém, který se vyskytl v diplomové práci na téma „Optimalizace NC kódu pomocí Eureka Chronos.“ Cílem této práce bylo popsat a následně rozebrat optimalizaci NC kódu pomocí zmíněného softwaru. Vhodná optimalizace může mít za následek snížení obráběcích časů a vyladit velké silové účinky na soustavu pomocí optimalizace posuvové rychlosti. Zmíněný problém spočíval v tom, že optimalizovaný NC kód způsoboval trhavé pohyby nástroje po povrchu obrobku. Mezi možné příčiny patří nedostatečné odladění postprocesoru a špatné naladění nástrojů systému Sinumerik pro posuvovou rychlost. [1]

V této bakalářské práci bude zkoumána druhá zmíněná příčina, tj. problém nástroje systému Sinumerik pro posuvovou rychlost a dále bude uvedeno jejich praktické využití. Přesněji, bude posuzeno možné nastavení nástrojů pro regulaci posuvů, průběhu charakteristik posuvů a chování zrychlení. Prostřednictvím regulace posuvu se definují rychlosti posuvu v NC programu, které se účastní obrábění. Průběh charakteristiky posuvu realizuje změny zrychlení bez trhavých pohybů. To má za následek dosažení jednotné jakosti povrchu. Jako poslední nástroj se jeví chování zrychlení, které usiluje o omezení lineárního nárůstu posuvu rychlosti a dosáhnout kvadratického posuvu rychlosti. Práce bude také obsahovat základní informace o řídicím systému Sinumerik a popis fungování CNC stroje. Následně bude detailněji popsáno fungování interpolátorů a budou podány informace o pohonech posuvů. Dále budou provedeny praktické pokusy zkoumající jednotlivá nastavení funkcí Sinumeriku na zkušebním obrobku. Všechny tyto pokusy budou náležitě zaznamenány, uvedeny v tabulce a porovnány. Porovnáním pokusů bude zjištěn vliv, jenž měly změny v nastavení funkcí softwaru na povrch obrobku nebo chod stroje.

2 Definice cílů

Jak již bylo zmíněno v úvodu, hlavním cílem práce je zjistit dopady nastavení nástrojů systému Sinumerik pro posuvovou rychlost. Nejprve budou uvedeny základní informace o systému Sinumerik a o principu fungování CNC stroje. Následuje přesnější popis a funkce interpolátorů. Dále budou dány elementární informace o pohonech posuvů. Po přiblížení tématu se práce zaměří na nástroje systému Sinumerik pro posuvovou rychlost. Při experimentu budou provedeny praktické pokusy, které budou zkoumat vliv nastavení nástrojů Sinumeriku pro posuvovou rychlost na zkušebním obrobku. Srovnáním pokusů se zjistí dopad odlišných nastavení jednotlivých funkcí.

3 Rozbor současného stavu

V předchozích kapitolách bylo uvedeno, že mezi nástroje pro posuvovou rychlost systému Sinumerik se řadí regulace posuvu, průběh charakteristiky posuvu a chování zrychlení. Tyto vyjmenované funkce mohou mít vliv na jakost obrobku, produktivitu a životnost mechanických částí CNC stroje. Před popisem jednotlivých nástrojů systému budou uvedeny základní informace o systému Sinumerik, elementární fungování CNC stroje a princip pohonu posuvů.

3.1 Sinumerik

Sinumerik je řídicí systém určený k ovládání CNC strojů. Vývojářem je firma Siemens AG, založena v roce 1847 v Berlíně. K prvnímu vydání došlo v roce 1964. Za půl století vývoje vydána řada verzí. Jednotlivé verze se lišily především druhem pohonů, hardwarovou a softwarovou rozmanitostí a účelem, pro který byly určeny. Zásadní inovací bylo přidání grafického programování ShopTurn a ShopMill. Tato funkce umožňovala velmi jednoduché ovládání a programování a obsahovala grafický náhled na programovanou součást. Sinumerik je vybaven nástroji pro nastavení posuvové rychlosti. Nastavení jednotlivých funkcí může mít za následek menší namáhání pohybujících se částí CNC stroje, výrazný vliv na zkrácení časů obrábění a zlepšení kvality obrobku. [2]

3.1.1 Verze řídicího systému Sinumerik

Verze se dělí podle druhů pohonů.

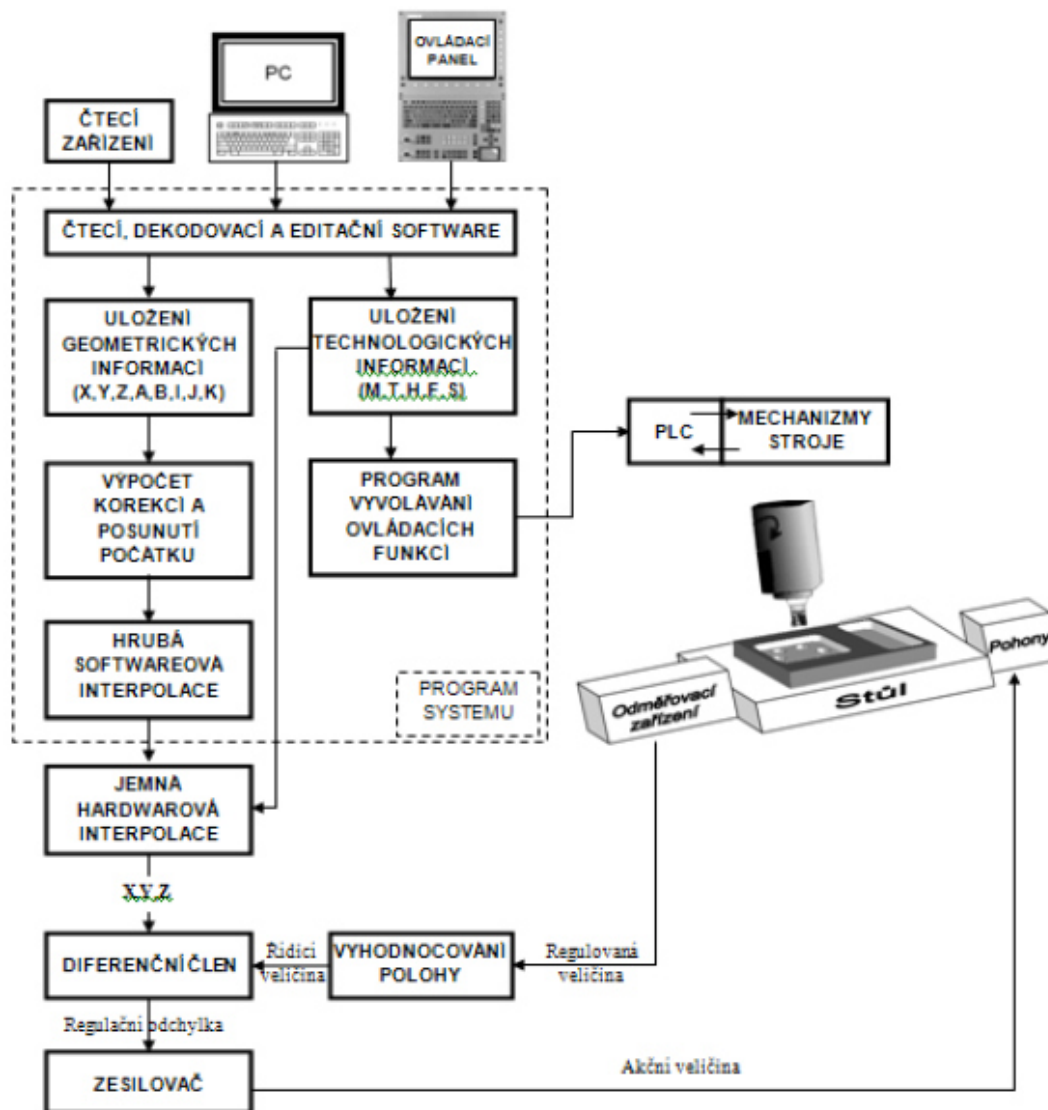
- Pohon SIMODRIVE 611
Tyto verze byly tři, Sinumerik 802C/S, Sinumerik 810D a Sinumerik 840D pl.
- Pohon SIMODRIVE 611 nebo SINAMICS S120
Tato verze byla pouze jedna, Sinumerik 840Di sl.
- Pohon SINAMICS S120
Tyto verze byly opět tři, Sinumerik 802D sl, Sinumerik 840D sl a Sinumerik 828 M/T. [2]



Obrázek 1: Prostředí systému Sinumerik

3.2 Popis funkce CNC strojů

CNC je zkratkou anglického výrazu „Computer Numerical Control“ přeloženo jako „počítačově číslicové řízení.“ Počítačově číslicové řízení je způsob řízení automatického pracovního cyklu stroje. Při tomto pracovním cyklu jsou řízeny fyzikální veličiny popisující pohyb (dráha, otáčky, posuv). Údaje pro řízení stroje jsou zadány programem. Řídicí systém po přečtení programu začne posílat impulsy ovládacím prvkům stroje a tím stroj začne vykonávat obrábění součásti. [3; 4]



Obrázek 2: Blokové schéma NC řídicího systému [4]

3.2.1 Vstupní část

Vstupní část obsahuje prostředky pro vložení CNC programu do systému, jejich kontrolu a následné zpracování. Nahrát CNC program lze přes čtecí zařízení, které snímá informace z externího média nebo LAN sítě. V dnešní době se jako externí média používají flashdisky a harddisky. [3; 4; 5]

3.2.2 Zpracování informací

Úkolem je zpracovat informace ze vstupní části. Dekódovací člen neboli ústřední aritmetická jednotka zpracovává signál v číslicovém kódu ze vstupních informací a převádí je na čitelné povely pro řízení pohonu stroje. Čitelné formáty pro řízení stroje jsou ISO nebo EIA. Také má v sobě zabudované kontrolní obvody, které jsou určeny ke kontrole nahraných informací. Do paměti se nahraje kompletní nebo velká část NC programu. Paměť je schopna načíst a ponechat program načtený po potřebnou dobu, kdy se s CNC programem pracuje. Následně PLC část začne zpracovávat informace z ovládacího panelu, dotykové sondy nebo ručního ovládání a tím řídí mechanismy stroje. Interpolátor zpracovává informace o naprogramované dráze a z toho vypočítává hodnoty souřadnic (viz. bod 3.3). Důležitou součástí stroje je také diferenční člen, který zpracovává informace z odměřovacího zařízení, ze kterých řídí délku vygenerované dráhy. Pokud skutečná hodnota je shodná s naprogramovanou hodnotou, dá diferenční člen povel k zastavení. Jestliže se hodnoty k sobě přibližují, diferenční člen dá povel ke zpomalení. [3; 4; 5]

3.2.3 Výstupní část

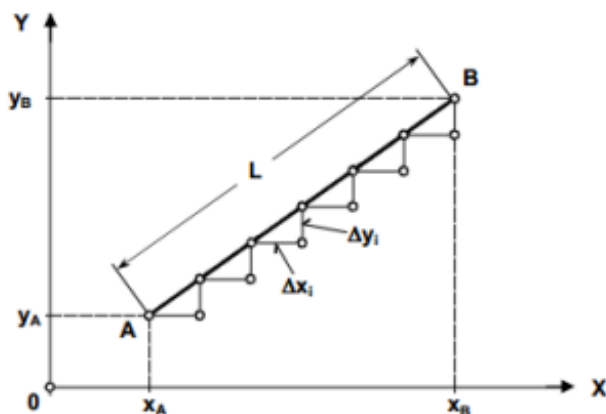
Výstupní část napojuje řídicí systém na přizpůsobovací obvody. Přizpůsobovací obvody jako je například relé, stykač, tyristor, usměrňovač, zesilovač, PLC a jističe zpracovávají logické signály na povely srozumitelné pro řízení stroje. [3; 4; 5]

3.3 Interpolátor

Jak již bylo zmíněno u popisu funkce CNC strojů. Interpolátor zpracovává informace o naprogramované dráze a z toho vypočítává hodnoty souřadnic. Naprogramovaná obecná dráha může být nahrazována lineárními, kvadratickými nebo spline křivkami. Tyto křivky jsou nahrazeny již při tvorbě NC programu. Přesnost výpočtu hodnot závisí na rychlosti posuvu a přesnosti obrábění neboli inkrementu dráhy. Inkrement (přírůstek) dráhy je nejmenší programovatelná (měřitelná) hodnota stroje. Čím menší bude inkrement dráhy tím bude stroj dosahovat větší přesnosti. Při větší přesnosti je kladen zvětšující se požadavek na přesnost výpočtu interpolace. Inkrement dráhy může dosahovat hodnot od 5 μm až do 10 nm. [3; 4; 6; 5]

3.3.1 Druhy interpolátorů

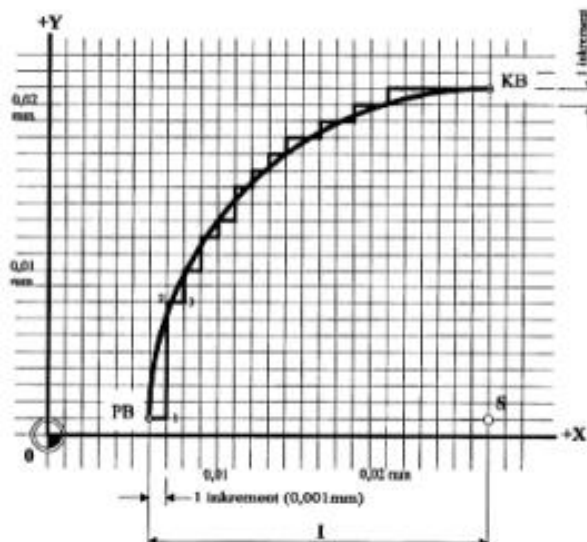
Lineární interpolátor spojuje definovanou rychlostí mezihodnoty, které náležejí mezi počátečním bodem A a koncovým bodem B. Generovaná dráha není plynulá, ale je udávána přírůstkovou formou do inkrementů. Mezihodnoty jsou malé úsečky, které nahrazují dráhu nástroje. Při programování se funkce vyvolá psaním G01. [3]



Obrázek 3: Lineární interpolace [3]

Kvadratický interpolátor nahrazuje obecný tvar dráhy křivkami druhého stupně (kružnice, oblouky). Funguje na obdobném principu jako lineární s tím rozdílem, že mezihodnoty leží na kruhové dráze.

Při programování se funkce vyvolá psaním G02 či G03. G02 je interpolace ve směru hodinových ručiček a G03 proti směru hodinových ručiček. [3]

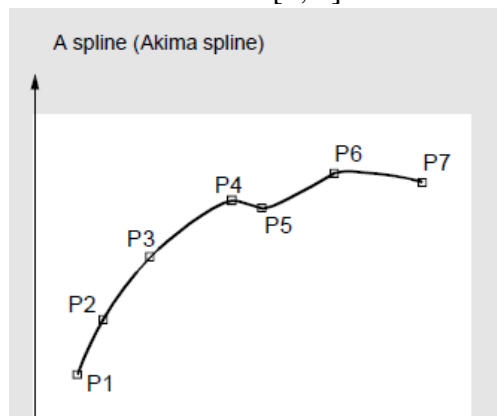


Obrázek 4: Kruhová interpolace [3]

Spline nahrazuje obecný tvar dráhy křivkami, které se skládají z řady polynomů třetího stupně. Spline je hladká křivka, která nemá žádné hrany a s neustále se měnícím poloměrem křivosti. Existuje několik typů splinů s různými vlastnostmi. Každý z nich produkuje odlišné interpolační efekty. Uživatel kromě typu splinu, může také měnit spoustu dalších parametrů. Existuje velké množství popisů spline křivky, nejčastěji se používá A spline, B spline a C spline. [7; 8]

- A spline

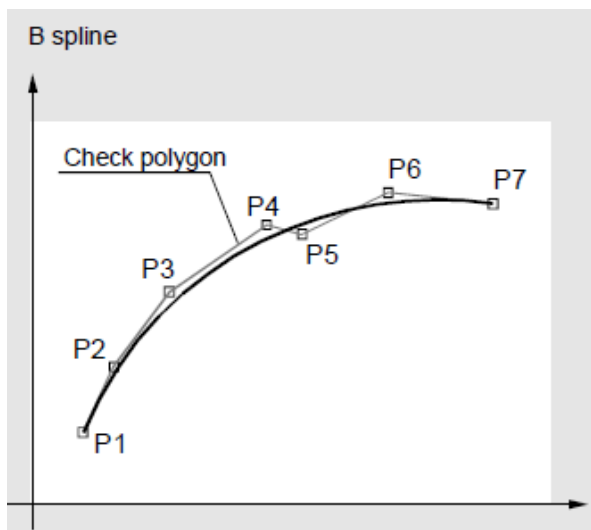
A spline je lokální, to znamená, že změna interpolačního bodu mění až šest přilehlých bodů. Prochází pouze zadanými body a průběh křivky má tangenciální přechod. Nevytvářejí souvislou křivku v interpolačních bodech a neprodukuje skoro žádné oscilace. Hlavní aplikací pro tento druh splinu je interpolace dráhy s velkým křivkovým stoupáním. Při programování, konkrétně v systému Sinumerik, se funkce vyvolá psaním ASPLINE X Y Z A B C. [7; 8]



Obrázek 5: Ukázka A splinu o zadaných souřadnicích P1 a P7 [7]

- B spline

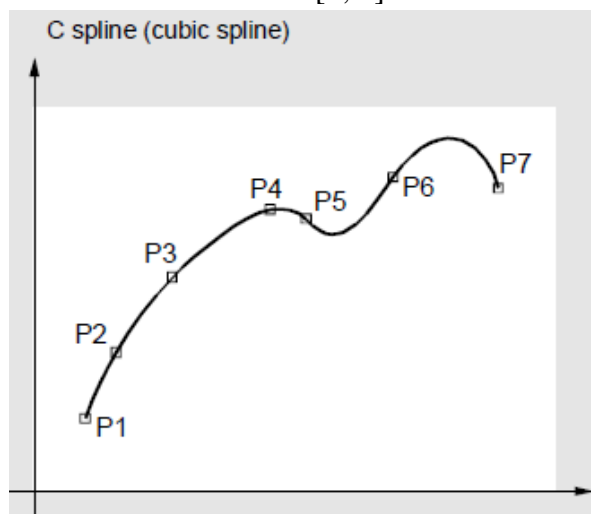
Naprogramované pozice mezilehlými uzlovými body slouží pouze jako kontrolní body splinu. Křivka je přibližně přitahována k uzlovým bodům, ale neprochází přímo skrz ně. Úsečky spojující body vytvářejí kontrolní mnohoúhelník. Stejně jako A spline nevytváří žádné oscilace. B spline vytváří plynule zakřivené přechody. Hlavním účelem B spline je fungovat jako rozhraní v CAD programech. Při programování, konkrétně v systému Sinumerik, se funkce vyvolá psaním BSPLINE X Y Z A B C. [7; 8]



Obrázek 6: Ukázka B splinu o zadaných souřadnicích P1 a P7 [7]

- C spline

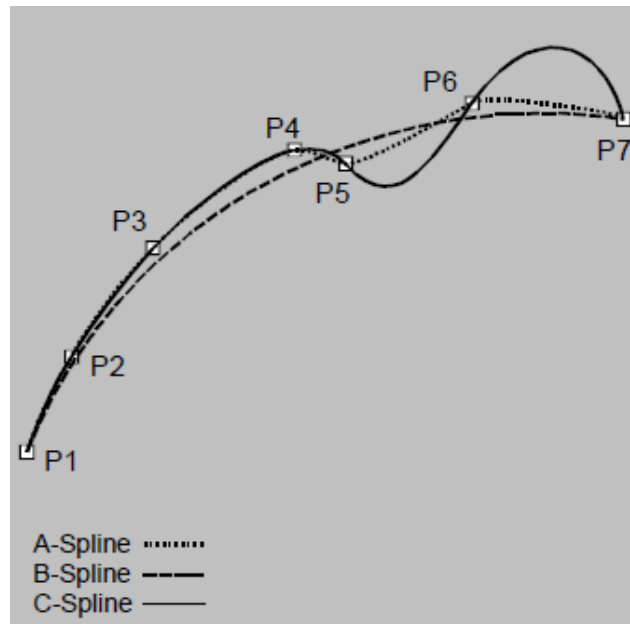
C spline je globální a to znamená, že změny interpolačních bodů mohou ovlivnit velký počet bloků s postupně se snižujícím se účinkem. Tento spline je v mezilehlých uzlových bodech plynule zakřivený. Nicméně v místech s velkými změnami stoupání dochází občas k nežádoucímu zakmitání křivky mezi uzlovými body. C spline může být použit v případech, kdy interpolační body se nacházejí podél předem známé analytické křivky. Při programování, konkrétně v systému Sinumerik, se funkce vyvolá psaním CSPLINE X Y Z A B C. [7; 8]



Obrázek 7: Ukázka C splinu o zadaných souřadnicích P1 a P7 [7]

3.3.2 Porovnání typů splinů a ukázka programu C splinu

Na obrázku jde vidět průběh dráhy A-Spline, B-spline a C-spline interpolačních splinů. Vstupní interpolační hodnoty jsou u všech druhů shodné.



Obrázek 8: Porovnání druhů splinů [7]

Ukázka napsaného příkladu C spline.

```
Programový kód
N10 G1 X0 Y0 F300
N15 X10
N20 BNAT ENAT
N30 CSPLINE X20 Y10
N40 X30
N50 X40 Y5
N60 X50 Y15
N70 X55 Y7
N80 X60 Y20
N90 X65 Y20
N100 X70 Y0
N110 X80 Y10
N120 X90 Y0
N130 M30
```

Obrázek 9: Ukázka příkladu C spline [7]

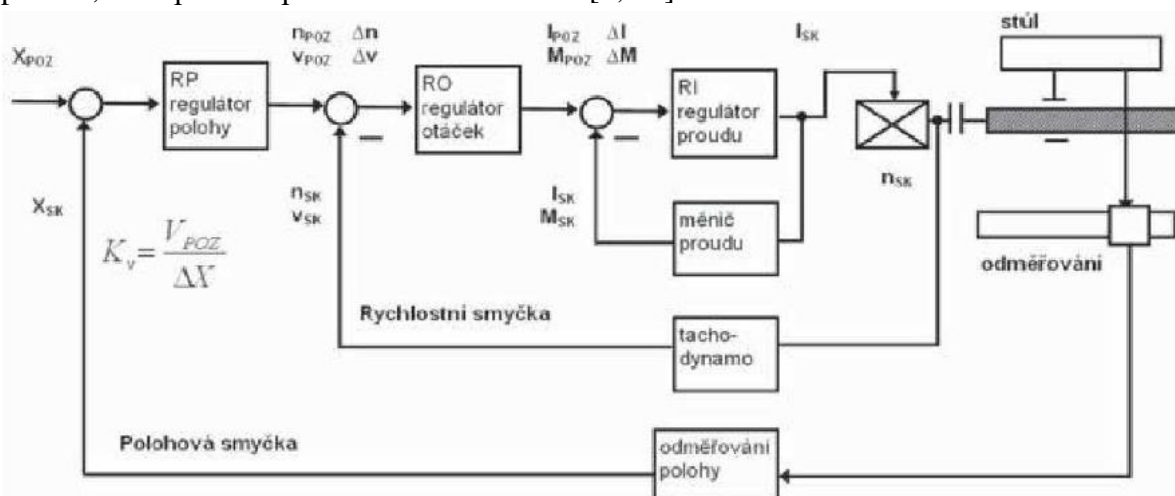
3.4 Pohony posuvů

Důležitou součástí CNC stroje jsou pohony pohyblivých částí, které se skládají ze tří hlavních typů principu pohonu. Pohon vřetena, pohony posuvů a pomocné pohony. V této práci jsou důležité pohony posuvů, které mají vliv na požadovanou přesnost obrábění, řezný výkon a produktivitu. Jedná se o pohyby nástroje či obrobku po osách stroje. Klade se na ně požadavek na vysokou tuhost, velký regulační rozsah, přijatelnou kinematiku a dynamiku. [9]

3.4.1 Lineární soustavy

Lineární soustava posuvů koná hlavní řezný pohyb nástroje, obrobku, posuvu nebo přísuvu. Dále má za úkol najíždění nástroje k obrobku před a po obráběcí operaci. Pohyb vykonává elektromechanická posuvová soustava nebo náhon lineárního servomotoru. Elektromechanická posuvová soustava je tvořena elektromotorem, výkonovým polovodičovým měničem pro napájení a řízení motoru, regulátorem pro řízení polohy nebo otáček a snímačem polohy nebo rychlosti. [9]

Řídicí systém udává přesnou pozici dráhy stroje. Pro kontrolu polohy CNC stroje se určuje vlečná regulace. Zadávanou řídicí veličinu sleduje regulovaná veličina s časovým zpožděním. Pokud u vlečné regulace neznáme časovou závislost regulované veličiny, lze regulaci provést na jiné regulované veličině, u které známe závislost další veličiny v soustavě. Z definice pak vychází, že sledováním regulované veličiny (např. otáček) se umožňuje přesné a rychlé sledování zadávané řídicí veličiny (např. rychlosti). Zadávaná řídicí veličina (rychlost) může být výstupem nadřazeného regulátoru polohy. Z toho plyne, že servomechanismus má rychlostní servopohon a polohový servopohon. Zmíněný rychlostní servopohon disponuje otáčkovou zpětnou vazbou a zajišťuje přesné a rychlé sledování zadávané rychlosti. Servopohon pro polohu slouží k řízení polohy a úhlu natočení. Přesun do požadované polohy X_{POZ} zajistí výpočet řídicím systémem, který zná díky odměřování polohy skutečnou polohu stroje. Poté jde signál do regulátoru polohy, který vypočítá regulační odchylku ΔX . Také dává signál pohonu o požadované rychlosti V_{POZ} . Požadovaná rychlost V_{POZ} je přímo úměrná regulační odchylce ΔX a rychlostnímu zesílení K_V . K snímání otáček motoru (skutečných otáček) se používá tachodynamo, které následně naměřené otáčky porovná s požadovanými otáčkami. Rozdíl požadovaných a skutečných otáček vyvolá v regulátoru otáček zvýšení proudu. Čím větší proud, tím motor reaguje rychleji. Aby došlo k zastavení, musí se zmenšovat regulační odchylka ΔX . Při zmenšení ΔX se také snižuje rozdíl požadovaných a skutečných otáček. Jakmile je dosažena požadovaná poloha X_{POZ} , je do servomotoru přiváděno méně proudu, což způsobí zpomalení až zastavení. [9; 10]



Obrázek 10: Schéma rychlostně polohového servomechanismu [9]

3.5 Regulace posuvu

V této části budou uvedeny zmíněné nástroje Sinumeriku, přesněji regulace posuvu. Díky níže uvedeným funkcím můžeme definovat posuvovou rychlost CNC stroje pro všechny osy, které se podílejí na obrábění. [11]

3.5.1 Druhy funkcí

F

„V obvyklém případě se posuv po dráze skládá z jednotlivých složek rychlosti všech geometrických os podílejících se na pohybu a je vztažen na střed frézy, příp. na špičku soustružnického nože.“ [11]

G93

Časově inverzní posuv. Udává, jak dlouho bude trvat jeden příkaz v bloku. Jednotka 1/min či při kruhové dráze ve stupních/min. [11]

G94

Lineární posuv. Udává rychlost pohybu os v mm/min, palcích/min nebo stupních/min. [11]

G95

Otáčkový posuv. U frézky se vztahuje na otáčky frézy a u soustruhu na otáčky vřetena. Jednotky mm/otáčku nebo palcích/otáčku. [11]

FGROUP

„Rychlost posuvu naprogramovaná pomocí příkazu F platí pro všechny osy uvedené v příkazu FGROUP (geometrické osy/kruhové osy).“ [11]

FGREF

„Pomocí příkazu FGREF se pro všechny kruhové osy uvedené v příkazu FGROUP naprogramuje efektivní rádius (<vztažný rádius>).“ [11]

FL

„Mezní hodnota rychlosti pro dráhové nebo synchronní osy.“ [11]

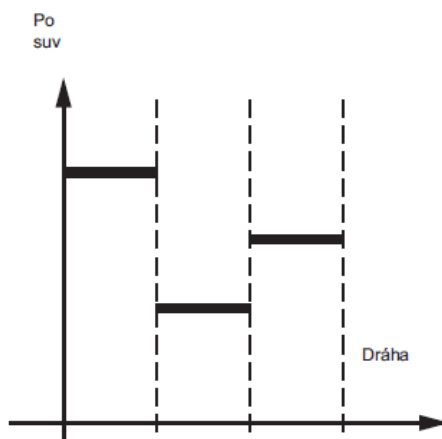
3.6 Průběh charakteristiky posuvu

Další nástroje Sinumeriku pro nastavení posuvové rychlosti jsou funkce popsané níže. Tyto funkce lze programovat jako lineární a kubické průběhy posuvu. To umožňuje pružnější zadávání posuvu a díky tomu změny zrychlení posuvu bez trhavých pohybů. [8] Funkce FNORM, FLIN a FCUB udávají řídicímu systému, jak a kdy má začít posuvová rychlost přecházet z jedné hodnoty na druhou.

Dále je součástí Sinumeriku nástroj pro nastavení chování zrychlení, který udává průběh posuvové rychlosti v čase.

3.6.1 FNORM

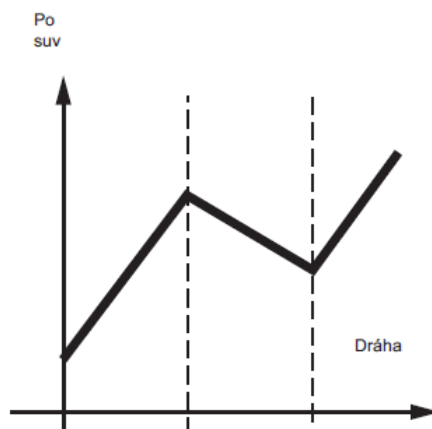
Tato funkce je základním nastavením. „Hodnota posuvu se zadává prostřednictvím dráhového úseku daného bloku a potom platí jako modální hodnota.“ [8] Jak lze vidět na obrázku, hodnota posuvu této funkce je konstantní. U této funkce řídicí systém začne změnu posuvové rychlosti řešit až ve chvíli, kdy je naprogramována. Ke skokové změně posuvové rychlosti nedojde, ale dojde k postupné. To způsobují funkce SOFT a BRISK, které jsou popsány níže.



Obrázek 11: Grafická ukázka posuvové rychlosti funkce FNORM [8]

3.6.2 FLIN

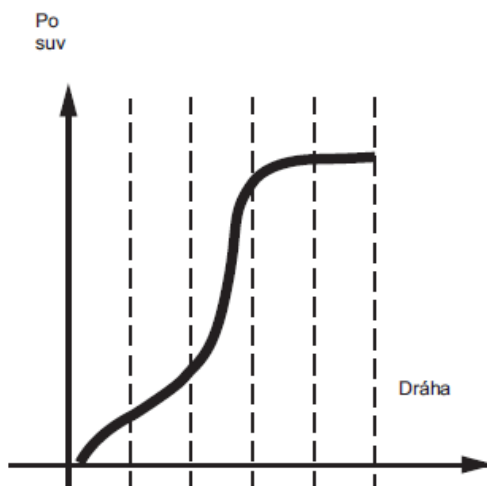
Při této funkci je charakteristika posuvu lineární. „Hodnota posuvu se z hodnoty aktuální na začátku bloku do hodnoty na konci bloku po celém úseku dráhy lineárně mění a potom platí jako modální hodnota.“ [8] U této funkce řídicí systém začne změnu posuvové rychlosti řešit s předstihem.



Obrázek 12: Grafická ukázka posuvové rychlosti funkce FLIN [8]

3.6.3 FCUB

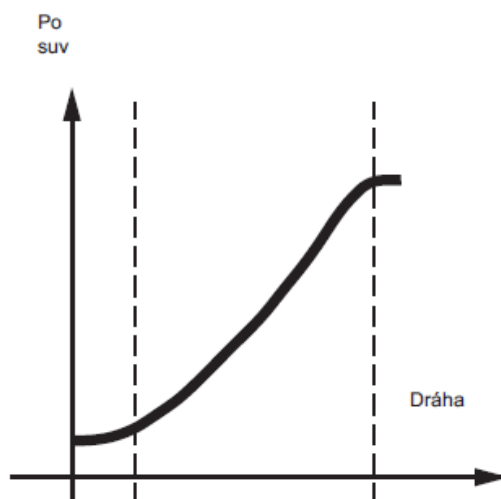
Při této funkci je charakteristika posuvu kubická. „Hodnota posuvu se bude měnit od momentální hodnoty posuvu až do naprogramovaného F -slova podle kubické funkce, přičemž této hodnoty bude dosaženo na konci bloku. Řídící systém pomocí splinových funkcí pospojuje všechny hodnoty posuvu naprogramované pomocí příkazu FCUB s blokovou platností. Hodnoty posuvu přitom slouží jako uzlové body pro výpočet splinové interpolace.“ [8] U této funkce řídicí systém začne změnu posuvové rychlosti řešit s předstihem.



Obrázek 13: Grafická ukázka posuvové rychlosti funkce FCUB [8]

3.6.4 F=FPO

Při této funkci je charakteristika posuvu zadávána polynomem. „ F -adresa popisuje průběh posuvu od aktuální hodnoty do hodnoty na konci bloku pomocí polynomu.“ [8]



Obrázek 14: Grafická ukázka posuvové rychlosti funkce F=FPO [8]

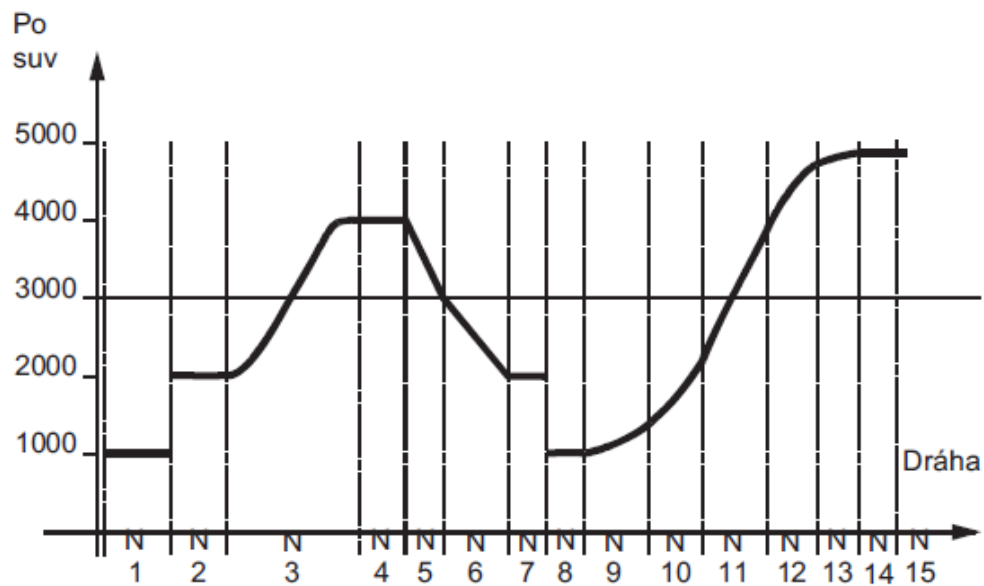
3.6.5 Příklady funkcí průběhu charakteristik posuvu

Příklad programového kódu obsahuje ukázkou zmíněných funkcí charakteristiky posuvu.

```
N1 F1000 FNORM G1 X8 G91 G64  
  
N2 F2000 X7  
N3 F=FPO(4000, 6000, -4000)  
  
N4 X6  
  
N5 F3000 FLIN X5  
N6 F2000 X8  
N7 X5  
N8 F1000 FNORM X5  
  
N9 F1400 FCUB X8  
  
N10 F2200 X6  
N11 F3900 X7  
N12 F4600 X7  
N13 F4900 X5  
N14 FNORM X5  
N15 X20
```

Obrázek 15: Ukázka psaní funkcí FNORM, FLIN, FCUB a F=FPO [8]

Na dalším obrázku je vidět grafické znázornění charakteristiky posuvu předešlého kódu.



Obrázek 16: Grafická ukázkou funkcí FNORM, FLIN, FCUB a F=FPO [8]

3.7 Chování zrychlení

Jak již bylo zmíněno, nástroje pro nastavení chování zrychlení udávají průběh posuvové rychlosti v čase. To ukazuje, jak stroj zrychluje nebo zpomaluje na požadovanou posuvovou rychlost.

3.7.1 Ryv (JERK)

U CNC strojů se snažíme omezit lineární nárůst rychlosti posuvu. Lineární nárůst rychlosti způsobuje trhavé pohyby posuvu a zkracuje životnost pohybujících se dílů. Omezit ho lze druhou derivací rychlosti podle času. Tím získáme kvadratický průběh, který je pro stroj vzhledem k posuvu a životnosti přívětivější. Ryv se nastavuje jako limitní hodnota a neměla by se překročit. Sinumerik nabízí několik funkcí pro programování způsobu chování při změnách zrychlení. [12]

3.7.2 BRISK, BRISKA

Znamená zrychlení bez omezení ryvu. „*Jednotlivé osy, příp. dráhové osy se pohybují s maximálním zrychlením až do dosažení naprogramované rychlosti posuvu.*“ [11] Tato funkce je časově výhodnější než funkce SOFT a SOFTA. Pokud je požadováno naprogramovat pouze jednotlivé pohyby dráhových os, bude použita funkce BRISKA.

3.7.3 SOFT, SOFTA

Tato funkce omezuje zrychlení s ryvem. „*Jednotlivé osy, příp. dráhové osy se pohybují se spojitým zrychlením až do dosažení naprogramované rychlosti posuvu.*“ [11] Tato funkce zabraňuje velkému opotřebením pohybujících se součástí. Opět písmeno „A“ za SOFT znamená možnost naprogramovat jednotlivé pohyby dráhových os. Na obrázku je uvedený příklad zapsání funkce SOFT a BRISKA.

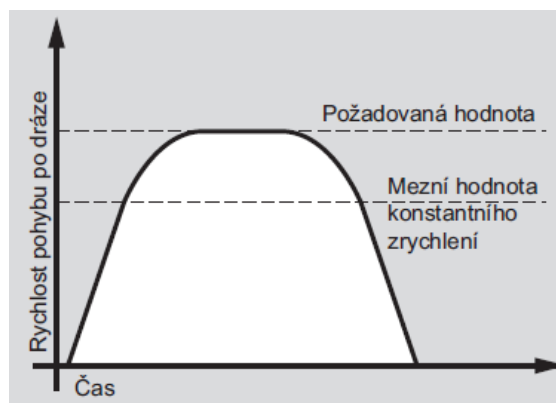
Programový kód

```
N10 G1 X... Y... F900 SOFT  
N20 BRISKA (AX5, AX6)
```

Obrázek 17: Ukázka zápisu funkce SOFT a BRISKA [11]

3.7.4 DRIVE, DRIVEA

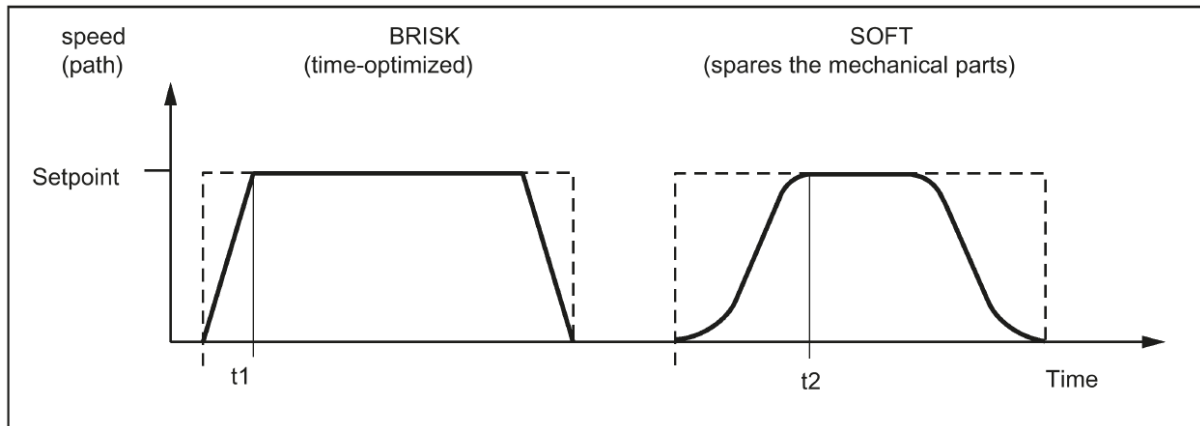
Dráhové osy se pohybují s největším možným zrychlením až dokud nedosáhnou limitní hodnoty posuvové rychlosti nastavené v konfiguraci. Dále dojde ke snižování zrychlení až do dosažení předepsané hodnoty posuvové rychlosti. Na obrázku je zobrazený průběh rychlosti pohybu po dráze se zadanou funkcí DRIVE. [11]



Obrázek 18: Ukázka průběhu rychlosti pohybu po dráze funkce DRIVE [11]

3.8 Porovnání funkcí SOFT a BRISK

Z obrázku je patrné, že funkce BRISK je časově výhodnější, ale obsahuje lineární průběh zrychlení. Jak již bylo zmíněno, lineární průběh má za následek trhavé pohyby posuvu a zkracuje životnost pohybujících se dílů. Funkce SOFT způsobuje kvadratický průběh zrychlení a je časově náročnější, ale zapříčiní odstranění nežádoucích trhavých pohybů posuvu a prodloužení životnosti mechanických součástí. [11]



Obrázek 19: Porovnání funkcí SOFT a BRISK [11]

4 Definice experimentu

Tato část je zaměřena na praktickou část bakalářské práce. Budou navrženy a zkoumány experimenty, které prověřují různá nastavení nástrojů Sinumeriku pro posuvovou rychlost.

4.1 První experiment

Tento experiment bude posuzovat chování CNC stroje při změně velikosti posuvové rychlosti za použití charakteristiky posuvu. Jmenovitě budou použity funkce FNORM, FLIN a FCUB. Bude naprogramována pouze lineární dráha v ose x, která bude obsahovat 10 přejezdů. Každý přejezd bude dlouhý 200 mm a posuvová rychlost se následně mění každých 20 mm. Na jeden přejezd tedy připadá deset odlišných hodnot posuvových rychlostí. Poté bude měřen čas deseti přejezdů posuvové rychlosti při jednotlivých funkcích FLIN, FNORM a FCUB. Časy budou pro kontrolu měřeny stopkami, hodnoty pro tabulky a grafy budou převzaty z údajů ze stroje. Přejezd po lineární dráze bude bez obrábění. Všechny naměřené a zjištěné údaje budou zapsány do tabulek či grafů.

```
N10 G54 G40 G71 G90 G17
N20 G0 Z100
N30 G0 X-100 Y0 Z10
N40;*****
N50;***Přejezd 1***
N60 G94 S2000 FNORM F1000 M3
N70 G01 X-80
N80 G94 F6000
N90 G01 X-60
N100 G94 F9000
N110 G01 X-40
N120 G94 F5000
N130 G01 X-20
N140 G94 F10000
N150 G01 X0
N160 G94 F16000
N170 G01 X20
N180 G94 F25000
N190 G01 X40
N200 G94 F8000
N210 G01 X60
N220 G94 F3000
N230 G01 X80
N240 G94 F12000
N250 G01 X100
```

Obrázek 20: Ukázka programu jednoho přejezdu

4.2 Druhý experiment

Pokud při prvním pokusu bude dosaženo požadovaného vlivu na posuvovou rychlost, budou získané poznatky použity pro druhý experiment. Pro druhý experiment bude použita pouze optimalizovaná část programu z diplomové práce na téma „Optimalizace NC kódu pomocí Eureka Chronos.“ V této práci se vyskytnul problém trhavých pohybů nástroje v optimalizované části programu. Cílem této části je řešení uvedeného problému správným nastavením funkcí charakteristik posuvu. Zjištěné a naměřené hodnoty budou shrnuty v tabulkách a grafech.

5 Popis průběhu experimentu

V této kapitole budou popsány průběhy experimentů, které zkoumaly nastavení funkcí Sinumeriku na posuvovou rychlost.

5.1 První experiment

Jak již bylo uvedeno, při prvním pokusu bude zkoumán vliv funkcí FNORM, FLIN a FCUB na posuvovou rychlost při praktickém pokusu a následně bude k těmto funkcím přidán cyklus CYCLE 832.

5.1.1 První měření

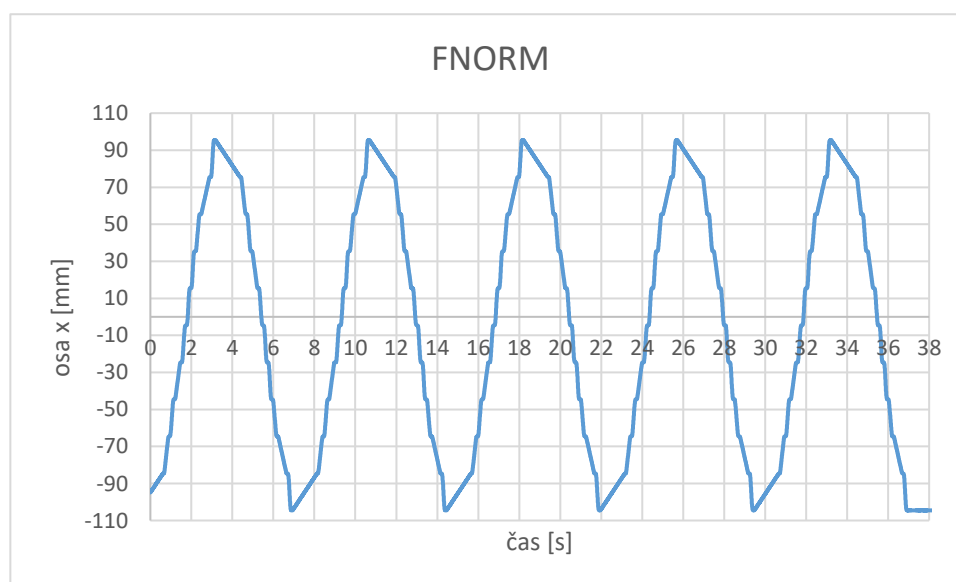
Při prvním měření byl nejdříve nahrán program do obráběcího stroje MCU 450 a byla provedena kontrola správnosti programu. Byly nastaveny potřebné funkce řídicího systému pro umožnění sledování pohybu vřetena v čase. Následně byl odstartován experiment.

Tabulka 1: Naměřené časy z prvního měření

Měření	FNORM	FLIN	FCUB
1.	37,15 [s]	29,78 [s]	32,06 [s]

5.1.1.1 Měření FNORM

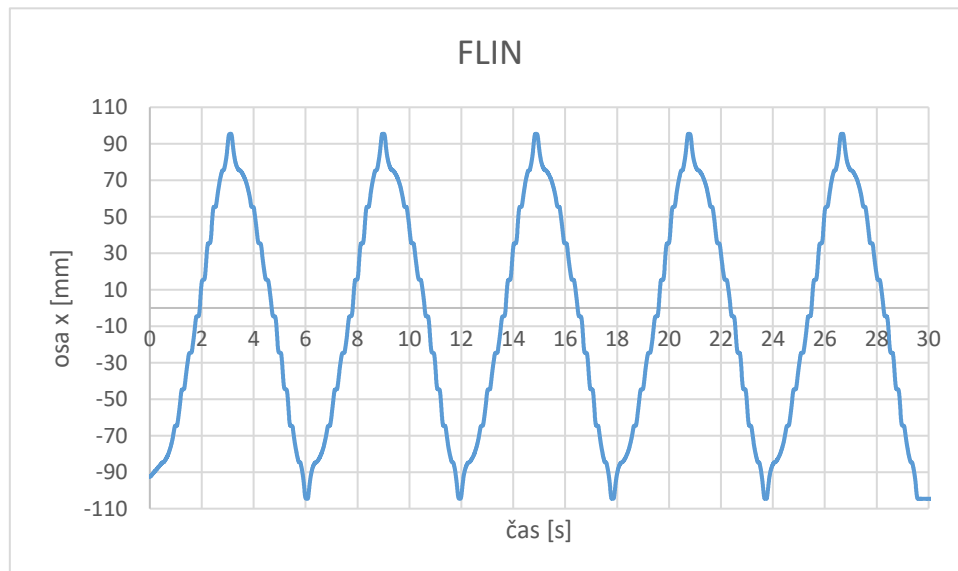
Jako první byla měřena funkce FNORM. Byl spuštěn program a započato měření. Stopky a tlačítko pro start programu byly stisknuty současně. Po skončení programu byly opět stisknuty stopky. Čas naměřený stopkami byl porovnán s časem na stroji. Zapsán byl pouze čas uvedený strojem z důvodu větší přesnosti.



Obrázek 21: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FNORM

5.1.1.2 Měření FLIN

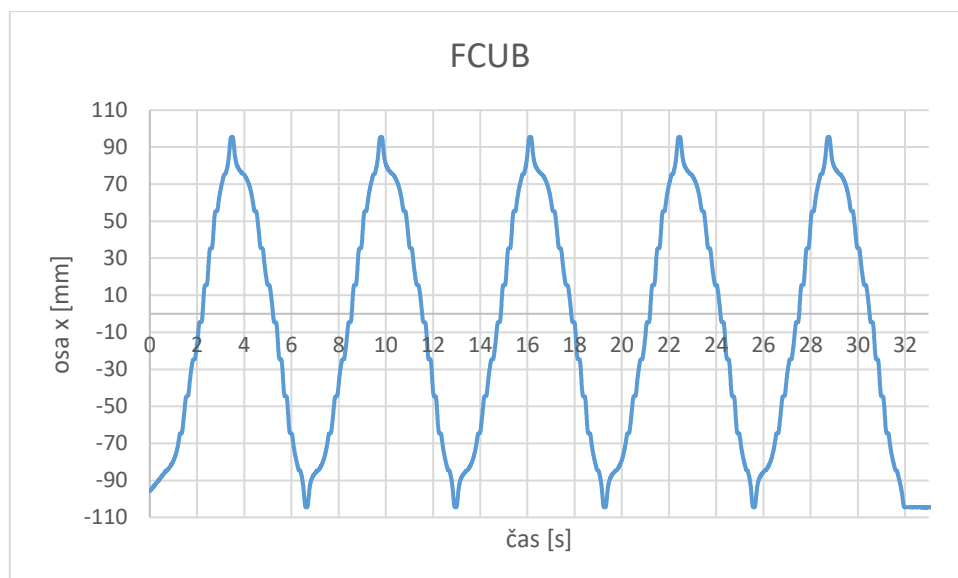
Dále byla v programu zaměněna funkce FNORM za FLIN a následovalo opět měření. Postup měření byl totožný jako v předchozím případě. U této funkce bylo viditelně patrné menší sekání a vibrace než u funkce FNORM. To mělo za následek kratší dobu přejezdu o necelých 7 sekund.



Obrázek 22: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FLIN

5.1.1.3 Měření FCUB

Jako poslední v prvním měření byla funkce FCUB. Kdy byla opět pouze v programu přepsána funkce na FCUB. Byl spuštěn program a započalo měření času stejným způsobem jako v předchozích případech. V tomto případě nebyl viditelně patrný rozdíl v sekání a vibracích stroje oproti funkci FLIN. Velký rozdíl nebyl ani v naměřených časech.

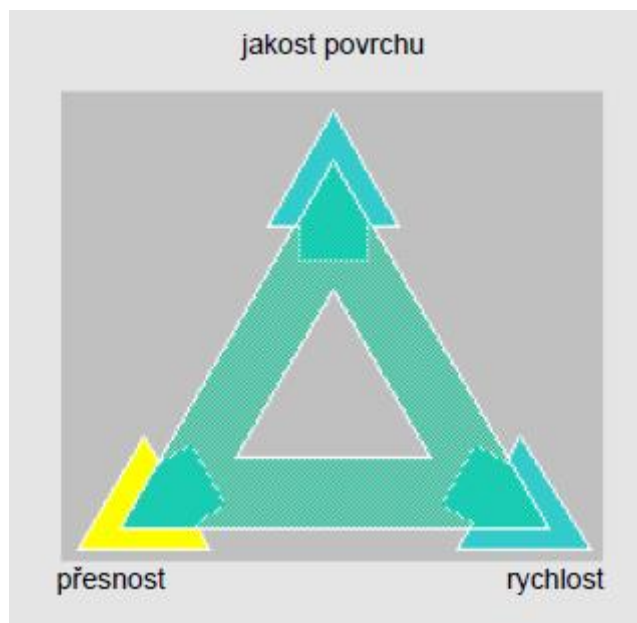


Obrázek 23: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FCUB

5.1.2 Druhé měření

U druhého měření byla do programu přidána funkce CYCLE 832. Tato funkce dává na výběr s jakou přesností, rychlostí či jakostí povrchu by měl stroj konat pracovní cyklus. Programátor má na výběr ze čtyř hlavních možností nastavení funkce, obrábění načisto, hrubé obrábění načisto, obrábění nahrubo a deaktivování. Každá z těchto uvedených možností má jinou nadefinovanou charakteristiku, kterou programátor udává zadáním tolerance. Například při výběru možnost obrábění nahrubo je kladen důraz na rychlost posuvu. Při obrábění načisto je kladen důraz na přesnost. V cyklu CYCLE832 lze aktivovat velké množství funkcí. Pro tento experiment jsou nejzásadnější funkce G64 a kompresor NC bloků. Funkce G64 se snaží o dosažení co nejvíce kontinuálního pohybu po dráze. Snaží se tedy zabránit zastavení pohybu. Jinými slovy slouží k plynulému navazování bloků v NC bloku. Funkce kompresoru aproximuje konturu zadanou lineárními bloky do polynomických bloků. Slouží tedy k spojitému napojení mezi NC bloky, zvýšení maximální dosažitelné posuvové rychlosti a zmenšení počtu bloků k naprogramování kontury. Funkce kompresoru jsou tři COMCON, COMCURV a COMCAD. COMCON udává pouze spojitou rychlost na přechodech mezi NC bloky. COMCURV udává spojitě zrychlení na přechodech mezi NC bloky. COMCAD je „intenzivní komprese strojového času a paměťového prostoru, která je optimalizována z hlediska jakosti povrchu a rychlosti.“ [13]

Tolerance cyklu CYCLE832 byla u druhého měření nastavena na hodnotu 0,1 mm.



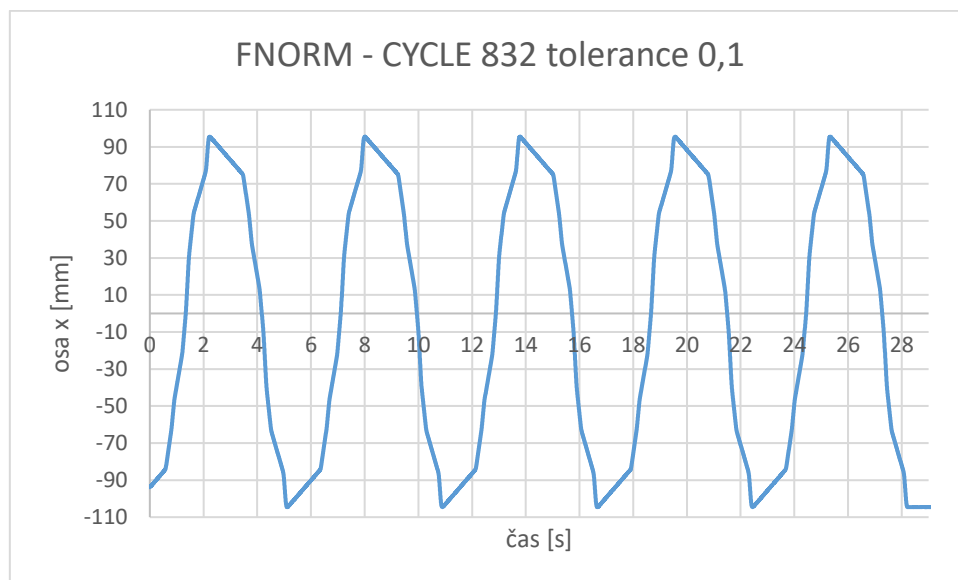
Obrázek 24: Možnosti nastavení CYCLE832 [13]

Tabulka 2: Naměřené časy z druhého měření

Měření	FNORM	FLIN	FCUB
2.	28,19 [s]	19,62 [s]	21,78 [s]

5.1.2.1 Měření FNORM

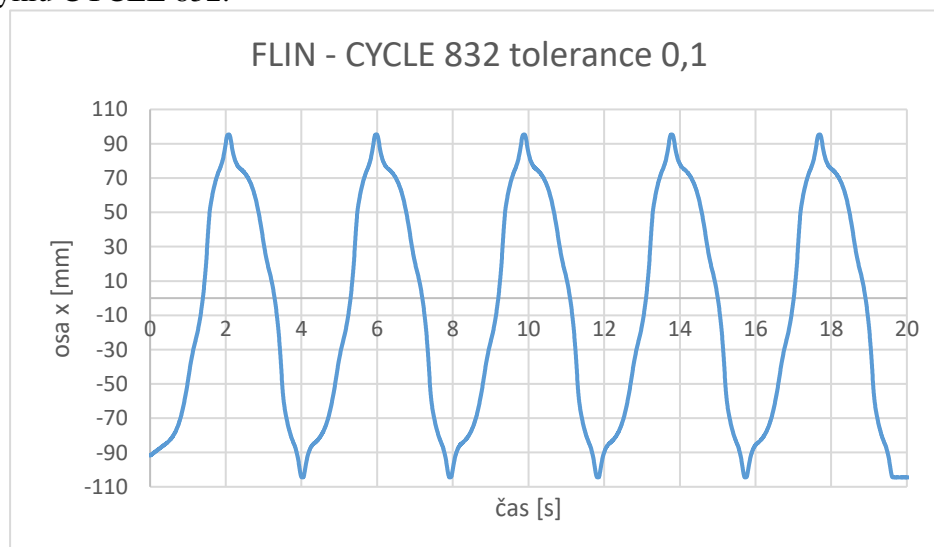
Druhé měření přejezdů opět začínalo funkcí FNORM, k již se do programu připsala funkce CYCLE 832 s tolerancí 0,1 mm. Měření probíhalo stejně jako v předešlých případech. V tomto případě neměl stroj problém dosáhnout požadované posuvové rychlosti, neprojevovalo se ani sekání či vibrace při změně posuvové rychlosti.



Obrázek 25: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FNORM a CYCLE 832 s tolerancí 0,1

5.1.2.2 Měření FLIN

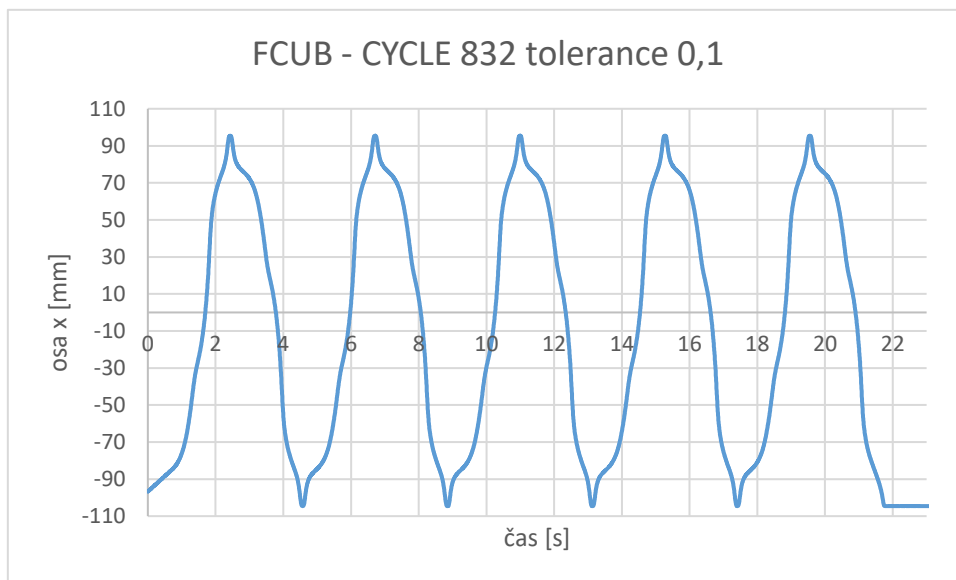
U toho měření došlo opět k záměně funkce FNORM za FLIN. Ani v tomto případě se neprojevily znatelné vibrace či sekání a naměřený čas byl přibližně o 10 sekund kratší než bez použití cyklu CYCLE 832.



Obrázek 26: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FLIN a CYCLE 832 s tolerancí 0,1

5.1.2.3 Měření FCUB

Poslední měření přejezdů s nastavenou tolerancí 0,1 mm bylo FCUB. Totožně jako v předchozích případech došlo ke spuštění programu a zároveň stopek. Byly porovnány časy naměřené stopkami a strojem. Opět byl zapsán pouze čas naměřený strojem. Znovu se ukázalo, že sekání a vibrace stroje byly velmi nepatrné a naměřený čas oproti přejezdu bez funkce CYCLE 832 byl výrazně kratší.



Obrázek 27: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FCUB a CYCLE 832 s tolerancí 0,1

5.1.3 Třetí měření

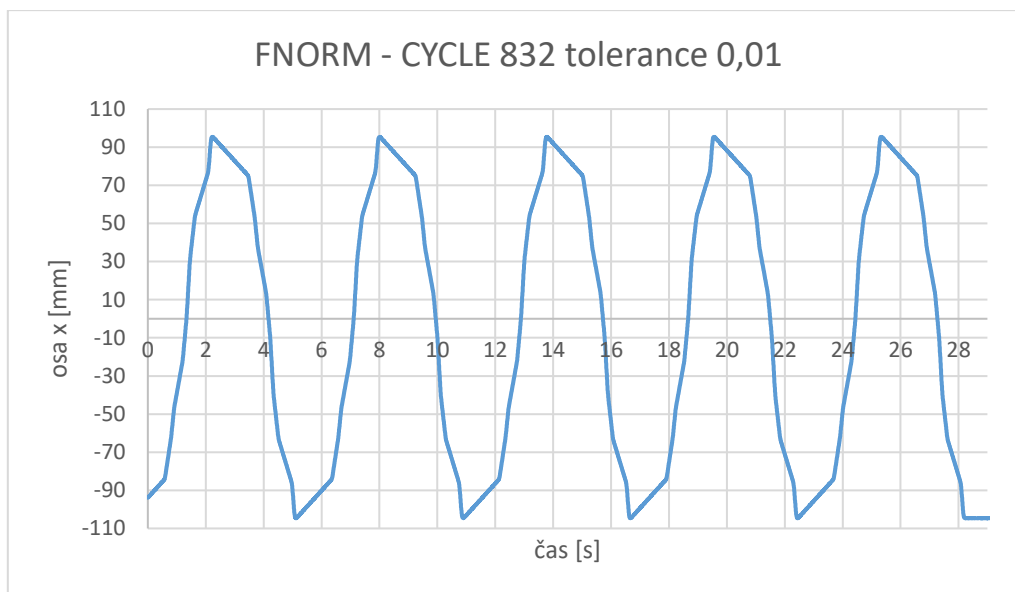
Třetí měření navazovalo na druhé, s tím rozdílem že byla snížena tolerance u cyklu CYCLE 832 z 0,1 mm na 0,01 mm. Bylo očekáváno, že zmenšení tolerance bude mít za následek nárůst přesnosti stroje a prodloužení času přejezdů.

Tabulka 3: Naměřené časy z třetího měření

Měření	FNORM	FLIN	FCUB
3.	28,21 [s]	19,65 [s]	21,94 [s]

5.1.3.1 Měření FNORM

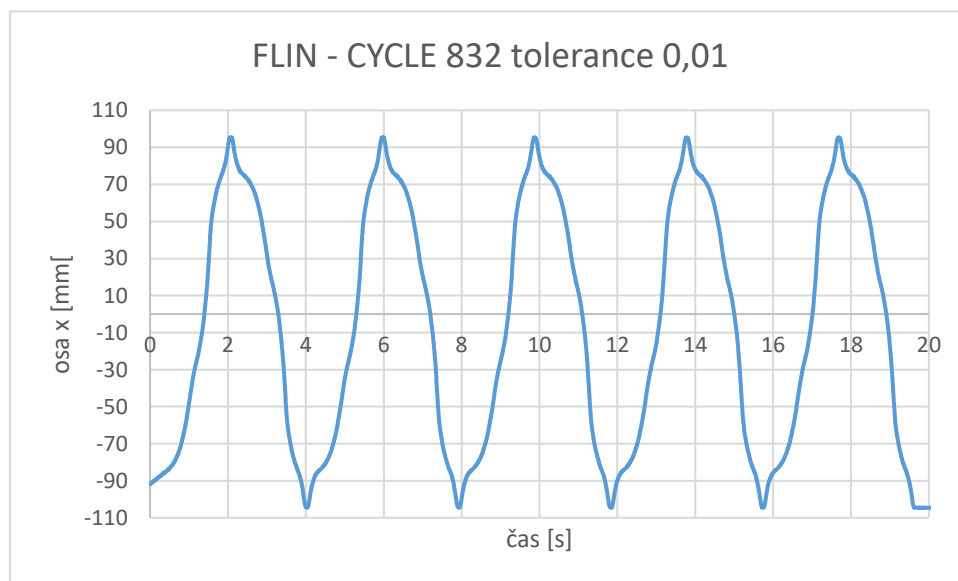
První měření s funkcí FNORM a tolerancí 0,01 mm potvrdilo předpoklad prodloužení naměřených časů. Měření bylo provedeno stejným způsobem jako předešlá měření. Na stroji nebylo zpozorováno výrazné sekání či vibrace.



Obrázek 28: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FNORM a CYCLE 832 s tolerancí 0,01

5.1.3.2 Měření FLIN

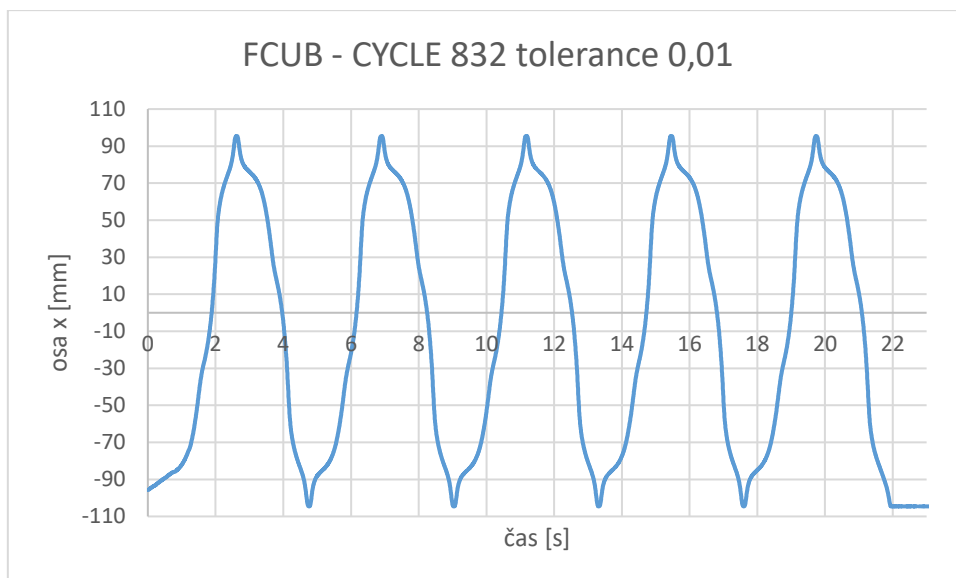
Při druhém měření došlo opět k prodloužení času, tentokrát o 0,1 sekundy. Stroj opět nevykazoval vibrace či sekání při změně posuvové rychlosti.



Obrázek 29: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FLIN a CYCLE 832 s tolerancí 0,01

5.1.3.3 Měření FCUB

Třetí a poslední měření prvního experimentu probíhalo stejně jako předchozí měření. Funkce FCUB potvrdila prodloužení časů. Ze všech tří funkcí, mělo zvýšení přesnosti na funkci FCUB největší vliv. Opět se neprojevily viditelné vibrace nebo sekání stroje.



Obrázek 30: Graf závislosti polohy osy x na čase při funkci FCUB a CYCLE 832 s tolerancí 0,01

5.2 Druhý experiment

Při druhém experimentu byl použit optimalizovaný a neoptimalizovaný program z diplomové práce na téma „Optimalizace NC kódu pomocí Eureka Chronos“ a byla přidána funkce pro charakteristiky posuvu FNORM. Opět byla použita funkce CYCLE 832 s nastavenou tolerancí 0,01 mm. Jako první byl spuštěn neoptimalizovaný program a změřen čas. Neoptimalizovaný program nevykazoval žádné sekání ani vibrace při změnách posuvové rychlosti. Poté byl spuštěn optimalizovaný program opět měřen čas. V tomto případě bylo podle předpokladů dosaženo kratšího času než při použití neoptimalizovaného programu. Sekání a vibrace stroje se opět nevyskytly.

Tabulka 4: Neměřené časy z druhého experimentu

Měření	Neoptimalizovaný – FNORM	Optimalizovaný – FNORM
1.	0:06:43 [min]	0:06:05 [min]

6 Vyhodnocení experimentu

V této kapitole bude zkoumáno chování posuvové rychlosti v průběhu experimentů.

6.1 První experiment

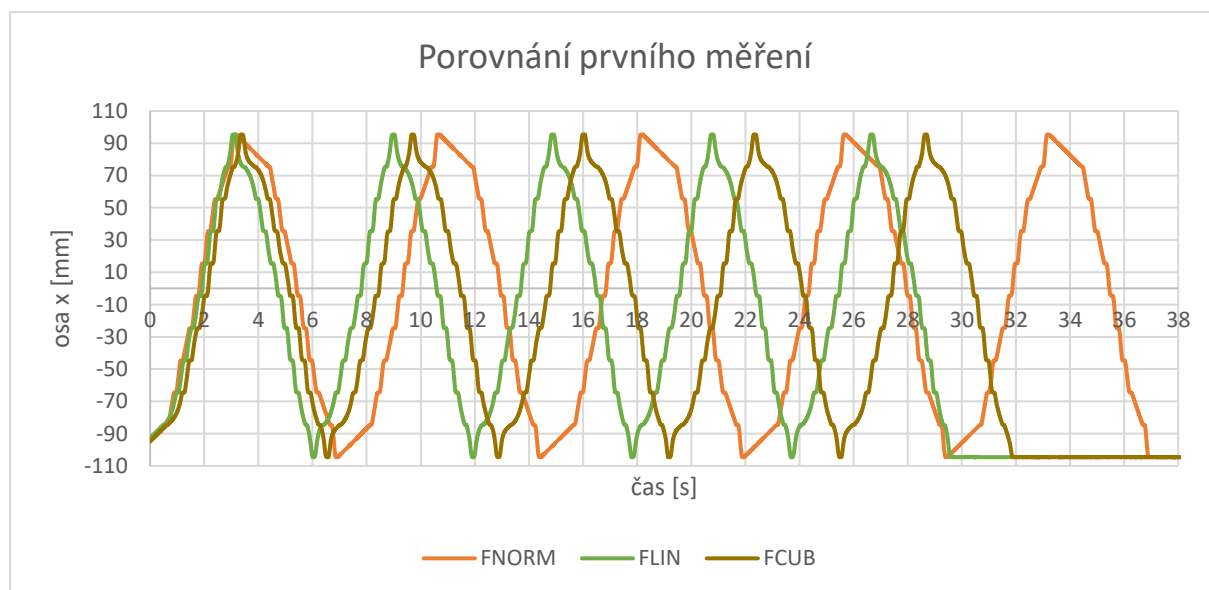
Při prvním experimentu byl zkoumán vliv funkcí FNORM, FLIN a FCUB na posuvovou rychlost.

6.1.1 Vyhodnocení prvního měření

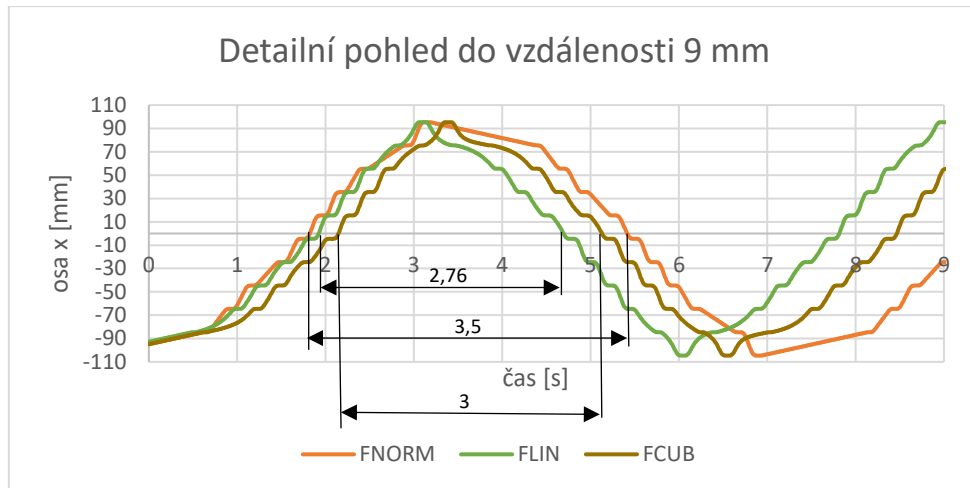
U FNORM byly během operace stroje patrné významné vibrace a zasekávání. Pravděpodobnou příčinou byla snaha stroje o dosažení posuvové rychlosti stanovené programem. Z obrázků 31 a 32 je patrné, že při změně posuvové rychlosti z hodnoty -100 mm do 100 mm na ose x funkce FNORM má podobný průběh jako funkce FLIN, ale při zpětném pohybu z hodnoty 100 mm do -100 FNORM nedokáže podle charakteristiky funkce dosáhnout požadované posuvové rychlosti a plynulosti chodu. Změna směru pohybu měla především za následek prodloužení doby přejezdů oproti ostatním funkcím.

Funkce FLIN vykazovala při spuštěném programu také sekání a vibrace, které byly ale méně výrazné než při použití FNORM. Jak již bylo zmíněno, z obrázků 31 a 32 je patrné, že FLIN a FNORM mají podobný průběh křivky. Odchylka nastává při změně směru pohybu. To funkce FLIN díky jejím vlastnostem zvládá mnohem lépe než FNORM.

Opět i u funkce FCUB bylo viditelné cukání a citelné vibrace. Z obrázků 31 a 32 lze zpozorovat, že při změně směru pohybu mají s FLIN podobné chování, jenomže u FCUB jde nepatrně vidět kubické navazování jednotlivých NC bloků.

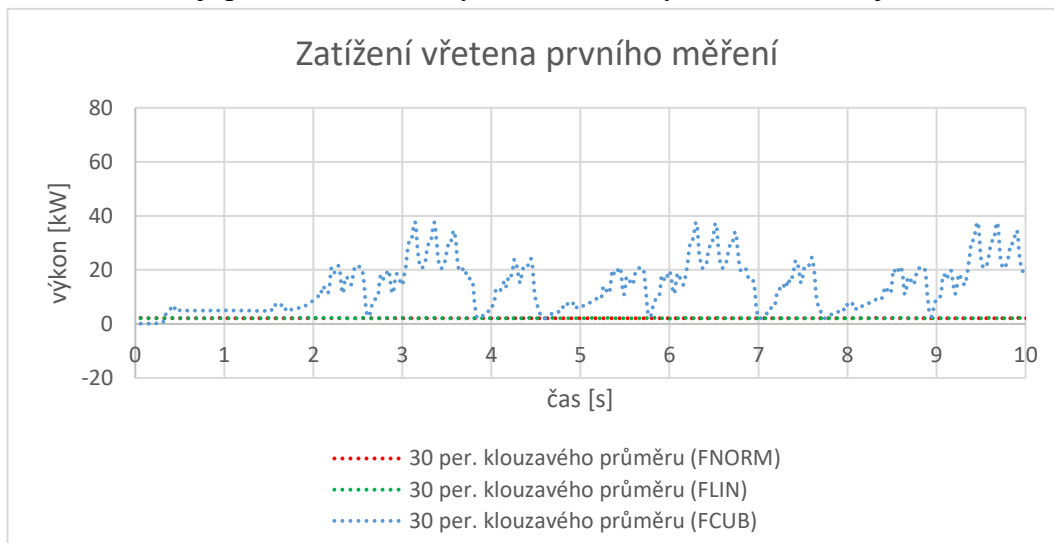


Obrázek 31: Graf závislosti polohy osy x na čase při vyhodnocení funkcí z prvního měření



Obrázek 32: Detailní pohled na graf závislosti polohy osy x na čase při vyhodnocení funkcí z prvního měření

Obrázek 33 popisuje průměrné zatížení pohonu osy Y CNC stroje po dobu 10 sekund od spuštění programu. Lze si na něm povšimnout, že funkce FNORM a FLIN naprosto splývají a nevykazují při spuštění a až do konce programu výrazné rázy zatížením. Vzhledem k použití klouzavého průměru, se vyrušily symetrické rázy. FCUB se naopak od samého začátku projevuje výraznými rázy, které se opakují, až do skončení programu. Z toho vyplývá, že FNORM a FLIN mají pozitivní vliv na výdrž mechanických součástí stroje.



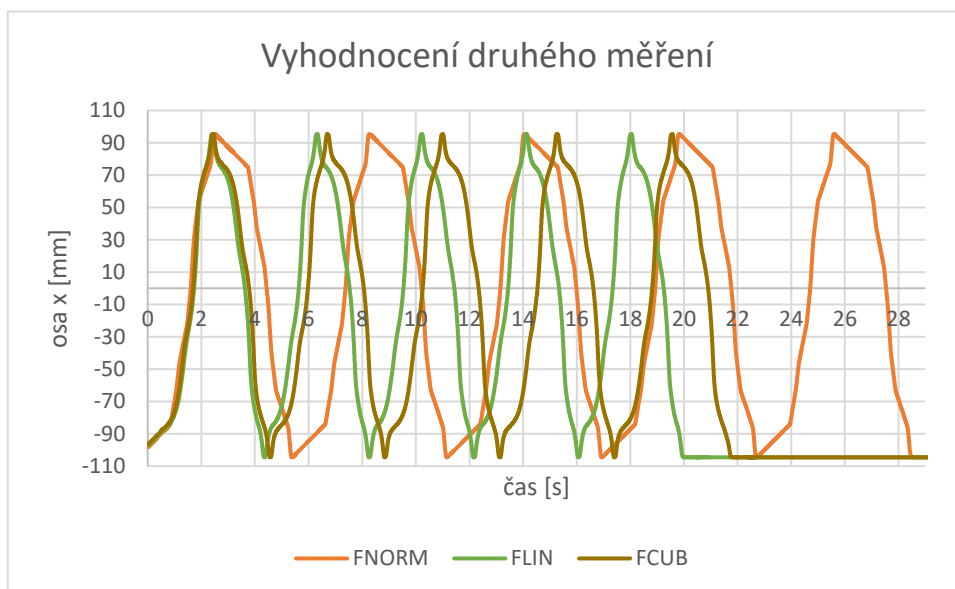
Obrázek 33: Graf zatížení vřetena z prvního měření

6.1.2 Vyhodnocení druhého měření

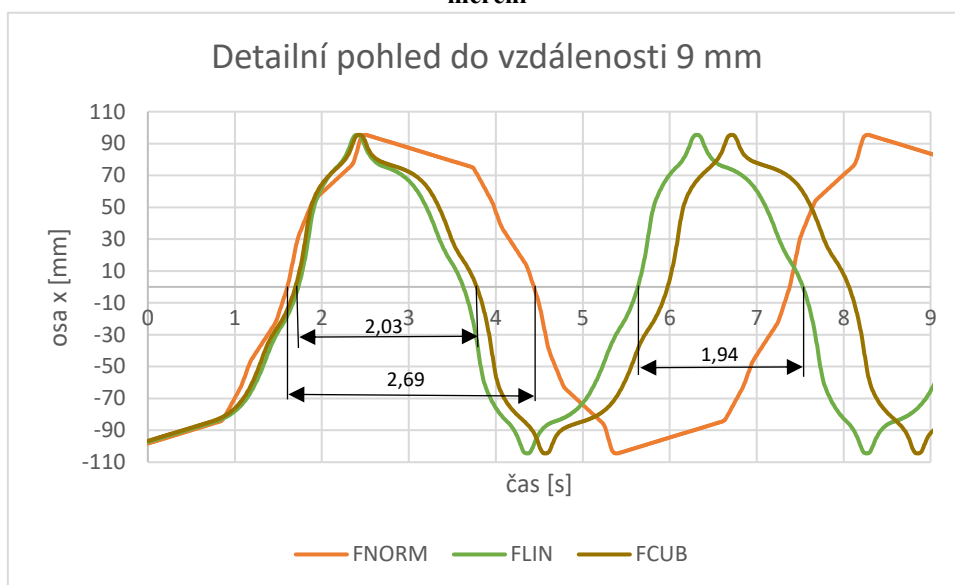
Opět byla nejprve použita funkce FNORM. Okamžitě po spuštění byl patrný pozitivní vliv cyklu CYCLE832 s tolerancí 0,1 mm. Stroj nevykazoval žádné zřetelné sekání či nežádoucí vibrace. Z obrázku 34 a 35 je patrné, že funkce FCUB a FNORM mají téměř identický tvar křivky až do první změny směru. V tento okamžik se projevil problém charakteristiky FNORM, kdy i přes cyklus CYCLE832 funkce nedokázala přesně dosáhnout předepsanou posuvovou rychlost.

Dále u funkce FLIN stroj také nevykazoval při pohybu trhavé pohyby či vibrace. Tvar křivky je prakticky identický s tvarem FCUB s rozdílem, že FLIN dle charakteristiky zvládá lépe změny směru než FCUB a mnohem lépe než FNORM.

U FCUB se opět neprojevovalo cukání či vibrace stroje jako v předešlých dvou případech. FCUB a FLIN dosahují plynulejšího tvar křivky než FNORM a tím dosahují kratších časů a plynulejšího chodu stroje.

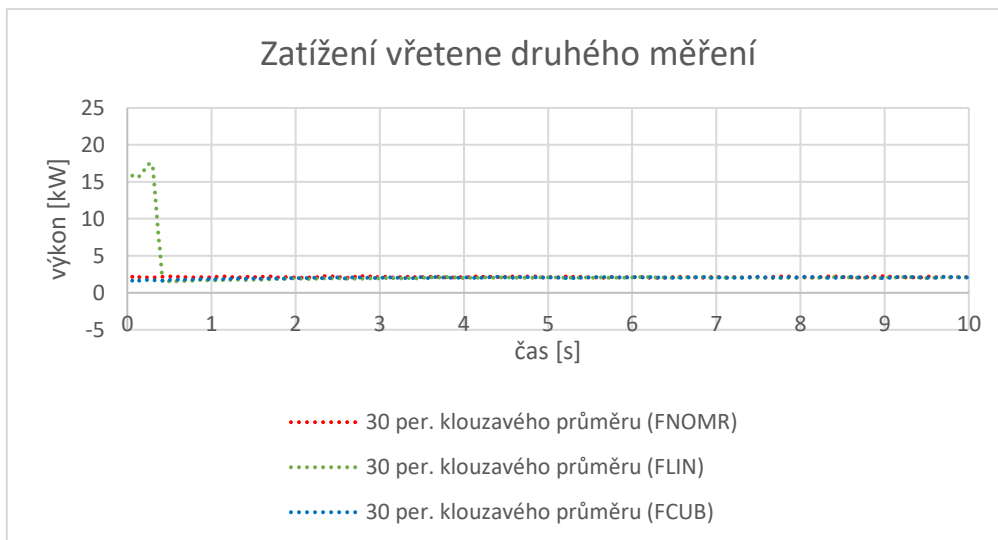


Obrázek 34: Graf závislosti polohy osy x na čase při vyhodnocení funkcí z druhého měření



Obrázek 35: Detailní pohled na graf závislosti polohy osy x na čase při vyhodnocení funkcí z druhého měření

Obrázek 36 ukazuje průměrné zatížení vřetena při druhém měření. Funkce FLIN s přidáním cyklem CYCLE832 a tolerancí 0,1 mm s projevila v tomto případě při spuštění programu rázem. Zatímco FNORM a FCUB jsou takřka identické křivky. Znovu vzhledem k použití klouzavého průměru se vyrušila symetrická zatížení na vřeteno.

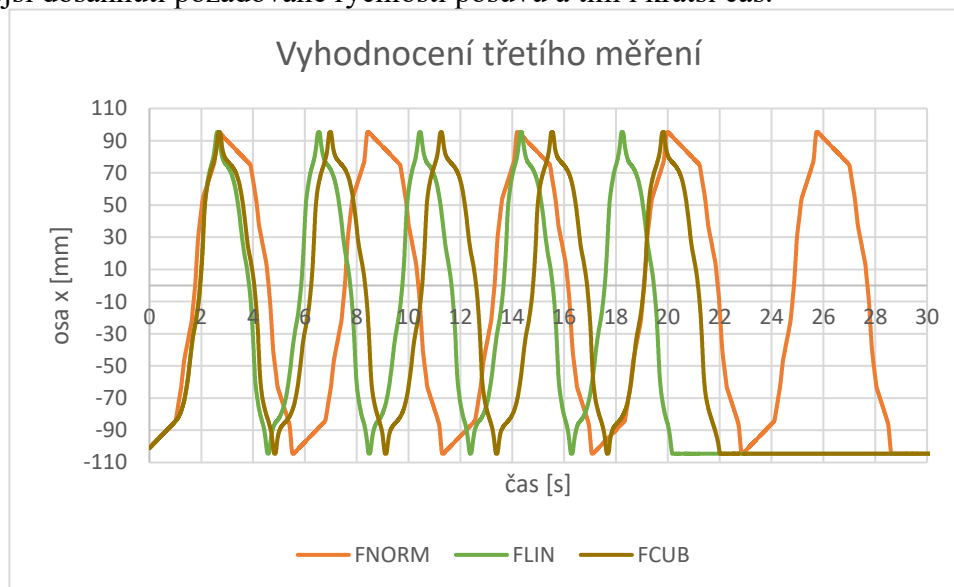


Obrázek 36: Graf zatížení vřetena z druhého měření

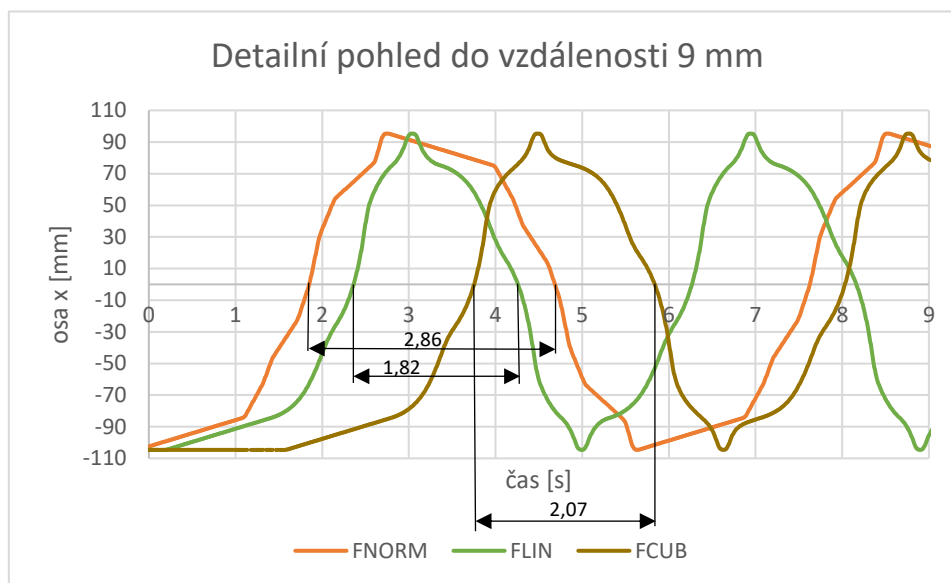
6.1.3 Vyhodnocení třetího měření

U třetího experimentu, kdy tolerance cyklu CYCLE832 byla nastavena na hodnotu 0,01 mm, stroj nevykazoval žádné nežádoucí vibrace či sekání při změně posuvové rychlosti. Z obrázků 37 a 38 vyplývá, že FNORM, jako v předchozích měřeních, zvládá změnu směru výrazně hůře než FLIN a FCUB.

FLIN a FCUB mají znovu téměř identický tvar křivky, avšak FLIN umožňuje rychlejší a plynulejší dosáhnutí požadované rychlosti posuvu a tím i kratší čas.

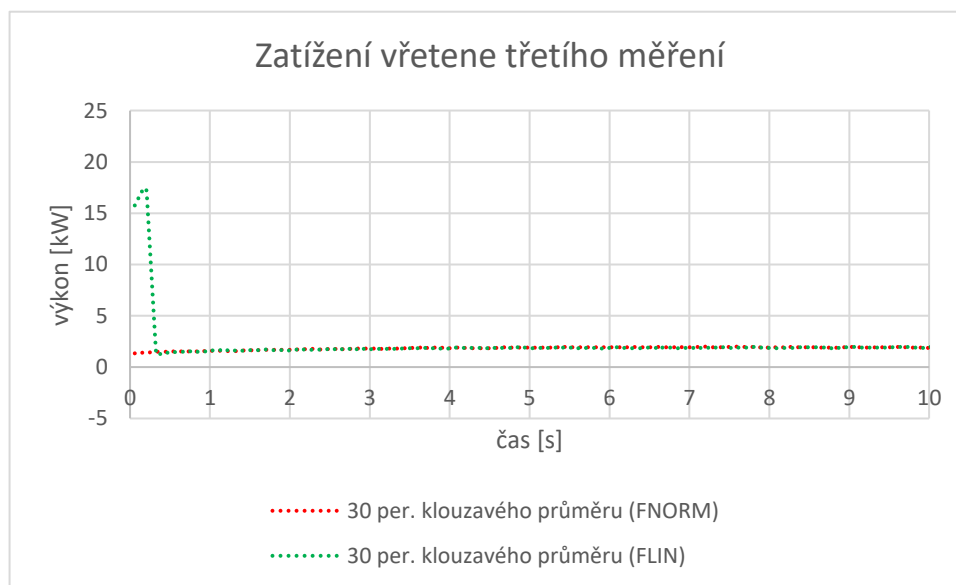


Obrázek 37: Graf závislosti polohy osy x na čase při vyhodnocení funkcí z třetího měření



Obrázek 38: Detailní pohled na graf závislosti polohy osy x na čase při vyhodnocení funkcí z třetího měření

Na obrázku 39 lze spatřit opět zatížení vřetena, tentokrát ze třetího měření. FLIN stejně jako u druhého měření se projevila rázem při spuštění programu. Poté se ráz ustálil a funkce jsou prakticky identické. Opět vzhledem k použití klouzavého průměru se vyrušila symetrická zatížení na vřeteno.

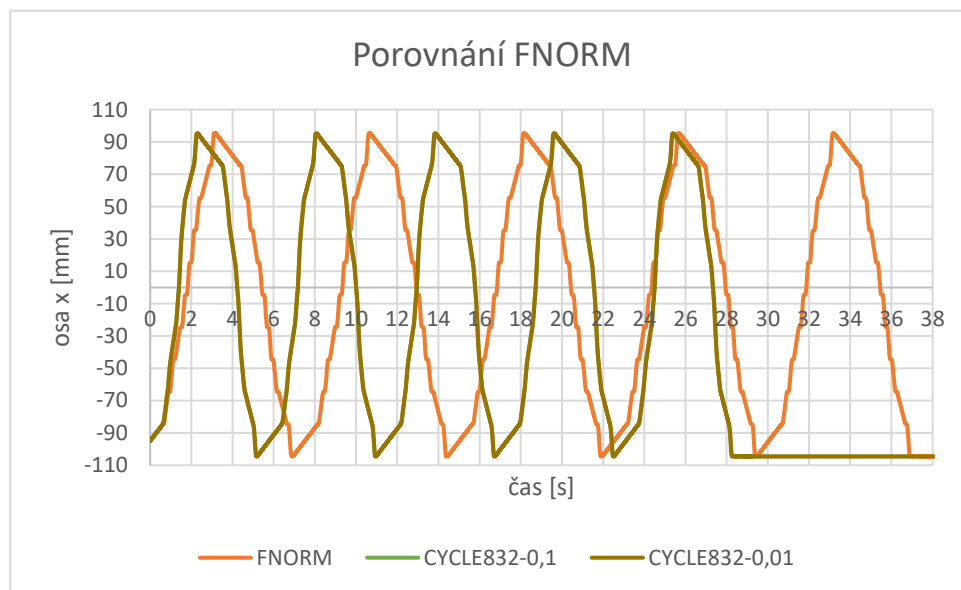


Obrázek 39: Graf zatížení vřetena z třetího měření

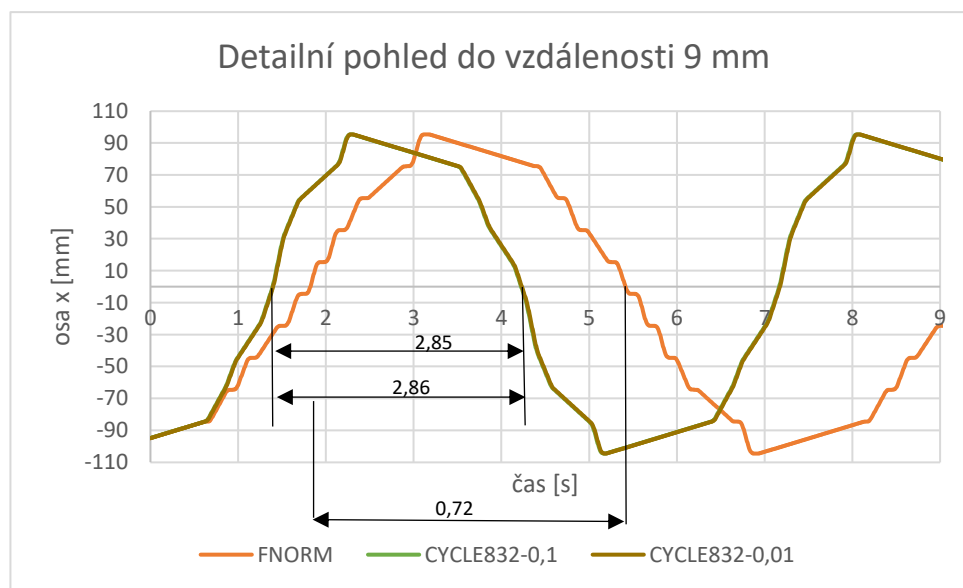
6.1.4 Porovnání FNORM

Při pohledu na obrázek 40 a 41 je zřejmé, že velký podíl na dosažení požadované posuvové rychlosti má cyklus CYCLE832. Je patrný schodovitý tvar křivky, kde se stroj snažil dosáhnout požadované posuvové rychlosti. To mělo za následek výrazné vibrace, sekání stroje

a nejdelší naměřený čas. Dále si lze všimnout, že změnu pohybu vykonává funkce identicky. Nejblíže si jsou křivky s CYCLE832, které se prakticky shodují.



Obrázek 40: Graf závislosti polohy osy x na čase při porovnání funkce FNORM



Obrázek 41: Detailní pohled na graf závislosti polohy osy x na čase při porovnání funkce FNORM

Z obrázků 42, 43, 44, 45 a 46 lze vyčíst aktuální hodnotu posuvové rychlosti při snaze dosáhnout požadované předepsané hodnoty. Je možné si všimnout, že obrázek 42, 43, 45 a 46 přesně popisuje definici funkce FNORM, kdy řídicí systém začne změnu posuvové rychlosti řešit až ve chvíli, kdy je naprogramována. Z toho důvodu posuvová rychlost při změně na jinou hodnotu vždy nejdříve klesne na nulovou hodnotu. Tato skoková změna měla za následek velké sekání stroje a vibrace. Nejvíce lze tento jev pozorovat na obrázku 42 a 45, kde je porovnání pouze funkce FNORM a její posuvové rychlosti. Přidáním cyklu CYCLE832 lze pozorovat, že

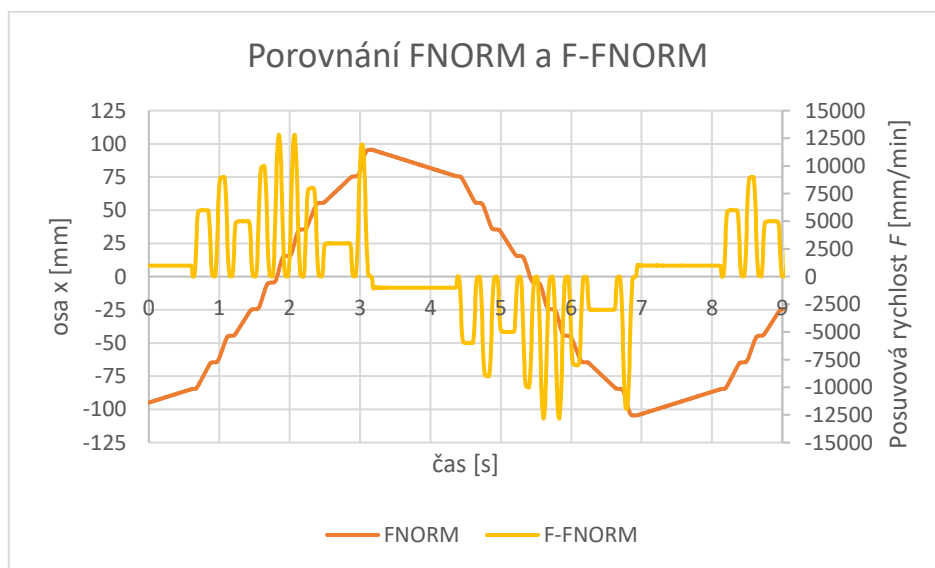
posuvová rychlost dosahuje plynulejší křivky než u FNORM. Cyklus umožní pouze snížení hodnoty posuvové rychlosti namísto skoku na nulovou rychlost. To má za následek hladší změnu posuvové rychlosti a tím hladší chod stroje. Byl porovnán pouze cyklus s tolerancí 0,1 mm, protože cyklus s tolerancí 0,01 mm dosahuje velmi podobných hodnot. Obrázek 44 porovnává posuvové rychlosti F a dráhy na čase u funkce FNORM.

Posuvová rychlost byla vypočítána ze získaných dat ze stroje. Změna pozice dvou bodů byla vydělena změnou času ve stejných bodech.

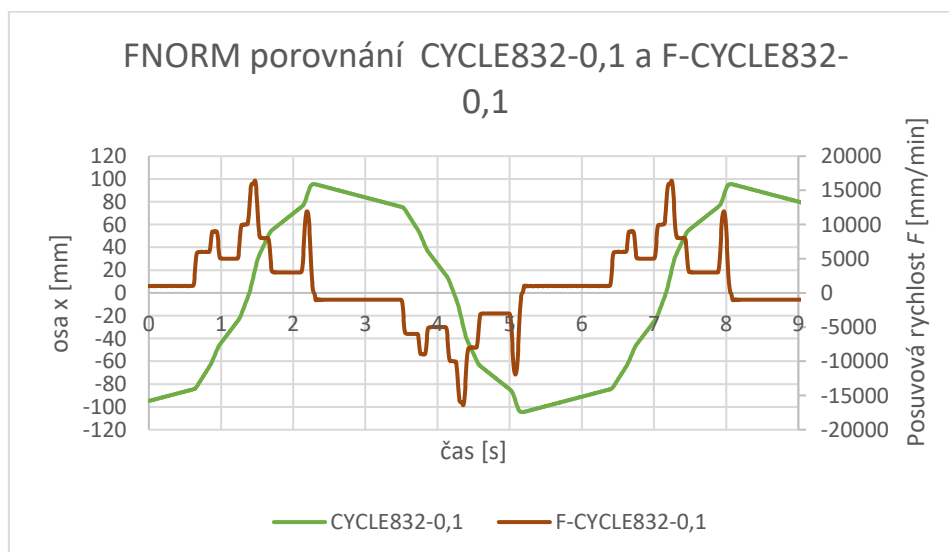
$$F = \frac{x_1 - x_2}{t_1 - t_2} * 60 \text{ [mm/min]}$$

kde:

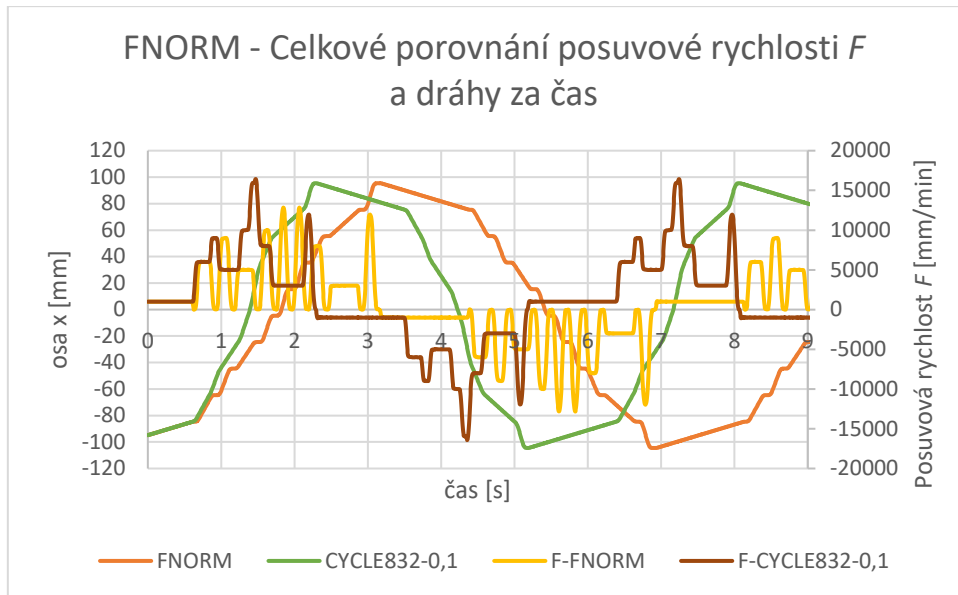
- x_1 : hodnoty polohy bodu 1 [mm]
- x_2 : hodnoty polohy bodu 2 [mm]
- t_1 : hodnoty času bodu 1 [s]
- t_2 : hodnoty času bodu 2 [s]



Obrázek 42: Graf porovnání funkce FNORM a posuvové rychlosti F-FNORM v závislosti na čase

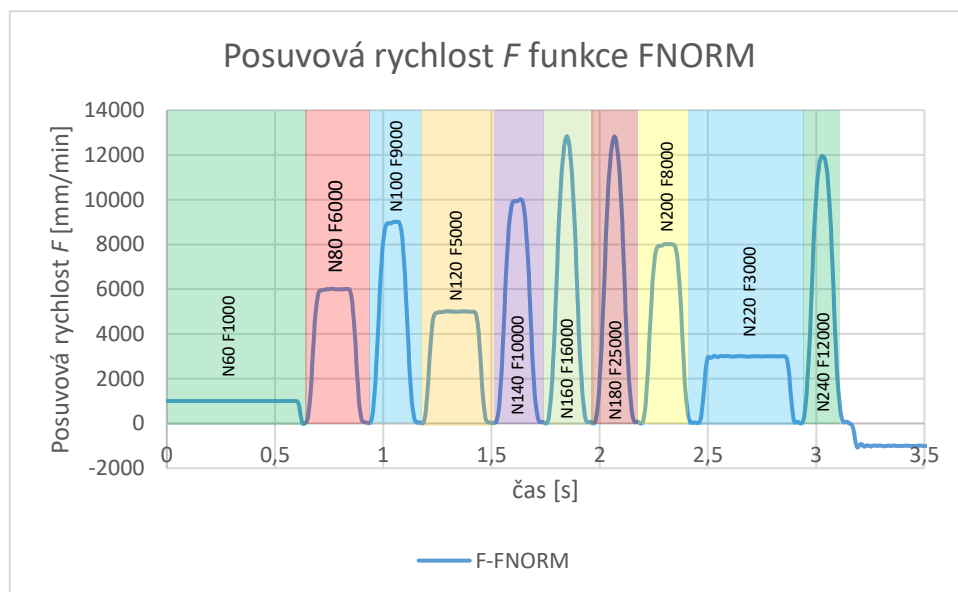


Obrázek 43: Graf porovnání funkce FNORM s CYCLE832 při toleranci 0,1 a její posuvové rychlosti F-CYCLE832-0,1 v závislosti na čase

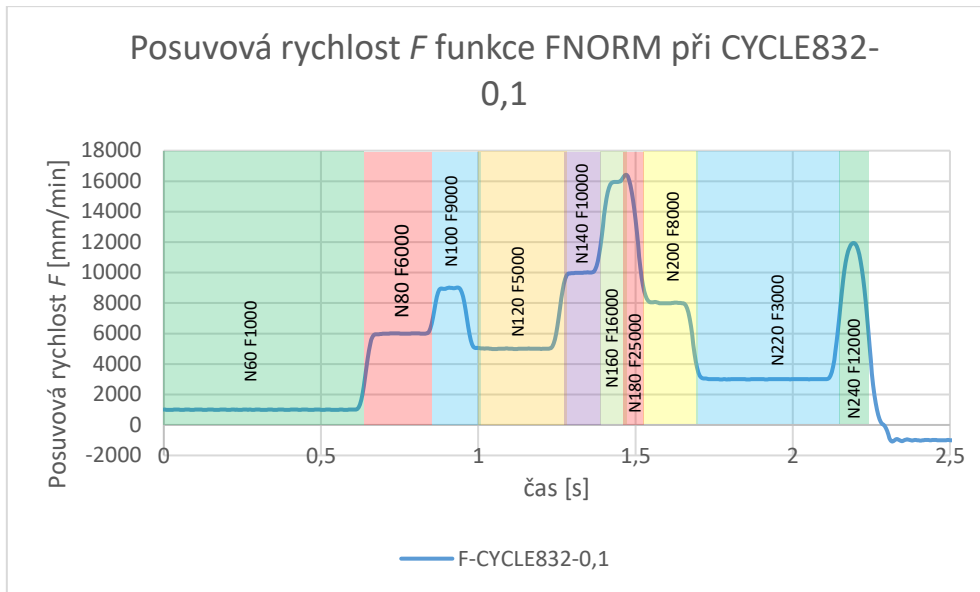


Obrázek 44: Graf celkového porovnání posuvové rychlosti F a dráhy na čase funkce FNORM

Do obrázků 45 a 46 byly přidány hodnoty posuvové funkce stanovené v programu a barevně odděleny jednotlivé NC bloky. Lze tedy zkontrolovat dle programu skutečnou posuvovou rychlost, kterou stroj dosahoval. Ve dvou případech nebyly splněny hodnoty, a to hodnoty v bloku N160 a v N180. To je nejpravděpodobněji zapříčiněno velkým rozdílem navazujících hodnot posuvových rychlostí a nedostatečnou vzdáleností mezi nimi. Problém by tedy byl vyřešen snížením rozdílu hodnot, či prodloužením dráhy mezi body změny rychlosti posuvu. Vzdálenost potřebnou pro dosažení naprogramované hodnoty posuvové rychlosti lze získat extrapolací.



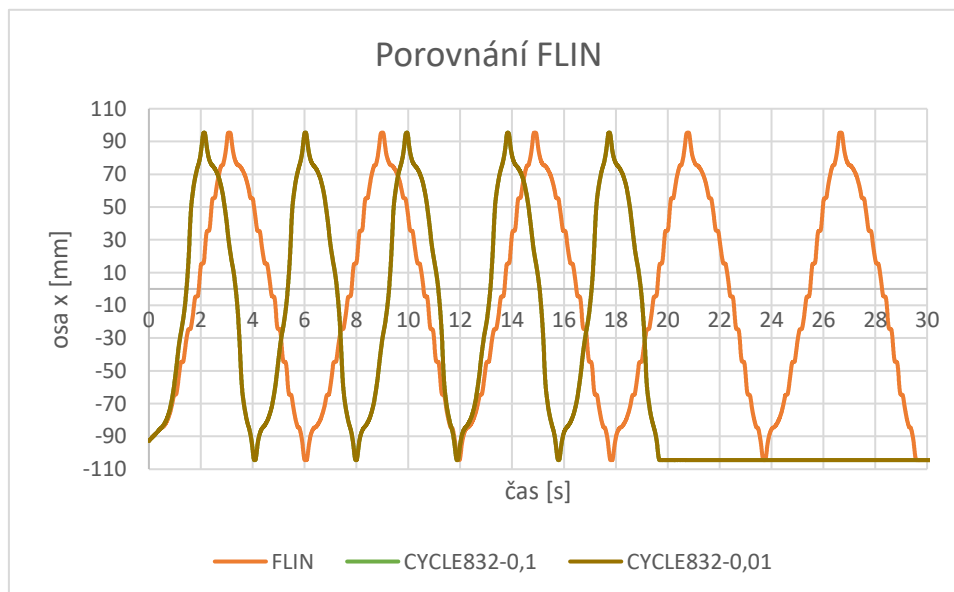
Obrázek 45: Graf funkce posuvové rychlosti F funkce FNORM v závislosti na čase



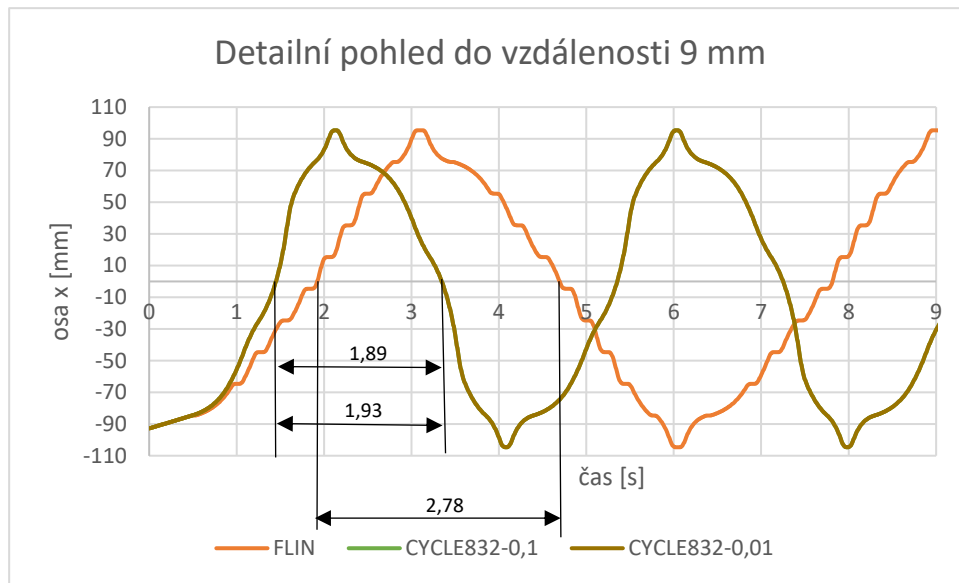
Obrázek 46: Graf funkce posuvové rychlosti F funkce FNORM s CYCLE832 a tolerancí 0,1 v závislosti na čase

6.1.5 Porovnání FLIN

Z obrázků 47 a 48 je patrné, že změnu směru pohybu provádí všechny křivky stejně. Jediný rozdíl je v dosahování naprogramované posuvové rychlosti, kdy funkce s přidaným cyklem CYCLE832 jí dosahuje ztlačeně plynuleji. Opět funkce s CYCLE832 jsou prakticky identické. FLIN bez CYCLE832 má opět ztlačený tvar.

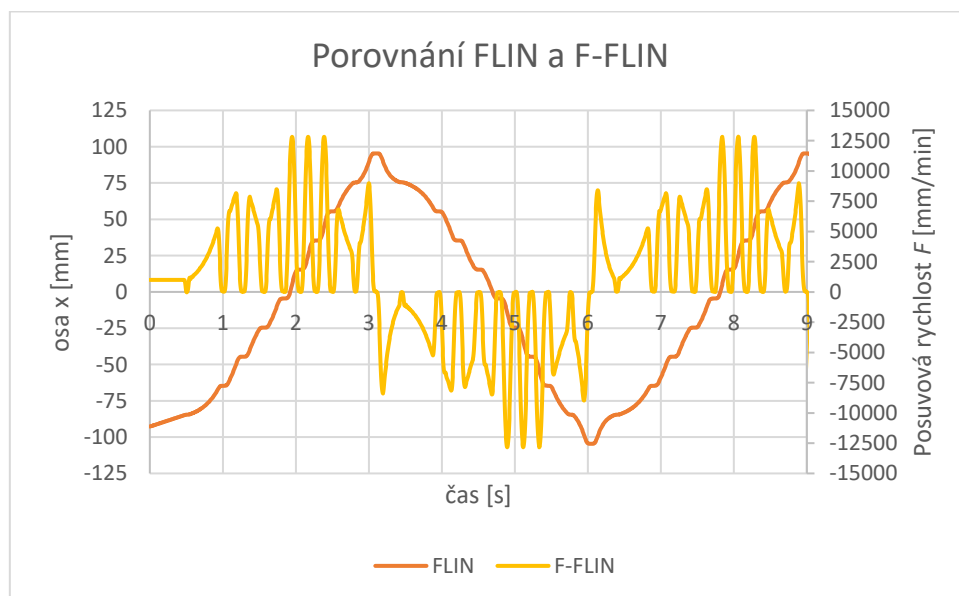


Obrázek 47: Graf závislosti polohy osy x [mm] na čase [s] při porovnání funkce FLIN

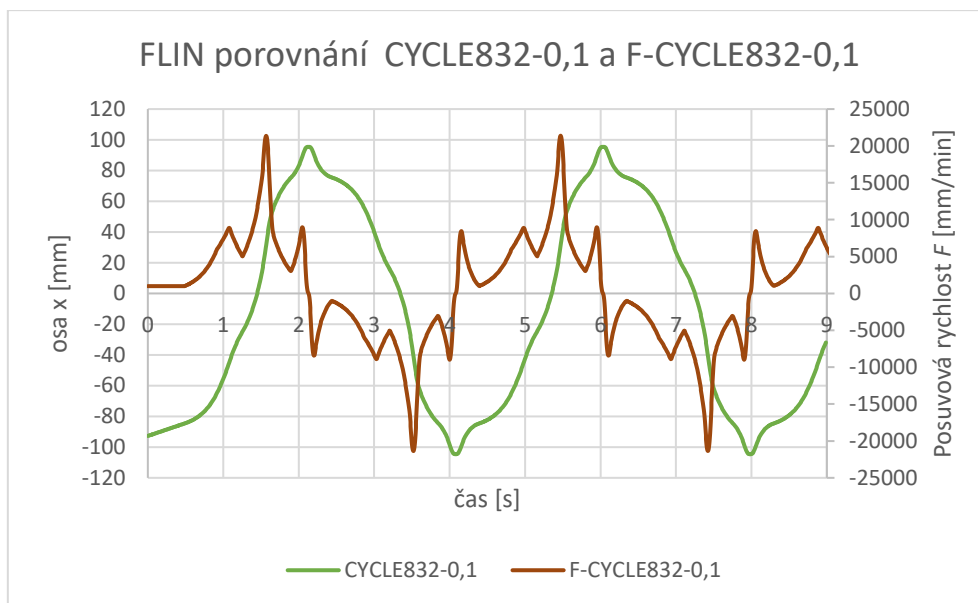


Obrázek 48: Detailní pohled na graf závislosti polohy osy x [mm] na čase [s] při porovnání funkce FLIN

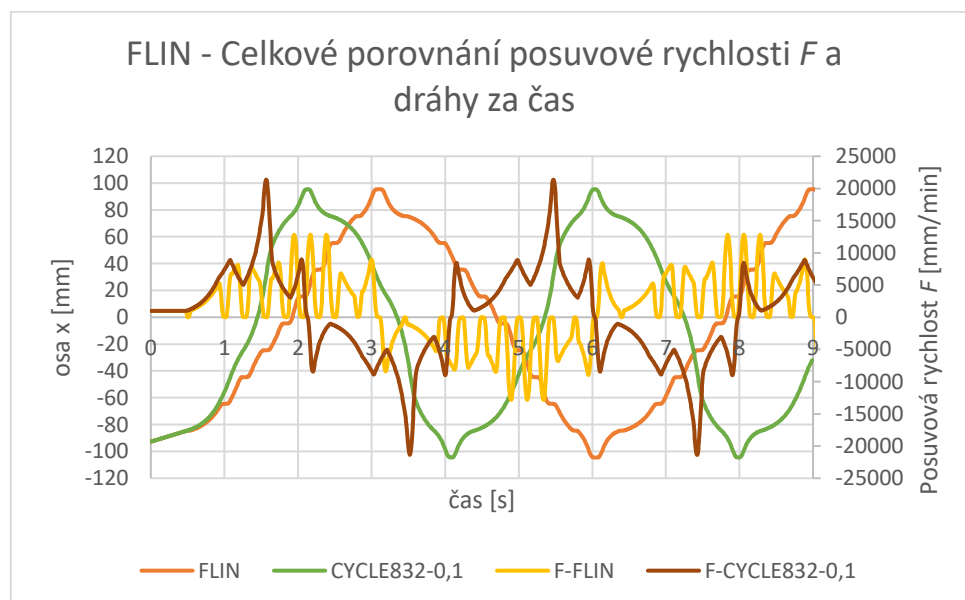
Z obrázků 49, 50, 51, 52 a 53 je opět patrná aktuální hodnota posuvové rychlosti při snaze dosáhnout předepsané hodnoty. Stroj se při funkci FLIN bez cyklu CYCLE832 projevoval sekáním a vibracemi. Sekání a vibrace byly menší než u funkce FNORM. To je patrné z obrázku 49, kde hodnota posuvové rychlosti klesala na nulovou hodnotu při snaze dosažení předepsané hodnoty, a to i přesto, že u FLIN řídicí systém řeší změnu posuvové rychlosti předstihem. Křivka posuvové rychlosti je ale plynulejší než u FNORM. Po přidání cyklu CYCLE832 s tolerancí 0,1 mm je průběh křivky posuvové rychlosti výrazně hladší. Toho si lze všimnout na obrázku 50. To umožňovalo stroji plynulejší přechod mezi hodnotami posuvové rychlosti. Výpočet hodnot posuvové rychlosti byl proveden stejně jako v předchozím porovnání.



Obrázek 49: Graf porovnání funkce FLIN a posuvové rychlosti F-FLIN v závislosti na čase

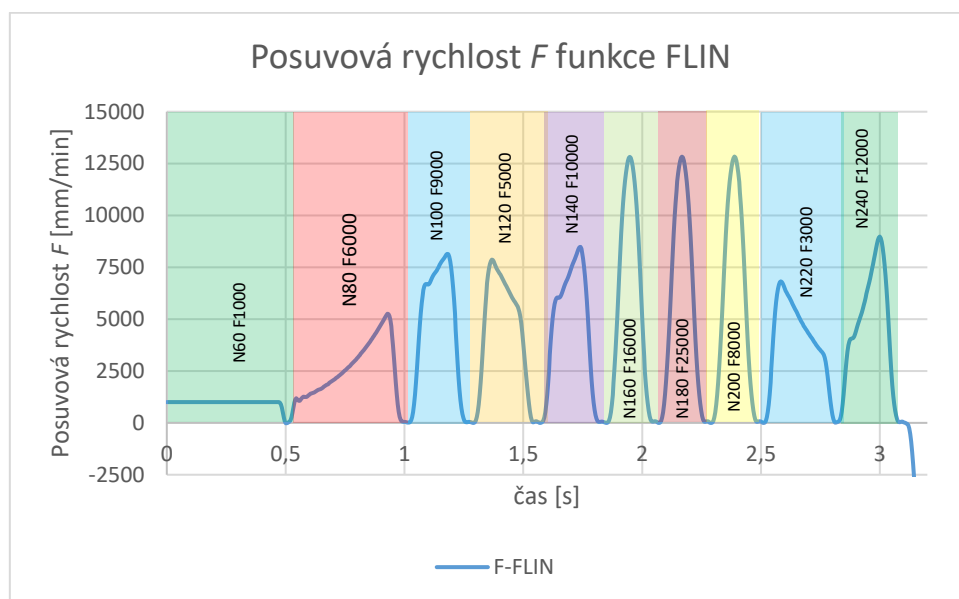


Obrázek 50: Graf porovnání funkce FLIN s CYCLE832 při toleranci 0,1 a její posuvové rychlosti F-CYCLE832-0,1 v závislosti na čase

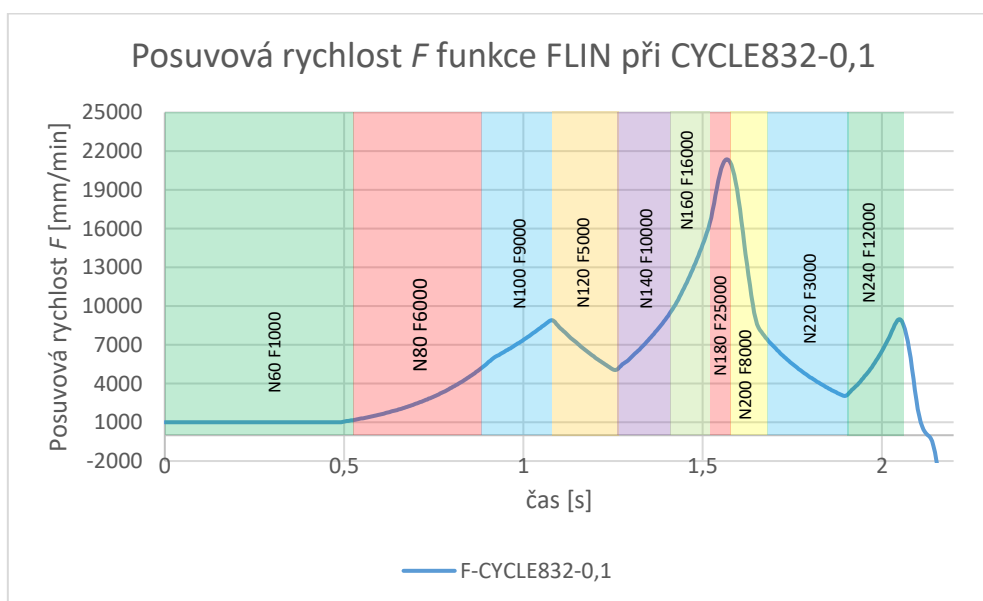


Obrázek 51: Graf celkového porovnání posuvové rychlosti F a dráhy na čase funkce FLIN

Do obrázků 52 a 53 byly opět přidány hodnoty posuvové funkce nastavené v programu a barevně odděleny jednotlivé NC bloky. Lze tedy zkontrolovat podle programu skutečnou posuvovou rychlost, kterou stroj dosahoval. FLIN bez cyklu lépe dosahovala předepsaných hodnot posuvové rychlosti. Zatímco s cyklem CYCLE832 dosahovala výrazně plynulejšímu přechodu posuvové rychlosti na úkor dosažení předepsaných hodnot posuvové rychlosti. Nedosažení předepsané hodnoty rychlosti posuvu bylo zapříčiněno nejpravděpodobněji, jako v předchozím případě, vysokým rozdílem navazujících hodnot posuvových rychlostí a nedostatečnou vzdáleností mezi nimi. Problém by tedy byl vyřešen snížením rozdílu hodnot, či prodloužením vzdálenosti mezi body změny rychlosti posuvu.



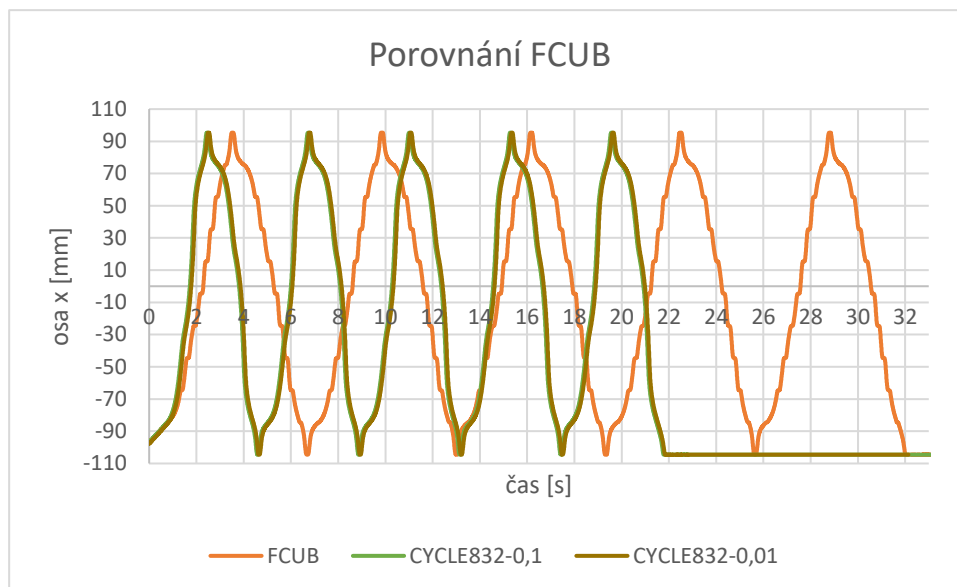
Obrázek 52: Graf funkce posuvové rychlosti F funkce FLIN v závislosti na čase



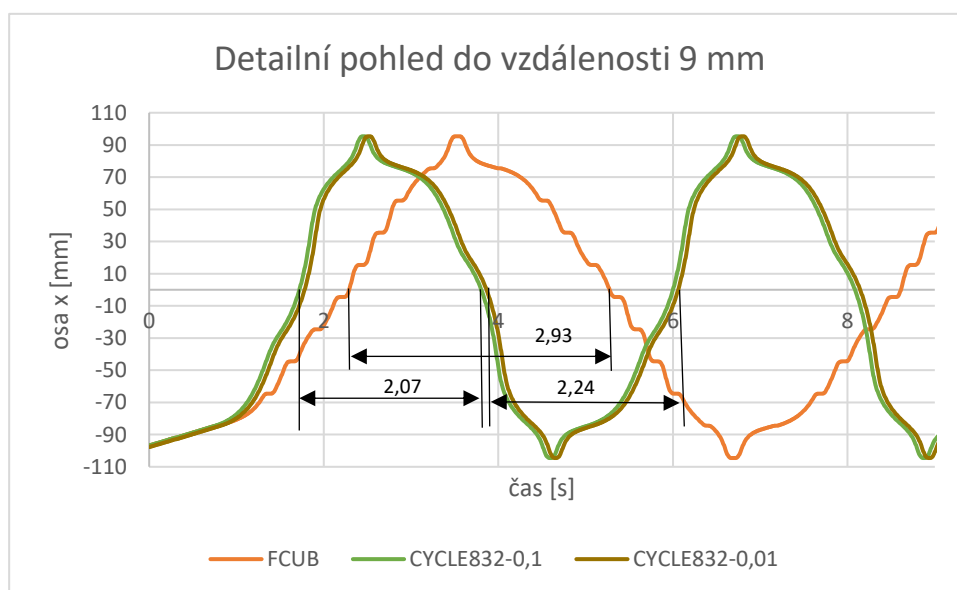
Obrázek 53: Graf funkce posuvové rychlosti F funkce FLIN s CYCLE832 a tolerancí 0,1 v závislosti na čase

6.1.6 Porovnání FCUB

Obrázky 54 a 55 zobrazují, že stejně jako v předchozích případech cyklus CYCLE832 zapříčiňuje plynulejší navazování NC bloků, což se projeví pozitivně při změně posuvové rychlosti a dochází ke snížení obráběcího času. Schodovitá křivka opět ukazuje cukání stroje což zapříčinilo výrazné vibrace.

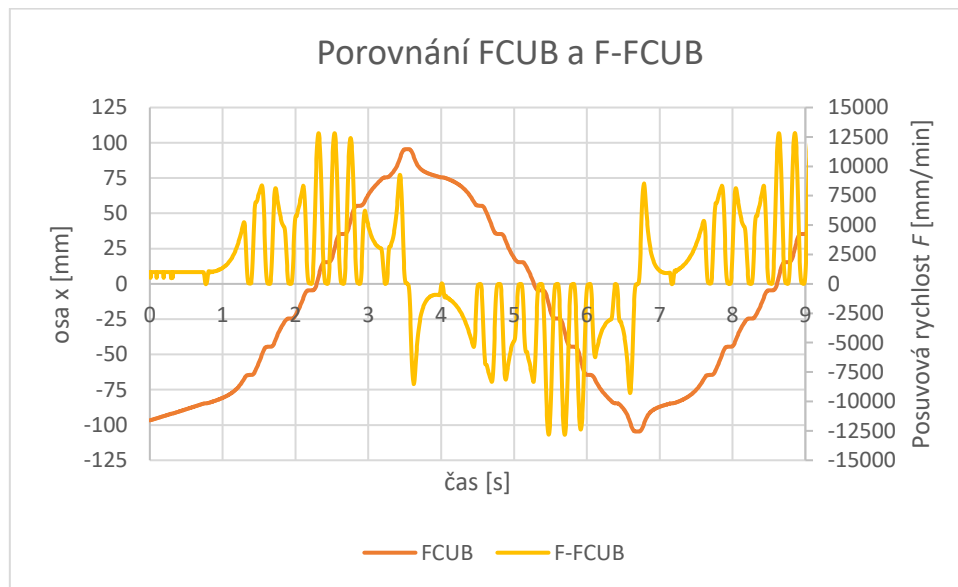


Obrázek 54: Graf závislosti polohy osy x [mm] na čase [s] při porovnání FCUB

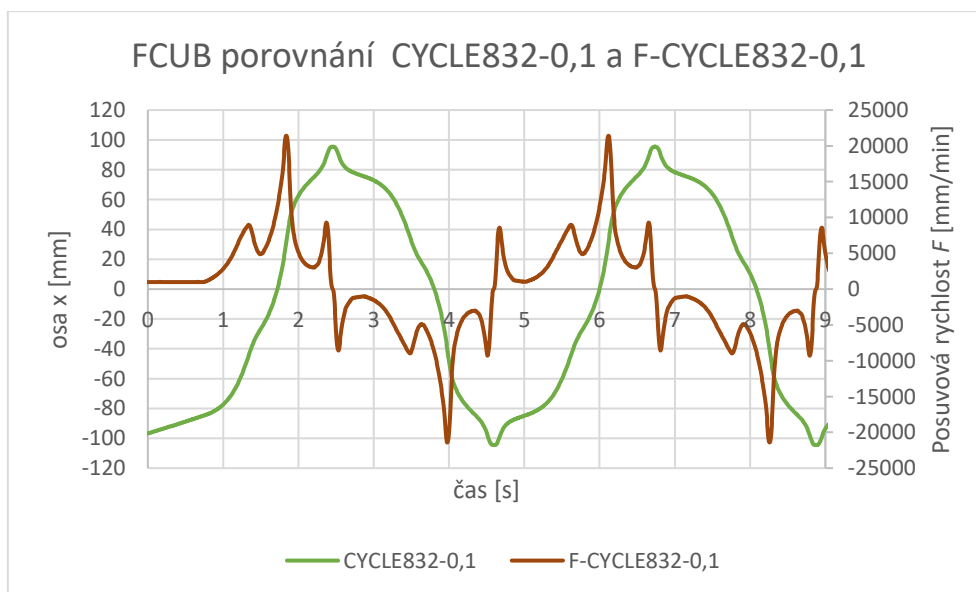


Obrázek 55: Detailní pohled na graf závislosti polohy osy x [mm] na čase [s] při porovnání FCUB

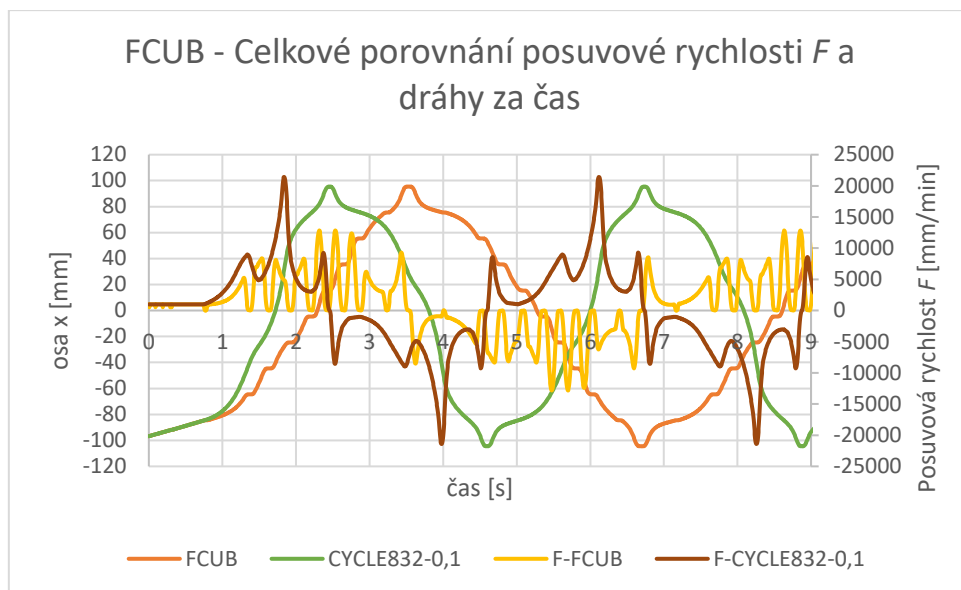
Znovu lze z pěti obrázků 56, 57, 58, 59 a 60 zpozorovat hodnoty posuvové rychlosti při snaze dosáhnout naprogramované hodnoty. Stejně jako v předchozím případech, lze pouze u samostatné funkce FCUB vidět posuvovou rychlost klesající k nule při změně hodnoty. To zapříčinilo cukání a vibrace stroje. Po přidání cyklu CYCLE832 lze pozorovat, dle definice FCUB, kubické napojení posuvových rychlostí. Cyklus také způsobuje plynulejší změnu posuvové rychlosti a tím i klidnější chod stroje bez vibrací. U FCUB, stejně jako u FLIN, řídicí systém řeší změnu posuvové rychlosti s předstihem. Hodnoty průběhu posuvové rychlosti byly vypočítány stejně jako v předešlých případech.



Obrázek 56: Graf porovnání funkce FCUB a posuvové rychlosti F-FCUB v závislosti na čase

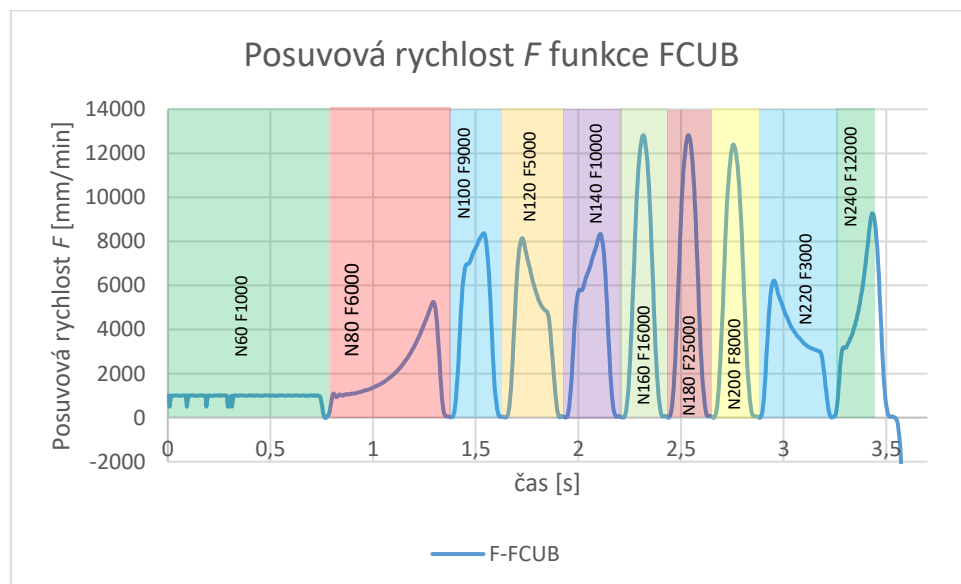


Obrázek 57: Graf porovnání funkce FCUB s CYCLE832 při toleranci 0,1 a její posuvové rychlosti F-CYCLE832-0,1 v závislosti na čase

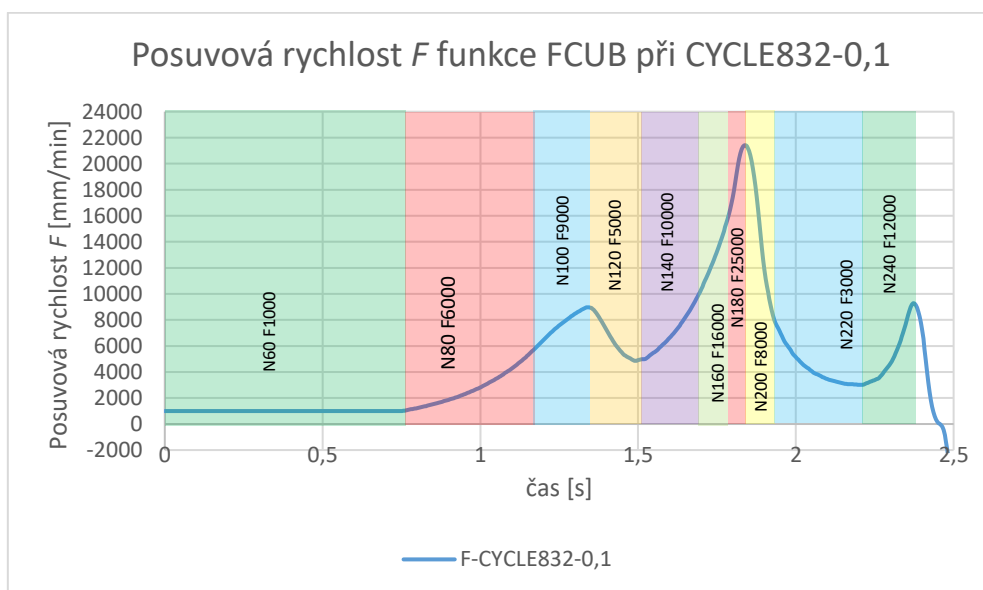


Obrázek 58: Graf celkového porovnání posuvové rychlosti F a dráhy na čase funkce FCUB

Do obrázků 59 a 60 byly opět vyznačeny hodnoty posuvové funkce nastavené v programu a barevně odděleny jednotlivé NC bloky. Z křivek na obou obrázcích, lze porovnat dosažené hodnoty posuvové rychlosti oproti předepsaným. Funkce FCUB bez cyklu lépe dosahovala předepsaných hodnot posuvové rychlosti. S přidáním cyklu CYCLE832 však dosahovala výrazně plynulejšího přechodu posuvové rychlosti za cenu dosažení předepsaných hodnot posuvové rychlosti. Problém by byl nejspíše vyřešen stejně jako v předchozích dvou případech.



Obrázek 59. Graf funkce posuvové rychlosti F funkce FCUB v závislosti na čase



Obrázek 60: Graf funkce posuvové rychlosti F funkce FLIN s CYCLE832 a tolerancí 0,1 v závislosti na čase

6.1.7 Vyhodnocení naměřených časů

V příložené tabulce jsou shrnuty časy získané během prvního experimentu všech tří měření každé měřené funkce. Z tabulky je patrné, že nejdelší čas při prvním měření dosahovala funkce FNORM. Funkce FLIN a FCUB se lišily pouze přibližně o dvě sekundy. Druhé měření ukázalo, že cyklus CYCLE 832 s tolerancí 0,1 mm měl pozitivní dopad na čas všech tří funkcí. Funkce FNORM měla kratší čas o necelých 7 sekund. FLIN a FCUB měly kratší čas cca o 10 sekund. Třetí měření s cyklem CYCLE 832 s tolerancí 0,01 mm naopak prodloužilo čas přejezdů z důvodu zmenšení tolerance. Časy se prodloužily jen velmi nepatrně.

Tabulka 5: Naměřené časy z prvního experimentu

Měření	FNORM	FLIN	FCUB
1.	37,15 [s]	29,78 [s]	32,06 [s]
2.	28,19 [s]	19,62 [s]	21,78 [s]
3.	28,21 [s]	19,65 [s]	21,94 [s]

6.2 Druhý experiment

U druhého experimentu se nevyskytovaly žádné vibrace či cukání stroje. Nezáleželo ani, zda je spuštěna část optimalizovaného či neoptimalizovaného programu. Jediným rozdílem mezi programy byl naměřený čas. Optimalizovaný program byl o necelou polovinu sekundy rychlejší než neoptimalizovaný.

7 Technické hodnocení

Zjištění získané prvním experimentem bylo, že nezáleží pouze na charakteristikách posuvové rychlosti, ale také na použití cyklu CYCLE832. V kombinaci s tímto cyklem se podařilo zjistit, že bez použití pomocného cyklu CYCLE832 stroj nedokázal plynule dosahovat požadované posuvové rychlosti ani u jedné z použitých funkcí. Po přidání cyklu CYCLE832 a nastavení tolerance 0,1 mm se výsledek všech tří funkcí zlepšil, jak časově, tak i po stránce dosažení požadované hodnoty posuvu. Nastavením tolerance na hodnotu 0,01 mm se čas nepatrně zhoršil, ale na plynulosti dosažení předepsané hodnoty posuvu to nemělo vliv.

Tyto poznatky mohou být nápomocné při programování součásti, kde je kladen velký důraz na přesnost. Plynulejší posuv umožní dosahovat kvalitnějšího povrchu obrobku. Dále při hromadné výrobě, kde lze při správném naprogramování ušetřit významnou část času výroby součásti a celý průběh výroby zrychlit a zlevnit. Souvislý posuv stroje slouží k delší trvanlivosti mechanických částí CNC stroje, jelikož méně namáhá z hlediska mechaniky pohyblivé součásti.

7.1 Ekonomické hodnocení

Nejprve je vhodné zmínit, že ekonomické hodnocení a celý experiment byl ideální stav. V praxi nelze pravděpodobně tohoto stavu dosáhnout a vypočítané hodnoty budou tedy řádově menší. U výpočtu nebudeme uvažovat první měření, jelikož u něj nebyl použit cyklus CYCLE832, které je v běžné praxi téměř vždy.

Pro výpočet bude stanoven časový fond stroje [h/rok]. Hodinová sazba stroje činí 1000 Kč/h. Byl vybrán jednosměnný provoz s hodinovou sazbou na den 7,5 h. Z toho lze vypočítat teoretické náklady na stroj za rok.

Časový fond stroje T_p

$$T_p = d * h * \left(1 - \frac{t_z}{100}\right) = 260 * 7,5 * \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 1755 \text{ h/rok}$$

kde:

- d: Počet pracovních dnů v roce [den]
- h: Počet pracovních hodin v jednom dni [h]
- t_z : Plánované prostoje [den]

Teoretické náklady na stroj N

$$N = T_p \cdot S = 1755 \cdot 1000 = 1\,755\,000 \text{ Kč/rok}$$

kde:

- N: Teoretické náklady na stroj za rok [Kč/rok]
- T_p : Časový fond stroje [h/rok]
- S: Hodinová sazba stroje [Kč/h]

Dále bylo stanoveno, že naměřená hodnota FNORM z třetího měření je etalonem. Od této hodnoty se vypočítala úspora času a úspora nákladů. Pro třetí měření se aplikoval stejný způsob.

Tabulka 6: Úspora času a nákladů druhého měření

2. měření	Naměřený čas [s]	Úspora času [%]	Úspora nákladů [Kč]
FNORM	28,19	0,1	1 244
FLIN	19,62	30,5	534 401
FCUB	21,78	22,8	400 023

Tabulka 7: Úspora času a nákladů z třetího měření

3. měření	Naměřený čas [s]	Úspora času [%]	Úspora nákladů [Kč]
FNORM	28,21	0	0
FLIN	19,65	30,3	532 535
FCUB	21,94	22,2	390 069

Z tabulek 6 a 7 vyplývá, že největší teoretické úspory je dosaženo při použití funkce FLIN, druhé největší úspory u funkce FCUB. Nejméně úsporná funkce je FNORM. Lze si všimnout, že změna tolerance při lineárním pohybu nemá zásadní vliv na posuvovou rychlost. Protože funkce G64, kterou obsahuje cyklus CYCLE832 umožňuje plynulejší navazování dráhy nástroje, která je zakřivená. Vypočítané a zjištěné hodnoty jsou uvedeny pro ideální stav a v praktickém využití se budou lišit. V reálné praxi je maximální úspora času odhadnuta řádově do 10%.

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zkoumat vliv nástrojů systému Sinumerik pro posuvovou rychlost a jejich praktické využití. V teoretické části byly popsány elementární informace o systému Sinumerik, základní princip fungování CNC stroje. Dále byly popsány druhy interpolátorů, pohony posuvů a regulace posuvu. Poté byly detailněji uvedeny potřebné informace pro charakteristiky posuvu a chování zrychlení. V praktické části byly navrženy dva experimenty, které ukázaly vliv charakteristik posuvu na posuvovou rychlost.

První experiment zkoumal vliv funkcí FLIN, FNORM a FCUB na dosažení posuvové rychlosti. Experiment byl proveden při lineární dráze deseti přejezdů a u jednotlivých měření byl měřen čas doby přejezdů. Prvním měřením bylo zjištěno, že funkce FNORM nedokázala dosáhnout plynulého navazování požadované rychlosti posuvu. To vedlo k velkému sekání stroje a vibracím při změně rychlosti posuvu. Funkce FLIN a FCUB dokázaly dosahovat požadované posuvové rychlosti o lépe, ale i přesto stroj vykazoval nadměrné vibrace a trhavé pohyby. U druhého měření byl do programu přidán cyklus CYCLE832, který v sobě zahrnuje funkci G64 pro plynulé navazování bloků. Tento cyklus při nastavené toleranci 0,1 mm zapříčinil snížení časů přejezdů. Navíc způsobil plynulé navazování NC bloků a tím stroj nevykazoval žádné sekání či vibrace při snaze o dosažení předepsané posuvové rychlosti. Funkce se lišily pouze v celkovém čase. Nejrychlejší byla FLIN poté FCUB a nakonec FNORM. U třetího měření byla změněna tolerance z 0,1 mm na 0,01 mm. To vedlo pouze k nepatrnému navýšení časů. Vedlejším poznatkem práce bylo zjištění, že při přidání cyklu CYCLE832 bylo dosaženo plynulejšího přechodu mezi NC bloky na úkor dosažení naprogramované hodnoty posuvové rychlosti.

Druhý experiment zkoumal problém, který se vyskytl v diplomové práci na téma „Optimalizace NC kódu pomocí Eureka Chronos.“ Zmíněným problémem bylo, že optimalizovaný NC kód zapříčinil trhavé pohyby nástroje po povrchu obrobku. Byl použit optimalizovaný a neoptimalizovaný program a přidána funkce pro charakteristiky posuvu FNORM. Dále byl použit cyklus CYCLE 832 s nastavenou tolerancí 0,01 mm. Neoptimalizovaný program nevykazoval žádné sekání ani vibrace při snaze dosáhnout požadované posuvové rychlosti. Optimalizovaný program dosahoval kratšího času, než neoptimalizovaný a opět nevykazoval žádné trhavé pohyby či vibrace.

Tabulka 8: Porovnání úspory časů 2. a 3. měření

Funkce	2. Měření – CYCLE832 – 0,1 mm		3. Měření – CYCLE832 – 0,01 mm	
	Naměřený čas [s]	Úspora času [%]	Naměřený čas [s]	Úspora času [%]
FNORM	28,19	0,1	28,21	0
FLIN	19,62	30,5	19,65	30,3
FCUB	21,78	22,8	21,94	22,2

Z ekonomického hlediska dávají funkce FLIN a FCUB větší smysl než FNORM. Úspora času u funkcí FLIN a FCUB byla minimálně 22,2 % a maximálně 30,5 %. Tyto hodnoty a celý experiment jsou ideální stav a je odhadováno, že v praxi budou hodnoty úspory času dosahovat řádově do 10%.

Závěrem práce lze říct, že poznatky z vyhotovených experimentů mohou být nápomocné při programování součástí, kde je kladen vysoký důraz na jakost povrchu, což je způsobeno plynulejším dosahováním předepsané posuvové rychlosti. Snížení časů přejezdů se může výrazně projevit v hromadné výrobě jako pomocné kritérium pro zlevnění výroby. Plynulé dosahování předepsané posuvové rychlosti zapříčiňuje delší trvanlivost pohybujících se součástí CNC stroje, jelikož jsou méně namáhány z hlediska mechaniky stroje.

9 Bibliografie

- [1] NEZBEDA, Lukáš. *Softwarová optimalizace NC kódu pomocí Eureka Chronos* [online]. 2021 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/44128/1/LN_DP_OPRAVA.pdf. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Aneta Milsimerová, Ph.D.
- [2] Sinumerik. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sinumerik>
- [3] POLÁŠEK, Jaromír. *Číslicově řízené stroje* [online]. VOŠ, SOŠ A SOU KOPŘIVNICE: projektu CZ.1.07/1.1.07/03.0027 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31_Cislicove_rizene_stroje.pdf
- [4] *Obecný úvod do problematiky CNC programování* [online]. Středisko praktického vyučování PBS Velká Bíteš, Vlkovská 279, Velká Bíteš, CZ.1.07/1.1.01/02.0084 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: https://www.sosbites.cz/images/stories/Pro-studenty/studijni-materialy/VUKOV_TEXT_-_1.ST.pdf
- [5] HNÁTÍK, Jan. *Programově řízené stroje: Přednáška pro výuku předmětu automatizace výrobních procesů*. Plzeň: ZČU, 2021.
- [6] HOUFEK, Pavel. *Trapezoidální interpolátor pro CNC frézku* [online]. 2016 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/65592/F2-BP-2016-Houfek-Pavel-Bakalarska%20prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Martin Nečas MSc., Ph.D.
- [7] *SINUMERIK 840D/840Di/810D: Programming Guide Advanced* [online]. 03.04. Siemens AG Industry Sector Postfach 48 48 90026 NÜRNBERG NĚMECKO, 2004 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/108681744/PGA_0304_en.pdf?download=true
- [8] *SINUMERIK 840D sl / 828D Pro pokročilé: Programovací příručka* [online]. Siemens AG Industry Sector Postfach 48 48 90026 NÜRNBERG NĚMECKO, 2010 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/189/25034189/att_108728/v1/PGA_0310_cs_cs-CZ.pdf
- [9] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III* [online]. Praha: MM publishing, 2014 [cit. 2022-04-04]. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [10] HORÁK, Miroslav. *KONSTRUKČNÍ NÁVRH LINEÁRNÍ OSY PRO TĚŽKÝ OBRÁBĚCÍ STROJ* [online]. Brno, 2019 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=193003. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Dominik Hermanský.
- [11] *SINUMERIK 840D sl / 828D Základy: Programovací příručka* [online]. Siemens AG Industry Sector Postfach 48 48 90026 NÜRNBERG NĚMECKO, 2010 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z:

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/635/28705635/att_75725/v1/PG_0310_cs_cs-CZ.pdf

- [12] NOVÁK, Pavel. *Úloha rychlostní smyčky při optimalizaci obráběcího stroje s CNC řízením* [online]. 2008 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/5337/nov%C3%A1k_2008_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
- [13] *SINUMERIK 840D / 840Di / 810D: Příručka programování Cykly* [online]. 03.04. Siemens AG Industry Sector Postfach 48 48 90026 NÜRNBERG NĚMECKO, 2004 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://forum.strojirenstvi.cz/download/file.php?id=25714>

PŘÍLOHA č. 1

NC kód funkce FNORM bez cyklu CYCLE832

N10 G54 G40 G71 G90 G17
N20 G0 Z100
N30 G0 X-100 Y0 Z10
N40 ,*****
N50 ,***Prejezd 1***
N60 G94 S2000 FNORM F1000 M3
N70 G01 X-80
N80 G94 F6000
N90 G01 X-60
N100 G94 F9000
N110 G01 X-40
N120 G94 F5000
N130 G01 X-20
N140 G94 F10000
N150 G01 X0
N160 G94 F16000
N170 G01 X20
N180 G94 F25000
N190 G01 X40
N200 G94 F8000
N210 G01 X60
N220 G94 F3000
N230 G01 X80
N240 G94 F12000
N250 G01 X100
N260 ,*****
N270 ,***Prejezd 2***
N280 G94 F1000
N290 G01 X80
N300 G94 F6000
N310 G01 X60
N320 G94 F9000
N330 G01 X40
N340 G94 F5000
N350 G01 X20
N360 G94 F10000
N370 G01 X0
N380 G94 F16000
N390 G01 X-20
N400 G94 F25000
N410 G01 X-40
N420 G94 F8000
N430 G01 X-60
N440 G94 F3000
N450 G01 X-80
N460 G94 F12000
N470 G01 X-100
N480 ,*****
N490 ,***Prejezd 3***
N500 G94 F1000

N510 G01 X-80
N520 G94 F6000
N530 G01 X-60
N540 G94 F9000
N550 G01 X-40
N560 G94 F5000
N570 G01 X-20
N580 G94 F10000
N590 G01 X0
N600 G94 F16000
N610 G01 X20
N620 G94 F25000
N630 G01 X40
N640 G94 F8000
N650 G01 X60
N660 G94 F3000
N670 G01 X80
N680 G94 F12000
N690 G01 X100
N700 ,*****
N710 ,***Prejezd 4***
N720 G94 F1000
N730 G01 X80
N740 G94 F6000
N750 G01 X60
N760 G94 F9000
N770 G01 X40
N780 G94 F5000
N790 G01 X20
N800 G94 F10000
N810 G01 X0
N820 G94 F16000
N830 G01 X-20
N840 G94 F25000
N850 G01 X-40
N860 G94 F8000
N870 G01 X-60
N880 G94 F3000
N890 G01 X-80
N900 G94 F12000
N910 G01 x-100
N920 ,*****
N930 ,***Prejezd 5***
N940 G94 F1000
N950 G01 X-80
N960 G94 F6000
N970 G01 X-60
N980 G94 F9000
N990 G01 X-40
N1000 G94 F5000

N1010 G01 X-20
N1020 G94 F10000
N1030 G01 X0
N1040 G94 F16000
N1050 G01 X20
N1060 G94 F25000
N1070 G01 X40
N1080 G94 F8000
N1090 G01 X60
N1100 G94 F3000
N1110 G01 X80
N1120 G94 F12000
N1130 G01 X100
N1140 ,*****
N1150 ,***Prejezd 6***
N1160 G94 F1000
N1170 G01 X80
N1180 G94 F6000
N1190 G01 X60
N1200 G94 F9000
N1210 G01 X40
N1220 G94 F5000
N1230 G01 X20
N1240 G94 F10000
N1250 G01 X0
N1260 G94 F16000
N1270 G01 X-20
N1280 G94 F25000
N1290 G01 X-40
N1300 G94 F8000
N1310 G01 X-60
N1320 G94 F3000
N1330 G01 X-80
N1340 G94 F12000
N1350 G01 X-100
N1360 ,*****
N1370 ,***Prejezd 7***
N1380 G94 F1000
N1390 G01 X-80
N1400 G94 F6000
N1410 G01 X-60
N1420 G94 F9000
N1430 G01 X-40
N1440 G94 F5000
N1450 G01 X-20
N1460 G94 F10000
N1470 G01 X0
N1480 G94 F16000
N1490 G01 X20
N1500 G94 F25000

N1510 G01 X40
N1520 G94 F8000
N1530 G01 X60
N1540 G94 F3000
N1550 G01 X80
N1560 G94 F12000
N1570 G01 X100
N1580 ,*****
N1590 ,***Prejezd 8***
N1600 G94 F1000
N1610 G01 X80
N1620 G94 F6000
N1630 G01 X60
N1640 G94 F9000
N1650 G01 X40
N1660 G94 F5000
N1670 G01 X20
N1680 G94 F10000
N1690 G01 X0
N1700 G94 F16000
N1710 G01 X-20
N1720 G94 F25000
N1730 G01 X-40
N1740 G94 F8000
N1750 G01 X-60
N1760 G94 F3000
N1770 G01 X-80
N1780 G94 F12000
N1790 G01 X-100
N1800 ,*****
N1810 ,***Prejezd 9***
N1820 G94 F1000
N1830 G01 X-80
N1840 G94 F6000
N1850 G01 X-60
N1860 G94 F9000
N1870 G01 X-40
N1880 G94 F5000
N1890 G01 X-20
N1900 G94 F10000
N1910 G01 X0
N1920 G94 F16000
N1930 G01 X20
N1940 G94 F25000
N1950 G01 X40
N1960 G94 F8000
N1970 G01 X60
N1980 G94 F3000
N1990 G01 X80
N2000 G94 F12000

N2010 G01 X100
N2020 ,*****
N2030 ,***Prejezd 10***
N2040 G94 F1000
N2050 G01 X80
N2060 G94 F6000
N2070 G01 X60
N2080 G94 F9000
N2090 G01 X40
N2100 G94 F5000
N2110 G01 X20
N2120 G94 F10000
N2130 G01 X0
N2140 G94 F16000
N2150 G01 X-20
N2160 G94 F25000
N2170 G01 X-40
N2180 G94 F8000
N2190 G01 X-60
N2200 G94 F3000
N2210 G01 X-80
N2220 G94 F12000
N2230 G01 X-100
N2240 ,*****
N2250 FNORM M5
N2260 G0 Z100
N2270 M30