

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

**Studijní program:**

**N0715A270011 – Obrábění, aditivní technologie a zabezpečování kvality**

**Studijní specializace: Bez specializace**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Možnosti hardwarové optimalizace na systému Heidenhain ITNC530**

**Autor: Illia MAIAKOV**

**Vedoucí práce: Ing. Aneta JIRÁSKO Ph.D.**

**Akademický rok 2022/2023**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta strojní  
Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Illia MAIAKOV**  
Osobní číslo: **S20N0006P**  
Studijní program: **N0715A270011 Obrábění, aditivní technologie a zabezpečování kvality**  
Téma práce: **Možnosti hardwarové optimalizace na systému Heidenhain ITNC530**  
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

## Zásady pro vypracování

1. Úvod
2. Analýza současného stavu
3. Experimentální měření
4. Vyhodnocení
5. Závěr

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- Manuál řídicího systému Heidenhain
- VEVERKOVÁ, Michala. Measurement of vibrations in CNC machine. In: Elektrotechnika a informatika 2008. Část 1., Elektrotechnika: 9. ročník konference doktorských prací, Zámek Nečtiny, 6. – 7. listopadu 2008. V Plzni: Západočeská univerzita, 2008. s. 133-136. ISBN 978-80-7043-702-5.
- SMID, Peter. CNC controlsetupformilling and turning: mastering CNC controlsystems. New York: IndustrialPress, 2010. 286 s. ISBN 978-0-8311-3350-4.
- ALTINTAS, Yusuf. Manufacturingautomation: metal cuttingmechanics, machinetoolvibrations, and CNC design. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 366 s. ISBN 978-0-521-17247-9.
- MAREK, Jiří a kol. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. 684 stran. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- ŠTULPA, Miloslav. CNC: programování obráběcích strojů. První vydání. Praha: GradaPublishing, 2015. 240 stran. ISBN 978-80-247-5269-3.
- STANĚK, J., NĚMEJC, J. :Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací. Plzeň: ZČU, 2005.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Aneta Jirásko, Ph.D.**  
Katedra technologie obrábění

Konzultant diplomové práce: **Ing. Jan Hnátík, Ph.D.**  
Regionální technologický institut

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2022**  
Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2023**

L.S.

---

**Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.**  
děkan

---

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

## Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## Poděkování

Touto cestou bych rád vyjádřit upřímné poděkování vedoucí diplomové práce paní Ing. Anetě Jirásko, Ph.D., za vedení, podporu a odborné rady při přípravě mé diplomové práce. Její znalosti, trpělivost a ochota přispět k mému výzkumu byly neocenitelné.

Dále bych rád poděkoval panu konzultantovi Ing. Janu Hnátíkovi, Ph.D., za věnovaný čas a důležité poznatky při provedení experimentu.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za neocenitelnou podporu, kterou mi poskytla po celou dobu mého studia. Díky nim jsem měl možnost se věnovat svému vzdělání a dosáhnout svých akademických cílů.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Maiakov	<b>Jméno</b> Illia	
<b>STUDIJNÍ PROGRAM</b>	N0715A270011 Obrábění, aditivní technologie a zabezpečování kvality		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Ing. Jirásko Ph.D.	<b>Jméno</b> Aneta	
<b>PRACOVÍŠTĚ</b>	ZČU – FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Možnosti hardwarové optimalizace na systému Heidenhain iTNC530		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2023
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	71	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	54	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	17
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Cílem této diplomové práce bylo prozkoumat možnosti hardwarové optimalizace systému Heidenhain iTNC530 a porovnat strategie hrubování s funkcí adaptivního řízení posuvu (AFC). Teoretická část se zabývala popisem možností optimalizace iTNC530 a řešerší balíku Dynamická výkonnost. V praktické části byly provedeny experimenty s funkcí AFC pro srovnání strategií HM hrubování a Lineárního hrubování. Výstupem práce je podrobná analýza výkonu funkce AFC a identifikace možností optimalizace procesu. Na základě provedených experimentů a analýz se doporučuje strategie HM hrubování s funkcí AFC jako výhodnější volba, protože čas potřebný na obrábění stejného výrobku byl výrazně kratší.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	Heidenhain, AFC, ACC, optimalizace, NC program, frézování, drnčení, p osuvová rychlost.

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Maiakov	<b>Name</b> Illia	
<b>STUDY PROGRAMME</b>	N0715A270011 Machining, additive technology and quality assurance		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Ing. Jirásko Ph.D.	<b>Name</b> Aneta	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Design Hardware optimization options on Heidenhain iTNC530 system		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KTO	<b>SUBMITTED IN</b>	2023
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	71	<b>TEXT PART</b>	54	<b>GRAPHICAL PART</b>	17
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The aim of this master's thesis was to explore the possibilities of hardware optimization of the Heidenhain iTNC530 system and compare roughing strategies with the adaptive feed control (AFC) function. The theoretical part focused on describing the optimization options of iTNC530 and researching the Dynamic Efficiency package. In the practical part, experiments were conducted with the AFC function to compare the strategies of High Material (HM) roughing and Linear roughing. The output of the thesis is a detailed analysis of the performance of the AFC function and identification of process optimization possibilities. Based on the conducted experiments and analyses, the HM roughing strategy with AFC function is recommended as a more advantageous choice because the time required for machining the same product was significantly shorter.
<b>KEY WORDS</b>	Heidenhain, AFC, ACC, optimization, NC program, milling, chatter, feed rate.

## Obsah

Zadání DP.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Přehled použitých zkratk a symbolů.....	10
Seznam obrázků .....	11
Seznam tabulek .....	13
1. Úvod a cíl práce.....	15
2. Analýza současného stavu.....	15
2.1 Balík funkce Dynamická výkonnost .....	16
2.1.1 Funkce Aktivního potlačení drnění (ACC) .....	16
2.1.1.1 Provozní princip funkce ACC.....	17
2.1.1.2 Aktivace funkce ACC .....	19
2.1.2 Funkce Adaptivního řízení posuvu (AFC).....	19
2.1.2.1 Uvedení do praktických možností funkce AFC.....	20
2.1.3 Trochoidální frézování .....	23
2.1.4 Kombinace funkce balíku Dynamická výkonnost .....	24
2.2 Systém Heidenhain iTNC530 a balík Dynamická výkonnost.....	25
2.2.1 Praktické využití systému Heidenhain iTNC530 a balíku Dynamická výkonnost	25
3. Experimentální část.....	28
3.1 Příprava experimentů .....	28
3.1.1 Volba materiálu obrobku.....	28
3.1.2 Volba nástroje .....	29
3.1.3 Návrh CAD modelu .....	30
3.1.3.1 Návrh CAD modelu pro nastavení funkce AFC .....	30
3.1.3.2 Návrh CAD modelu pro experimenty z funkce AFC .....	30
3.1.4 Návrh NC kódu .....	31
3.1.4.1 Návrh NC kódu pro nastavení funkce AFC .....	32
3.1.4.2 Návrh NC kódu pro experimenty z funkce AFC .....	32
3.2 První experiment .....	34
3.2.1 Aktivace a nakonfigurování funkce AFC.....	34
3.2.1.1 Příprava pre-experimentu.....	35
3.2.1.2 Upnutí obrobku .....	35
3.2.1.3 Provedení pre-experimentu .....	36
3.2.1.4 Shrnutí pre-experimentu .....	38
3.2.2 Praktické vyzkoušení funkce AFC .....	38



3.2.2.1	Příprava prvního experimentu.....	38
3.2.2.1.1	Piezoelektrický dynamometr .....	39
3.2.2.1.2	Software.....	40
3.2.2.2	Upnutí obrobku .....	40
3.2.2.3	Provedení experimentu .....	41
3.2.2.4	Shrnutí prvního experimentu .....	47
3.3	Druhý experiment.....	47
3.3.1	Příprava experimentu .....	47
3.3.2	Provedení experimentu.....	49
3.3.2.1	Obrábění tvarové kapsy s použitím strategie HM hrubování .....	49
3.3.2.1.1	Shrnutí obrábění s použitím strategie HM hrubování .....	58
3.3.2.2	Obrábění tvarové kapsy s použitím strategie Lineární hrubování .....	58
3.3.2.2.1	Shrnutí obrábění s použitím strategie Lineárního hrubování .....	67
3.3.2.3	Shrnutí druhého experimentu.....	68
4.	Závěr.....	69
	Seznam použitých zdrojů .....	72
	PŘÍLOHA č. 1 .....	i
	PŘÍLOHA č. 2.....	ii
	PŘÍLOHA č. 3.....	ii
	PŘÍLOHA č. 4.....	ii
	PŘÍLOHA č. 5.....	ii

## **Přehled použitých zkratk a symbolů**

AFC	Adaptive Feed Control – adaptivní řízení posuvu
ACC	Active Chatter Control – aktivní útlum drnčení
CAM	Computer Aided Manufacturing – počítačová podpora výroby
CAD	Computer Aided Design – počítačová podpora konstrukce
NC	Numerical Control – číslicově řízený
CNC	Computer numerical control – počítačově řízený
HM	Hybrid Machining – Hybridní obrábění
NC	Numerical Control – číslicově řízený
TNC	Tool Numerical Control – technologie s číslicovým řízením
HW	Hardware
SW	Software
DP	Diplomová práce

## Seznam obrázků

Obr. 1: Frézování bez zapnuté funkce ACC (vlevo), frézování se zapnutou funkcí ACC (vpravo) [8] .....	17
Obr. 2: Řezné síly během drncení při konvenčním způsobu obrábění [8] .....	18
Obr. 3: Řezné síly s zapnutou funkce ACC [8] .....	18
Obr. 4: Aktivace funkce ACC [10] .....	19
Obr. 5: Změna rychlosti posuvu při použití funkce AFC [8] .....	20
Obr. 6: Evaluační tabulka [10] .....	21
Obr. 7: Model obrobku pro první experiment [11] .....	22
Obr. 8: Model obrobku pro provedení druhého experimentu [11] .....	23
Obr. 9: Rychlý úběr materiálu – při trochoidním frézování je kruhový pohyb superponován na lineární posuv. [8] .....	24
Obr. 10: Obrazovka a ovládací panel [12] .....	25
Obr. 11: Standartní nastavení tabulky AFC.TAB [autor] .....	26
Obr. 12: Obrazovka BF 250 [12] .....	27
Obr. 13: Model obrobku pro otestování funkce AFC [autor] .....	30
Obr. 14: Model obrobku jednoduché kapsy [autor] .....	31
Obr. 15: Model obrobku tvarové kapsy [autor] .....	31
Obr. 16: Simulace drah nástroje pro otestování funkce AFC [autor] .....	32
Obr. 17: Simulace drah nástroje pro jednoduchou kapsu s použitím strategie "HM hrubování" (vlevo) a strategie "Lineární hrubování" (vpravo) .....	33
Obr. 18: Simulace drah nástroje pro tvarovou kapsu s použitím strategie "HM hrubování"[autor] .....	33
Obr. 19: Simulace drah nástroje pro tvarovou kapsu s použitím strategie "Lineární hrubování"[autor] .....	34
Obr. 20: Návrh jednotlivých drážek .....	35
Obr. 21: Upnutí obrobku [autor] .....	36
Obr. 22: Tabulka AFC.TAB [autor] .....	36
Obr. 23: První naučení AFC [autor] .....	37
Obr. 24: Evaluační tabulka druhého testu [autor] .....	37
Obr. 25: Evaluační tabulka třetího testu [autor] .....	38
Obr. 26: Soustava doplňujícího vybavení pro měření sil [autor] .....	39
Obr. 27: Piezoelektrický dynamometr Kistler 9555C [autor] .....	40
Obr. 28: 3D model polotovaru pro první experiment [autor] .....	40
Obr. 29: Upnutí polotovaru pro první experiment [autor] .....	41
Obr. 30: Graf sil pro strategie "HM hrubování" bez funkce AFC [autor] .....	42

Obr. 31: Graf sil pro strategie "HM hrubování" z funkce AFC [autor] .....	43
Obr. 32: Evaluační tabulka pro obrábění ze strategie "HM hrubování" [autor].....	44
Obr. 33: Výsledný graf s použitím strategie HM hrubování [autor].....	44
Obr. 34: Graf sil pro strategie "Lineární hrubování" bez funkce AFC [autor] .....	45
Obr. 35: Hrubování kapsy s použitím strategie Lineární hrubování [autor] .....	45
Obr. 36: Graf sil pro strategie "Lineární hrubování" bez funkce AFC [autor] .....	46
Obr. 37: Evaluační tabulka pro obrábění ze strategie "Lineární hrubování" [autor] .....	47
Obr. 38: Výkres obrobku tvarové kapsy [autor] .....	48
Obr. 39: Upnutí polotovaru pro druhý experiment [autor].....	48
Obr. 40: Upnutí polotovaru pro druhý experiment [autor].....	50
Obr. 41: Graf sil strategie HM hrubování prvního testu s použitím funkce AFC [autor] .....	51
Obr. 42: Evaluační tabulka druhého testu s použitím strategie HM hrubování [autor] .....	51
Obr. 43: Graf sil strategie HM hrubování druhého testu bez funkce AFC [autor] .....	52
Obr. 44: Výsledný graf druhého testu strategie HM hrubování bez funkce AFC [autor].....	52
Obr. 45: Graf sil strategie HM hrubování druhého testu s použitím funkce AFC [autor] .....	53
Obr. 46: Výsledný graf druhého testu strategie HM hrubování s použitím funkce AFC [autor] .....	53
Obr. 47: Evaluační tabulka druhého testu s použitím strategie HM hrubování [autor] .....	53
Obr. 48: Graf sil strategie HM hrubování třetího testu bez funkce AFC [autor] .....	54
Obr. 49: Výsledný graf druhého testu strategie HM hrubování bez funkce AFC [autor].....	54
Obr. 50: Graf sil strategie HM hrubování třetího testu s použitím funkce AFC [autor] .....	55
Obr. 51: Evaluační tabulka třetího testu s použitím strategie HM hrubování [autor].....	55
Obr. 52: Výsledný graf čtvrtého testu strategie HM hrubování bez funkce AFC [autor].....	56
Obr. 53: Evaluační tabulka čtvrtého testu s použitím strategie HM hrubování [autor] .....	56
Obr. 54: Graf sil $F_x$ strategie HM hrubování z funkce AFC a bez ní [autor] .....	57
Obr. 55: Graf sil $F_y$ strategie HM hrubování z funkce AFC a bez ní [autor] .....	57
Obr. 56: Graf sil $F_y$ strategie HM hrubování z funkce AFC a bez ní [autor] .....	58
Obr. 57: Graf sil strategie lineárního hrubování prvního testu bez funkce AFC [autor] .....	59
Obr. 58: Graf sil strategie lineárního hrubování prvního testu s použitím funkce AFC [autor] .....	60
Obr. 59: Evaluační tabulka prvního testu s použitím strategie lineárního hrubování [autor] ..	60
Obr. 60: Graf sil strategie lineárního hrubování druhého testu bez funkce AFC [autor].....	61
Obr. 61: Výsledný graf druhého testu strategie lineárního hrubování bez funkce AFC [autor] .....	61
Obr. 62: Graf sil strategie lineárního hrubování druhého testu s použitím funkce AFC [autor] .....	62

Obr. 63: Evaluační tabulka druhého testu s použitím strategie lineárního hrubování [autor] .	63
Obr. 64: Výsledný graf druhého testu strategie lineárního hrubování s použitím funkce AFC [autor] .....	63
Obr. 65: Graf sil strategie lineárního hrubování druhého testu s použitím funkce AFC [autor] .....	64
Obr. 66: Evaluační tabulka druhého testu s použitím strategie lineárního hrubování [autor] .	64
Obr. 67: Výsledný graf čtvrtého testu strategie lineárního hrubování bez funkce AFC [autor] .....	64
Obr. 68: Výsledný graf čtvrtého testu strategie lineárního hrubování s použitím funkce AFC [autor] .....	65
Obr. 69: Evaluační tabulka čtvrtého testu s použitím strategie lineárního hrubování [autor] .	65
Obr. 70: Graf sil $F_x$ strategie Lineárního hrubování z funkce AFC a bez ní [autor] .....	66
Obr. 71: Graf sil $F_y$ strategie Lineárního hrubování z funkce AFC a bez ní [autor] .....	66
Obr. 72: Graf sil $F_z$ strategie Lineárního hrubování z funkce AFC a bez ní [autor] .....	67
Obr. 73: Model obrobku jednoduché kapsy (vlevo) a tvarové kapsy (vpravo)[autor].....	69

## Seznam tabulek

Tab. 1: Chemické složení oceli 15 142 [14].....	29
Tab. 2: Vlastnosti oceli 15 142 a 12 050 [14] .....	29
Tab. 3: Parametry pre-experimentu.....	35
Tab. 4: Skutečné parametry prvního testu pre-experimentu .....	36
Tab. 5: Skutečné parametry druhého testu pre-experimentu.....	37
Tab. 6: Skutečné parametry třetího testu pre-experimentu .....	38
Tab. 7: Parametry prvního experimentu.....	39
Tab. 8: Skutečné parametry prvního testu prvního experimentu .....	41
Tab. 9: Parametry grafu sil s použitím strategie HM hrubování bez AFC.....	42
Tab. 10: Parametry grafu sil s použitím strategie HM hrubování s AFC.....	43
Tab. 11: Parametry grafu sil s použitím strategie HM hrubování bez AFC.....	45
Tab. 12: Parametry grafu sil s použitím strategie HM hrubování bez AFC.....	46
Tab. 13: Parametry druhého experimentu .....	47
Tab. 14: Skutečné parametry druhého experimentu.....	49
Tab. 15: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie HM hrubování bez AFC (první vrstva).....	49
Tab. 16: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie HM hrubování s AFC (první vrstva).....	50

Tab. 17: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie HM hrubování bez AFC (pátá vrstva).....	51
Tab. 18: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie HM hrubování s AFC (první vrstva).....	52
Tab. 19: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie HM hrubování bez AFC (devátá vrstva).....	54
Tab. 20: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie HM hrubování s AFC (devátá vrstva).....	55
Tab. 21: Parametry grafu sil $F_x$ strategie HM hrubování z funkce AFC a bez ní.....	56
Tab. 22: Parametry grafu sil $F_y$ strategie HM hrubování z funkce AFC a bez ní.....	57
Tab. 23: Parametry grafu sil $F_y$ strategie HM hrubování z funkce AFC a bez ní.....	58
Tab. 24: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie Lineárního hrubování bez AFC (první vrstva).....	59
Tab. 25: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie Lineárního hrubování s AFC (první vrstva).....	60
Tab. 26: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie Lineárního hrubování bez AFC (pátá vrstva).....	61
Tab. 27: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie Lineárního hrubování s AFC (pátá vrstva).....	62
Tab. 28: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie Lineárního hrubování s AFC (devátá vrstva).....	63
Tab. 29: Parametry grafu sil $F_x$ strategie Lineárního hrubování z funkce AFC a bez ní .....	65
Tab. 30: Parametry grafu sil $F_y$ strategie Lineárního hrubování z funkce AFC a bez ní .....	66
Tab. 31: Parametry grafu sil $F_z$ strategie Lineárního hrubování z funkce AFC a bez ní.....	67
Tab. 32: Shrnutí hrubovacích strategií v tvarové kapse s aktivovanou funkcí AFC.....	70
Tab. 33: Shrnutí hrubovacích strategií v jednoduché kapse s aktivovanou funkcí AFC .....	71

## 1. Úvod a cíl práce

Tato předkládaná diplomová práce je zaměřena na efektivitu obrábění, konkrétně na možnosti hardwarové optimalizace systému Heidenhain iTN530. Společnost HEIDENHAIN nabízí celý balík funkce Dynamická výkonnost, jehož potenciál spočívá v efektivním těžkém obrábění, odebrání co největšího objemu v co nejkratším čase. Tento balík nabízí tři samostatné funkce, které mohou spolupracovat pro zvýšení efektivity procesu obrábění:

- Adaptivní řízení posuvu (AFC): regulace rychlosti posuvu;
- Aktivní potlačení drnčení (ACC): snížení možnosti vzniku drnčení;
- Trochoidní frézování: snížení zatížení nástroje a stroje při hrubování drážek a kapes.

Hlavním záměrem této práce je zkoumání hlubších možností funkce AFC prostřednictvím testování a srovnání různých hrubovacích strategií obrábění při implementaci této funkce.

Vyzkoušení možností optimalizace bude prováděna na obráběcí stroji DMU 40 eVo od společnosti DMG Mori, který má zakoupený balík hardwarových funkcí Dynamická výkonnost.

### Cíle práce:

- Prozkoumání různých možností hardwarové optimalizace na systému Heidenhain iTNC530;
- Prozkoumání hlubších možností funkce AFC;
- Vyzkoušení a porovnání různých hrubovacích strategií z funkce AFC.

Řešení této problematiky se bude skládat ze dvou částí. V první části bude proveden rozbor současného stavu, který navazuje na diplomovou práci Jakuba Sedláka z roku 2021, jejímž hlavním cílem bylo pochopení principu fungování funkce AFC, její aktivace a následná praktická analýza nastavení této funkce. Poté do této části budou zahrnuty další možnosti hardwarové optimalizace systému Heidenhain iTNC530, konkrétně balíku Dynamická výkonnost. Na základě provedeného rozboru budou navrženy další experimenty, které prakticky prozkoumají možnosti funkce AFC.

Ve druhé části práce budou prováděny experimenty ve výrobním prostoru zaměřené na hlubší zkoumání funkce adaptivního řízení posuvu (AFC). Tato část bude rozdělena do dvou experimentálních fází. První fáze se zaměří na správné nastavení a praktické vyzkoušení funkce AFC na jednoduchých tvarech, zatímco druhá část se bude věnovat testování funkce při obrábění složitých tvarů, například tvarové kapsy. V průběhu experimentu budou současně sledovány síly působící na obrobek, zatížení vřetene, změny rychlosti posuvu a vliv, který má funkce na proces optimalizace.

V samotném závěru práce budou na základě výsledků experimentů posouzeny vhodnosti použití funkce AFC a bude vyhodnocena vhodná strategie hrubování při implementaci této funkce.

## 2. Analýza současného stavu

Před začátkem tvorby samostatné práce je důležité upozornit, že první část práce bude vycházet z již provedených experimentů, jejichž výsledků, manuálu výrobce softwaru a zpracování řešerše dané problematiky.

Cílem analýzy současného stavu v této diplomové práci je prozkoumání různých možností hardwarové optimalizace na systému Heidenhain iTNC530. Tato práce zároveň navazuje na výsledky a metodiku řešení diplomové práce studenta Jakuba Sedláka z akademického roku

2021/2022. Po podrobné analýze zmíněné práce pana Sedláka a provedení rešerše bylo zjištěno že společnost HEIDENHAIN nabízí balík inovativních optimalizačních funkcí Dynamická výkonnost.

## 2.1 Balík funkce Dynamická výkonnost

Dodavatelé softwarového balíku dynamická výkonnost kombinují důležité funkce TNC interpolačních kontrol s optimalizačními funkcemi tohoto balíku s cílem zrychlit a zefektivnit výrobní proces. Hlavním cílem tohoto balíku je spojení řídicích funkcí s inteligentními strategiemi obrábění za účelem dosažení maximálního zvýšení rychlosti odstraňování materiálu v co nejkratším čase.

Balík funkce dynamická výkonnost má za úkol zvýšit efektivitu hrubování při vysokém zatížení, což znamená, že složky řezného procesu dosahují na meze možností. Balík zahrnuje obrábění těžko obrobitelných materiálů jako jsou slitiny titanu, nerezová ocel, kyselinovzdorné oceli, žáruvzdorné oceli a jiné materiály na bázi niklu a mnoho dalších materiálů, které se pro své specifické vlastnosti používají při výrobě nástrojů. Dále se využívají při výrobě forem, v leteckém a lékařském průmyslu a také v energetice. [1,8].

Podmínkou tohoto typu vysokovýkonného obrábění je důležitý dobře zavedený systém řízení procesů. Tím je možné získat vysoce kvalitní a konkurenceschopný produkt při výrobě s vysokým zatížením. Také je při těžkém obrábění nezbytným parametrem ekonomičnost výroby. Při procesu obrábění se vyskytují síly, které působí na stroj a nástroj a jsou extrémně vysokého zatížení. Toto zatížení se může projevit jako buzené vibrace, které vznikají během procesu obrábění. Hlavním záměrem je proto také optimalizovat objem odebraného materiálu za jednotku času, maximalizovat trvanlivost nástroje a minimalizovat zatížení stroje.

Je důležité nezapomínat, že se jedná se o softwarových funkcí a není tak potřeba zasahovat do mechanické části stroje. Dynamická výkonnost pomáhá zvýšit řezný výkon a zkrátit čas obrábění s pomocí analýzy dat při procesu obrábění a optimalizace kódu programu.

Dynamická výkonnost obsahuje tři TNC funkce [8]:

- **Aktivní potlačení drnčení (ACC):** Tato funkce snižuje tendenci k drnčení a umožňuje větší pracovní posuvy;
- **Adaptivní řízení posuvu (AFC):** Tato funkce reguluje posuv v závislosti na situaci o brábění;
- **Trochoidální frézování:** Funkce pro hrubování drážek a kapes, která snižuje zatížení nástroje i stroje.

Výrobce deklaruje, že nejlepší variantou je kombinace těchto funkcí, přestože každá nabízená funkce může samostatně přinášet výhody při procesu obrábění a být zapnuta nezávisle na ostatních. [8]

### 2.1.1 Funkce Aktivního potlačení drnčení (ACC)

Hlavním účelem funkce ACC je utlumení drnčení, která vzniká působením velkých frézovacích sil v průběhu procesu hrubování. Drnčení je výrazem pro dynamickou nestabilitu řezného procesu způsobeného vibracemi během obrábění. [8]. V procesu hrubování materiálu vznikají velké řezné síly, které způsobují vznik vibrací mezi nástrojem a obrokem. Následkem těchto vibrací vzniká procesem obrábění energie ve formě tření, které se následně změní na teplo. V tuto chvíli se vibrace násobí a dojde ke vzniku drnčení. Drnčení ovlivňují otáčky vřetena, rezonanční vlastnosti stroje a řezný výkon. Na stroj a nástroj má drnčení negativní vliv kvůli vysokým zatížením, které jsou považovány za jeden z faktorů omezující úběr materiálu.



Drnčení může ohrozit kvalitu procesu obrábění tím, že dochází k nekontrolovanému opotřebení břitů a ovlivnění kvality povrchu. Důležité je mít na paměti, že ani za dostatečné pevnosti nástroje ani výkonu vřetena, se drnčení nelze vyhnout. Protože drnčení je výsledkem samobuzených vibrací, frekvence vibrací je vždy blízká vlastní frekvenci stroje.

Funkce aktivního potlačení drnčení (ACC) od společnosti Heidenhain má za hlavní úkol potlačení sklonu stroje k drnčení. Funkce ACC používá potlačení vibrací, aby se zvýšila rychlost řezání. Při vyšších rychlostech se však může objevit efekt drnčení. Při výkonovém obrábění je funkce ACC obzvláště účinná:

- Výrazně lepší řezný výkon;
- Vyšší úběr materiálu (až o 25 % a více);
- Menší síly působící na nástroj a tím jeho vyšší životnost;
- Menší zatížení stroje;
- Vyšší spolehlivost procesu.

[8]

Pro názornou ukázkou funkčnosti funkce ACC je jednou z variant vyzkoušení obrábění se zapnutou funkcí ACC (obr. X) a bez ní (obr. Y). Pro zachování správnosti je při obou variantách hloubka řezu i posuvová rychlost stejná. Na obr.1 probíhalo obrábění bez funkce ACC. Jsou zde patrné stopy drnčení, které mají vliv na kvalitu obráběného povrchu. Vliv zapnuté funkce ACC je možné spatřit na obr.1, kde je jasně vidět, že na povrchu obráběném s použitím ACC již nejsou patrné stopy vibrací. Proces obrábění při zapnuté funkci probíhá se sníženým zatížením na nástroj a stroj.



Obr. 1: Frézování bez zapnuté funkce ACC (vlevo), frézování se zapnutou funkcí ACC (vpravo) [8]

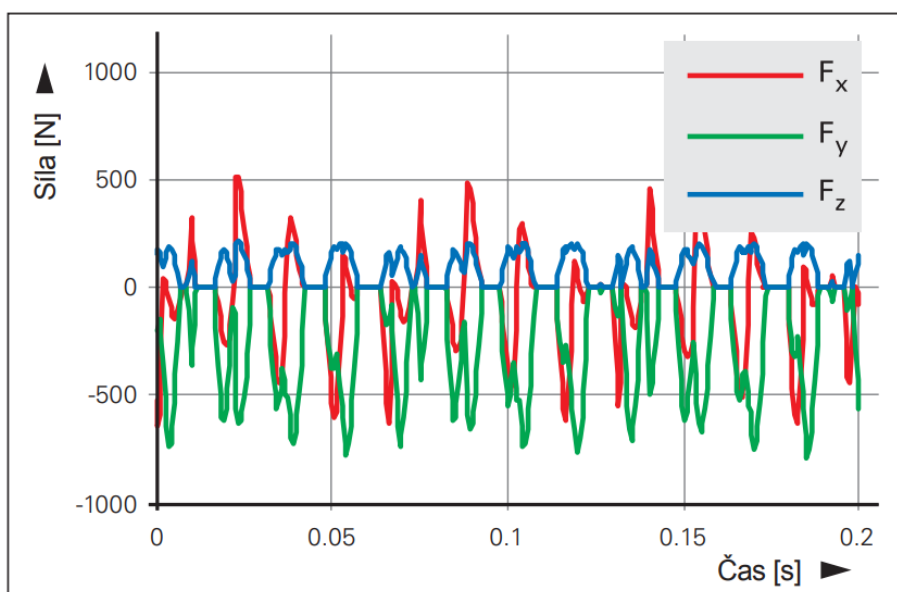
### 2.1.1.1 Provozní princip funkce ACC

Funkce aktivního útlumu drnčení je zcela softwarovou funkcí nevyžadující nulovou zásahu do mechanické části stroje. Pro zachování funkčnosti a odčerpání energie vibrací nejsou potřeba další speciální zařízení, jako jsou snímače či akční členy. Toto je dáno tím, že jsou pro měření signálů pohonu použity pohony posuvu stroje, na kterém probíhá obrábění. Za pomoci funkce ACC je pak zcela možné drnčení omezit.

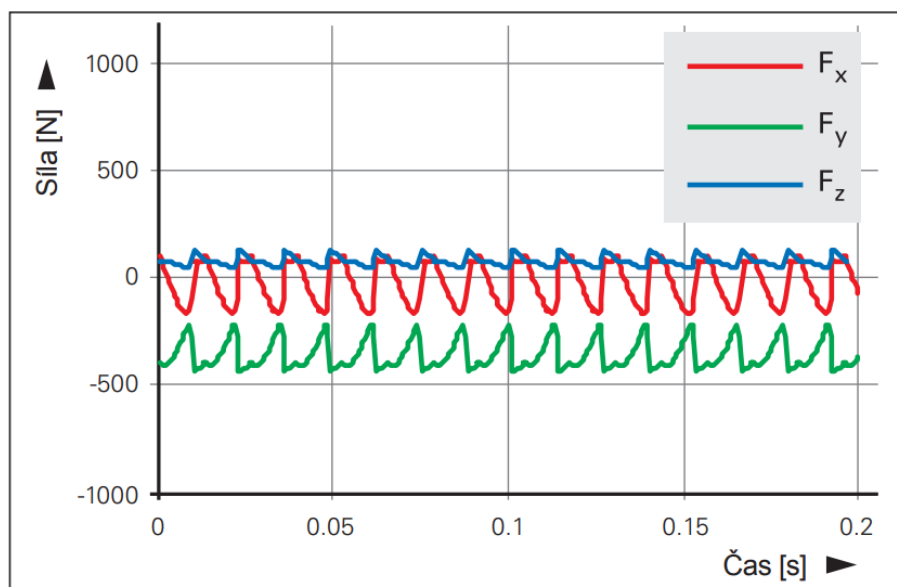
Pohony posuvu mohou odvádět vibrační energii pouze ve frekvenčním rozsahu do 100 Hz. Tlumení vibrací vyšších frekvencí nebude dostatečně provedeno. V některých případech také nelze utlumit vibrace pod 100 Hz, protože jsou omezeny nástrojem a pohon působí na stůl [8].

V praxi, před zavedením funkce do provozu, výrobcem softwaru, bylo při využití různých řezných nástrojů vyzkoušeno frézování velkého množství odlišných materiálů. Výsledkem těchto zkoušek byla prokázána možnost zvýšení úběru materiálu, především v případech, kdy bylo drnění omezujícím faktorem. Utlumení drnění zvyšuje provozní životnost stroje a nástroje, protože síly působící na nich jsou významně menší [8,9].

Využití funkce aktivního potlačení drnění je patrné na příkladu měření působících řezných sil při obrábění konvenčním způsobem a obrábění se zapnutou funkcí ACC. Na obr.2 je viditelné měření působících sil při konvenčním obrábění během drnění. V porovnání s obr.3, kde byla zapnuta funkce ACC, je patrné, že řezné síly jsou zde značně menší. Prevence drnění prokázala možnost zvýšení úběru materiálu, prodloužení životnosti nástroje a také má příznivý vliv na životnost součástí stroje (hlavní vřeteno, vedení, kuličkové šrouby a ložiska). [8,9]



Obr. 2: Řezné síly během drnění při konvenčním způsobu obrábění [8]



Obr. 3: Řezné síly s zapnutou funkcí ACC [8]

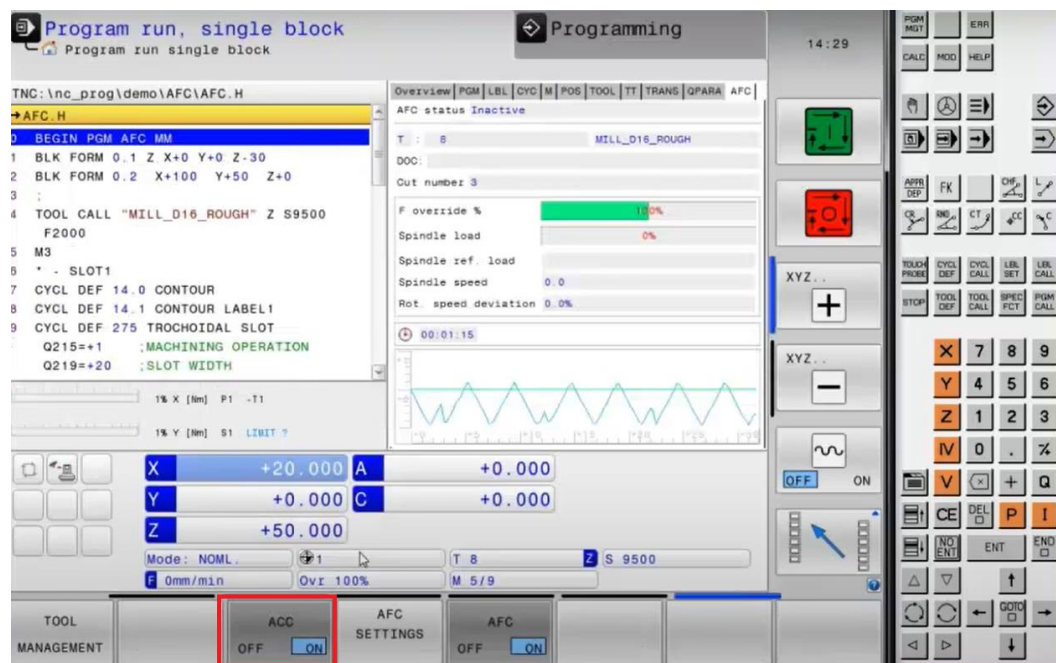
### 2.1.1.2 Aktivace funkce ACC

Je nutné si uvědomit, že funkce aktivního potlačení drnčení byla navržena speciálně pro výkonné obrábění a v této oblasti se prokázala jako velmi efektivní. Pro tento způsob obrábění je důležité vždycky líp dávat větší pozor na výběr nástrojů pro obrábění. Pro dosažení maximální efektivity utlumení drnčení, dovoluje funkce ACC nastavit pro každý nástroj samostatné parametry. Tyto parametry jsou konfigurovány s ohledem na geometrii nástroje, která má vliv na řezné síly, čímž je ovlivněna charakteristika vibrační následného drnčení. Při výměně nástroje jsou parametry automaticky přepnuty s ohledem na příslušný nástroj. [8]

Pro úspěšnou aktivaci funkce ACC je třeba provést následující kroky [9]:

- Nastavit pro příslušný nástroj v tabulce nástrojů TOOL.T sloupec ACC na Y;
- Definovat pro příslušný nástroj počet břitů v tabulce nástrojů TOOL.T sloupec CUT;
- Vřeteno musí být zapnuté;
- Frekvence zabírání zubů musí být v rozsahu mezi 20 až 150 Hz.

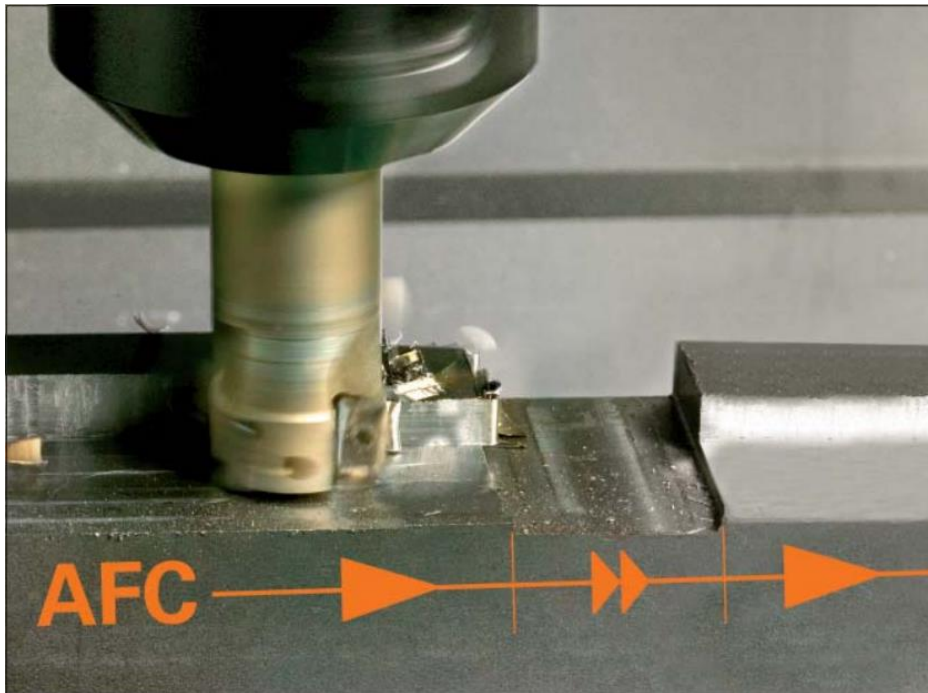
Následnou aktivaci a deaktivaci funkce ACC pro provoz zapíná uživatel prostým stiskem softwarového tlačítka. (Obr. 4).



Obr. 4: Aktivace funkce ACC [10]

### 2.1.2 Funkce Adaptivního řízení posuvu (AFC)

Hlavním účelem funkce AFC je zvyšování nebo snižování posuvové rychlosti tak, aby proces obrábění pro funkci frézování probíhal při optimálních řezných podmínkách. Na obr. 5 lze vidět, jak funkce AFC upravuje rychlost posuvu řezným podmínkám.



**Obr. 5: Změna rychlosti posuvu při použití funkce AFC [8]**

Rychlost posuvu přizpůsobuje především v závislosti na obráběném materiálu, rezném nástroji a tloušťce odebírané vrstvy. Při běžném frézování tato rychlost posuvu zůstává stejná a nemění se ani při změně ovlivňujících faktorů, jako je například kolísání tloušťky odebírané vrstvy, opotřebení nástroje nebo tvrdost materiálu. Proto, aby se optimalizoval proces obrábění a zkrátila se celková doba obrábění, je možné využít funkce adaptivního řízení posuvu (AFC) od společnosti HEIDENHAIN.

Pro dosažení větší efektivity procesu obrábění zajišťuje funkce AFC maximální možnou rychlost posuvu během celé doby obrábění. Aby bylo možné dosáhnout optimálních podmínek, systém monitoruje výkon vřetena a další parametry působící na vřeteno.

#### **2.1.2.1 Uvedení do praktických možností funkce AFC**

Jak bylo již zmíněno dříve, tato diplomová práce navazuje na výsledky a metodiku řešení diplomové práce studenta Jakuba Sedláka z akademického roku 2021/2022.[11]. Byla provedena podrobná analýza jeho práce, na jejíž základě lze pochopit základní princip a fungování funkce AFC neboli adaptivního řízení posuvu na systému Heidenhain iTNC530. Poznatky z práce pana Sedláka budou využity pro počáteční uvedení do problematiky a jako opěrný bod při nastavování funkce AFC pro budoucí experimenty. V této kapitole budou nejdůležitější poznatky ve zkratce rozebrány.

Předmětem zkoumání Sedlákoví práce byl vliv různých nastavení funkce na průběh obrábění a závislost obrábění na hodnotách zadaných při spuštění programu s funkcí AFC. Také byly probrány principy adaptivního řízení, jejichž analýzou bylo zjištěno, že modul AFC, který je součástí balíčku dynamic efficiency od Heidenhain iTNC530, pracuje na principu limitního adaptačního systému. Bylo zjištěno, že pro zavedení funkce do provozu je potřeba vědět minimální a maximální hodnoty, mezi kterými systém udržuje sledované parametry.

Pro zajištění správného fungování stroje se spuštěnou funkcí AFC je nutné vepsat bloky kódu funkce AFC přímo do kódu NC programu. Tyto bloky označují počátek a konec účinnosti potřebné funkce a dá se jimi nastavit rozsah působení adaptačního řízení posuvu a určení referenčních hodnot. Toto nastavení je však možné provést pouze na stroji se zakoupeným

balíkem Dynamická výkonnost. Řídicí systém má za úkol sběr informací o průběhu obrábění a stavu stroje. Tyto informace jsou zobrazeny obsluze na obrazovce stroje a dle analýzy dat je možné program dále upravit a tím zajistit požadované výstupy. Funkce AFC je implementována do řídicího systému a na základě získaných informací řídicím systémem, může plnit své funkce.

Sedláková práce zahrnovala experimenty, které obsahovaly jednoduché obráběcí strategie, na kterých byly vidět změny způsobené nastavením funkce AFC. Pro realizaci experimentu byl využíván stroj DMU 40 eVo od výrobce DMG MORI s řídicím systémem Heidenhain iTNC530. Stejný stroj bude používán při provádění experimentu této diplomové práci. Technické údaje stroje jsou popsány v dalších kapitolách.

Pro sledování změn parametrů v průběhu procesu obrábění umožňuje software evaluační tabulku. Do té systém ukládá změřené hodnoty během procesu obrábění od momentu, kdy se funkce učí a nastavuje, až do momentu poslední dráhy se zapnutou funkcí AFC. S pomocí této tabulky jsou v průběhu pozorovány změny parametrů, aby bylo možné vyhodnotit efektivnost užití funkce Adaptivního řízení posuvu.

```
<<File: SEDLAK.H.AFC2.DEP
NR      IDX SNOM  SDIFF CTIME   FAVG FMIN   PMAX  PREF  OVLD BLOCK
0       0      3501   0.1  00:00:40  116  81    11.7  11.7  --   35
1                               total 00:00:40  14%  saved
(END)
```

Obr. 6: Evaluační tabulka [10]

**NR** – číslo obráběcího úseku

**IDX** – index nástroje, který prováděl daný obráběcí úsek

**SNOM** – cílové otáčky vřetena

**SDIF** – maximální rozdíl otáček vřetena od cílových otáček. Vyjadřuje se v procentech.

**LTIME** – doba obrábění zkušebnímu řezu

**CTIME** – doba obrábění regulovaného řezu

**TDIFF** – časový rozdíl LTIME a CTIME. Vyjadřuje se v procentech

**PMAX** – maximální výkon vřetena, kterého bylo dosaženo při obrábění. V tabulce je vyjádřena v procentech vztažených ke jmenovitému výkonu vřetena

**PREF** – referenční zátěž vřetena vyjádřena v procentech vztažených ke jmenovitému výkonu vřetena

**OVLD** – reakce systému při přetížení, pokud taková situace nastala

**M** – spuštění makra definovaného výrobcem stroje

**S** – okamžitý NC-stop

**F** – NC- stop po odjetí nástroje

**E** – zobrazeno pouze chybové hlášení

**'-'** – neprovedena žádná akce

**BLOCK** – číslo bloku kde začíná obrábění regulované AFC

[10]

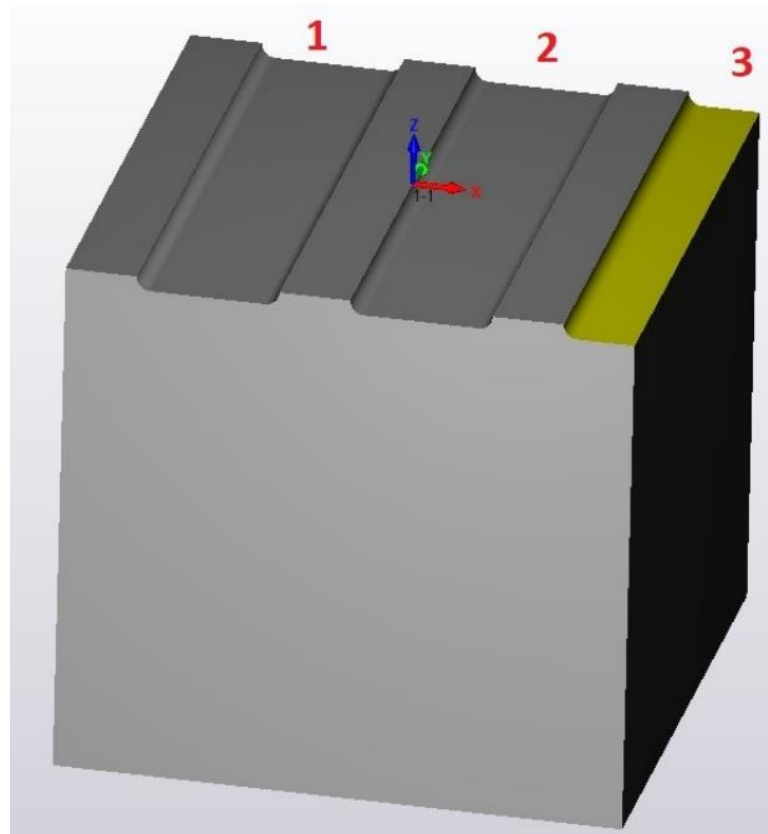


První experiment byl proveden pro zprovoznění a prvotní nastavení funkce AFC. Jako materiál obrobku byla vybraná ocel 10 700. Nástrojem pro obrábění byla fréza PR20 r2z3.

Pro vyzkoušení funkce byli zvolené tři drážky (Obr.7):

- Na první drážce „teach-in“ bylo zjištěno pracovní zatížení vřetena;
- Na druhé, kontrolní drážce, byla kontrolována správnost spuštění funkce AFC. Je nutné zdůraznit, že tato drážka měla stejné parametry jako předchozí a byla vytvořena pro kontrolu změny posuvové rychlosti;
- Na třetí drážce byly jiné rozměry, aby bylo zjištěno chování systému při odlišném zatížení.

V průběhu experimentu byly několikrát měněny strategie a řezné podmínky. Důvodem změn bylo pochopení chování funkce, aby se automaticky měnil posuv a tím by bylo dosaženo úspory času. Pro dosažení cíle bylo provedeno deset testů, v jednom z nich byl parametr průměrné posuvové rychlosti zvýšen na 119 %, čímž bylo dosaženo úspory času o 14 % (Obr. 6). Výsledkem bylo zjištění potřebných podmínek a nastavení pro správné fungování funkce adaptivního řízení posuvu.

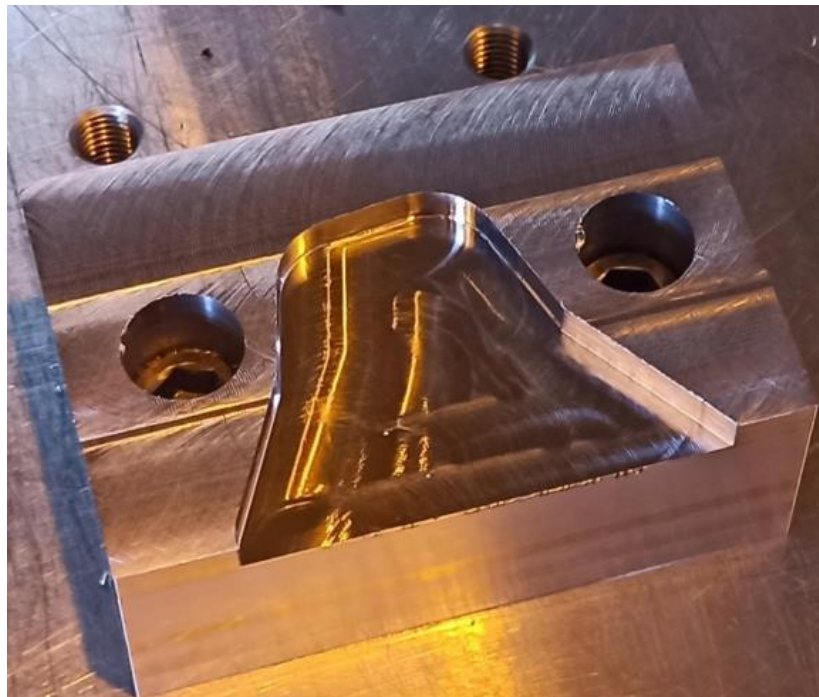


**Obr. 7: Model obrobku pro první experiment [11]**

Druhý experiment byl opět realizován strojem DMU 40 eVo a bylo provedeno porovnání působících sil na obrobek při zapnuté a vypnuté funkci AFC. Pro měření působících sil byl použit obrobkový dynamometr Kistler 9255C. Materiálem obrobku byla vybraná ocel 12 050. Nástrojem pro obrábění byla fréza PR20 r0,8z4.

Experiment byl rozdělen na dvě části s ohledem na tvar obráběného povrchu. V první části, byla strategie obrábění převzata z předchozího experimentu (Obr.7) s drobnými úpravami rozměru polotovaru a umístěním drážek. Druhá část byla vytvořena pro zjištění chování funkce při změnách směru obrábění, a proto byla zvolena jednoduchá kapsa (Obr.8). Aby došlo k většímu zatížení vřetena, v průběhu experimentu byla měněna tloušťka odřezávané vrstvy.

Při provedení tohoto experimentu bylo zjištěno, že stroj při použití funkce AFC dosahuje vyšších posuvových rychlostí mimo materiál, a to kvůli navýšení extrému působících sil a točivých momentů. Další důležitý parametr, který má vliv na trvanlivost nástroje a stroje, je reakce stroje. Při vnikání nástroje do materiálu docházelo k navýšení působících sil, což dokazovalo, že nástroj je tlačěn do obrobku zbytečnou silou. Výsledkem tak byla výrazná úspora času při použití funkce AFC na složitějších tvarech obrobku.

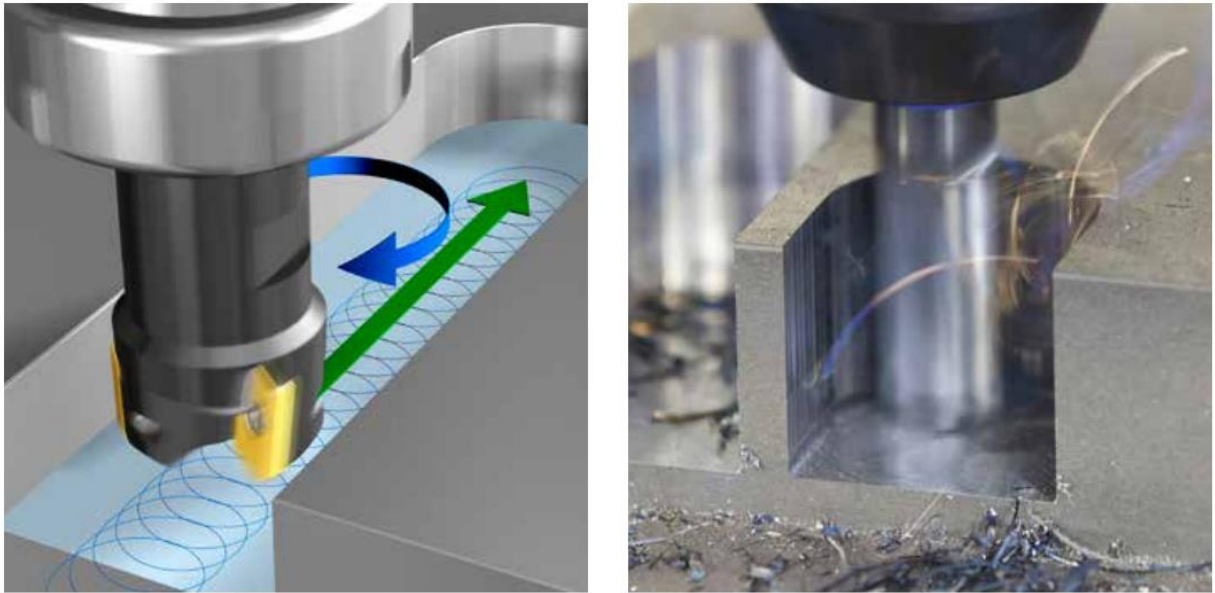


**Obr. 8: Model obrobku pro provedení druhého experimentu [11]**

Na základě prozkoumání diplomové práce pana Sedláka a provedení další rešerše budou navrženy další experimenty s funkcí AFC, pro vyzkoušení a ověření dalších možností a chování funkce při obrábění složitějších tvaru obrobku, konkrétně hrubování tvarových kapes.

### **2.1.3 Trochoidální frézování**

Předností metody trochoidálního frézování je kompletní obrábění libovolné drážky způsobem, který snižuje působící síly na stroj a nástroj. Cyklus superponuje kruhový pohyb nástroje na lineární pohyb (přímý dopředný pohyb). Kvůli kruhovému pohybu působí menší radiální síly na nástroj, čím značně snižuje mechanické zatížení stroje a jeho vibrace. Pro realizaci je možné využít stopkovou frézu, která umožní odběr materiálu po celé délce břitu a tím i docílí rovnoměrného opotřebení a větší životnosti nástroje. Obrábění materiálu tímto způsobem umožňuje pracovat s větší hloubkou řezu s vyšší řeznou rychlostí. Metodou trochoidního frézování je ve většině případů možné dosáhnout větší obrobitelnosti a většího objemu třísek na břit. To je to dáno tím, že umožňuje používat celou pracovní délku řezného nástroje. [8],[9]



**Obr. 9: Rychlý úběr materiálu – při trochoidním frézování je kruhový pohyb superponován na lineární posuv. [8]**

V závislosti na volbě parametrů cyklu jsou k dispozici následující možnosti zpracování [9]:

- Kompletní obrábění: Hrubování, obrábění stěny načisto;
- Pouze hrubování;
- Pouze dokončení stěn.

K výhodám funkce patří [9]:

- Možnost obrábění na celou pracovní délku řezného nástroje;
- Vyšší úběr materiálu;
- Snížení mechanického zatížení stroje a nástroje;
- Snížení vibrace;
- Integrované dokončování stěn.

#### **2.1.4 Kombinace funkce balíku Dynamická výkonnost**

Společnost Heidenhain nabízí tři inovativní TNC funkce, které mají za úkol zvýšit efektivitu těžkého obrábění. Každá z těchto funkcí je softwarová a není tak potřeba přidávat žádné doplňující části stroje. S pomocí každé z nabízených funkcí je možné dosáhnout optimalizace procesu obrábění tím, že se zvýší úběr materiálu, životnost nástroje a zároveň se sníží zatížení stroje. Tyto funkce sami o sobě zlepšují proces obrábění, ale současně společnost Heidenhain doporučuje využívat kombinace těchto funkcí pro dosažení maximální efektivity využití balíku.

Při kombinaci funkcí Aktivního potlačení drnčení (ACC), Adaptivního řízení posuvu (AFC) a Trochoidního frézování je možné dosáhnout vyššího úběru materiálu, čímž lze dosáhnout enormní úspory času.

Při kombinaci funkcí Adaptivního řízení posuvu (AFC) a Trochoidního frézování lze docílit mimořádných časových úspor.

Při kombinaci funkcí Aktivního potlačení drnčení (ACC) a Trochoidního frézování výrobci garantují snížení opotřebení nástroje a tím i zvětšení provozní životnosti nástroje.



## 2.2 Systém Heidenhain iTNC530 a balík Dynamická výkonnost

Důležitou funkcí systému Heidenhain iTNC530 je schopnost nahrání hotového, vytvořeného NC kódu za pomoci CAM softwarového programu a dále možnost libovolné opravy před začátkem procesu obrábění nebo v jeho průběhu. V případě kombinace vytvořeného programu v jiném prostředí a nabízeného balíku funkce Dynamická výkonnost je nutné přípravu, nastavení a aktivaci provést na stroji ručně. Praktický postup použití bude popsán v následující podkapitole.

Jako většina současných podobných zařízení nabízí pro pohodlné užívání systém Heidenhain iTNC530 obrazovku a ovládací panel. (Obr.10).



Obr. 10: Obrazovka a ovládací panel [12]

### 2.2.1 Praktické využití systému Heidenhain iTNC530 a balíku Dynamická výkonnost

Následující kapitola se zaměřuje na praktické využití systému Heidenhain iTNC530 a zejména na implementaci balíku Dynamická výkonnost. V této části jsou podrobně popsány postupy a klíčové kroky, které je třeba dodržovat při zapnutí, inicializaci a nastavení systému iTNC530 s využitím tohoto balíku. Informace poskytnuté v této kapitole přináší kompletní přehled o správném používání systému Heidenhain iTNC530 a o dosažení optimálních výsledků v rámci obráběcích operací s využitím funkcionality Dynamická výkonnost.

#### Zapnutí a inicializace

Při zapnutí řídicího panelu systému Heidenhain iTNC530 je nutné provést důkladné ověření, zda je vše správně připojeno a připraveno k použití. Po zapnutí je třeba inicializovat systém iTNC pro konkrétní stroj, což zajišťuje, že řídicí systém je synchronizován s fyzickými osami stroje. To obvykle zahrnuje referenční body a provozní módy, které mohou být specifické pro daný stroj.

## Nastavení nástroje

Nastavení nástroje představuje klíčový krok před každou obráběcí operací. Je nezbytné provést správný výběr nástroje na základě materiálu a požadovaného výsledku. Po vybrání nástroje je nezbytné zadat jeho parametry, jako je délka, průměr, úhel a další. Součástí tohoto procesu je také aktivace balíku Dynamická výkonnost, neboť některé funkce vyžadují specifické nastavení parametrů nástroje za účelem dosažení zvýšení efektivity obrábění.

## Spuštění programu

V této části bude popsán postup s použitím funkce adaptivního řízení posuvu (AFC), neboť tento postup byl ověřen v experimentální části této diplomové práce. Před spuštěním programu je potřeba provést následující kroky:

### 1) Nahrání programu

Po vytvoření NC kódu, pokud nebyl manuálně vytvořen přímo na stroji, je potřeba ho nahrát na stroj pomocí externího disku nebo interní sítě. Místo uložení může být libovolné.

### 2) Vytvoření tabulky AFC.TAB.

Je důležité, aby tato tabulka byla uložena v kořenovém adresáři TNC:\, protože jinak funkce AFC nebude schopna správně sčítat parametry tabulky. Pokud byla funkce AFC již na stroji použita, není nutné ukládat novou tabulku, stačí přidat nové strategie.

### 3) Nastavení tabulky AFC.TAB.

Při prvním použití funkce AFC je lepší volbou použití standardních parametrů, které doporučuje výrobce. Při vytvoření tabulky AFC.TAB již budou tyto parametry automaticky vytvořeny (Obr. 11). Při dalších testech je možné vytvořit novou strategii, která umožní zvýšit efektivitu obrábění prostřednictvím využití této funkce.

Soubor: AFC.TAB									
NR	AFC	FMIN	FMAX	FIDL	FENT	OVL	POU	SENS	PLC
0	Standard	70	125	100	80	E	5	100	0

Obr. 11: Standardní nastavení tabulky AFC.TAB [autor]

Modul AFC pracuje na principu limitního adaptivního řízení, což znamená, že sleduje předem stanovené parametry a přizpůsobuje jim parametry rezného procesu. Pro správnou konfiguraci v tabulce AFC.TAB je nutné nastavit následující parametry:

**FMIN** – minimální posuv;

**FMAX** – maximální posuv;

**FIDL** – rychlost posuvu při vjíždění do nebo vyjíždění z materiálu;

**OVL** – hláška o přetížení;

**E** – zobrazení hlásky;

**M** – makro od výrobce;

**S** – NC-stop;

**F** – NC-spot po výjezdu z materiálu;

- – nevykonávat žádné akce;

**POUL** – Výkon vřetene, při kterém má systém rozpoznat výjezd z materiálu, se zadává jako procentuální údaj vzhledem k naučené referenční zátěži vřetene;

**SENS** – rychlost adaptace systému na změnu.

#### 4) Naučení funkce

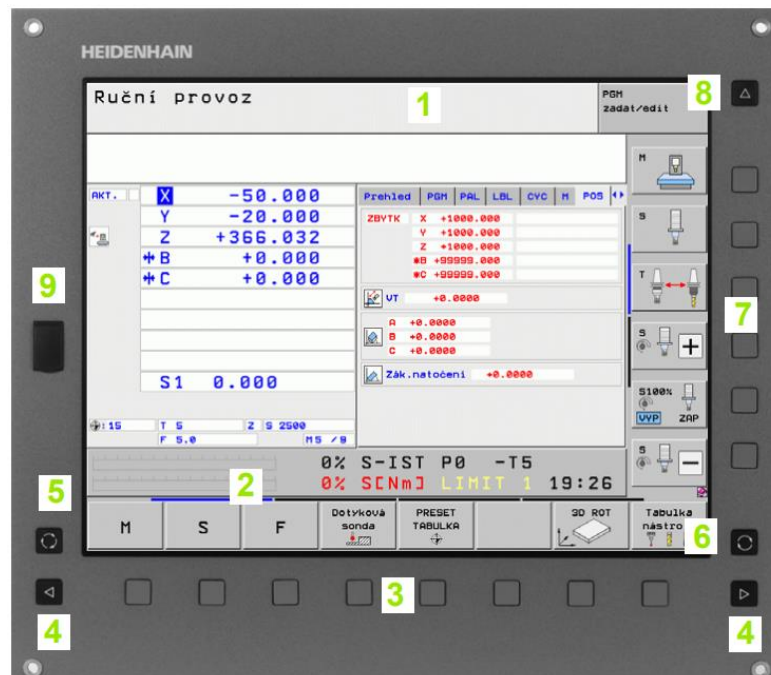
Pro tento účel výrobce navrhuje tři možnosti. První možností je naučení funkce na základě obráběné vzdálenosti. To znamená, že v NC-kódu programu je možné zadat vzdálenost, v průběhu které bude funkce monitorovat zatížení vřetena a na základě toho provádět úpravy rychlostí posuvu při dalším obrábění. Druhou možností je zadání časového úseku, který bude použit pro naučení funkce. Třetí možností je zadání konkrétních částí NC-programu pro naučení. Tento přístup byl využit v rámci experimentu této diplomové práce, kdy se funkce AFC naučila při obrábění drážek na první vrstvě a každá následující vrstva byla obráběna s využitím naučené funkce AFC.

Po provedení tohoto nastavení je možné provádět obrábění s použitím funkce adaptivního řízení posuvu (AFC).

#### Monitorování a úpravy

Systém iTNC poskytuje různé informace, jako je aktuální poloha nástroje, rychlost pohybu nebo hloubka řezu, které slouží k monitorování a kontrole kvality obrábění. V případě potřeby lze provádět úpravy parametrů, například změnou rychlosti, posuvu polohy nebo změnou nástroje, aby se dosáhlo požadovaného výsledku. Při monitorování je také možné sledovat využití funkce z balíku dynamická výkonnost a případně provést úpravy jejích parametrů, aby dosáhlo se vyšší efektivity obrábění. (Obr. 12)

Obsluha může dle své aktuální potřeby nastavovat, rozdělovat obrazovku nebo měnit zobrazované informace přímo na stroji.



Obr. 12: Obrazovka BF 250 [12]

- 1- Záhloví
- 2- Klávesy pro řízení softwarových tlačítek
- 3- Softwarová tlačítka
- 4- Přepínání lišt softtlačítek
- 5- Definování rozdělení obrazovky
- 6- Klávesa pro přepínání zobrazení mezi programovacím a strojním režimem

- 7- Softklávesy pro výběr softtlačítek výrobce stroje
- 8- Přepínání lišt softtlačítek výrobce stroje
- 9- Konektor USB

[12]

### 3. Experimentální část

Prováděné experimenty této diplomové práce jsou založeny na balíku hardwarových optimalizačních funkcí s názvem "Dynamická výkonnost" od společnosti HEIDENHAIN. Cílem experimentů je provést prozkoumání hlubších možností funkce adaptivního řízení posuvu (AFC) prostřednictvím vyzkoušení různých hrubovacích strategií obrábění a následně zhodnotit její vliv na samotný proces obrábění. Tato volba strategií byla provedena s účelem umožnit testování chování funkce AFC a její reakce v rámci jednotlivých strategií a také sledovat, jak se tato funkce bude chovat při změnách směru drah a záběrů. Hlavním cílem je tedy detailně prozkoumat možnosti funkce AFC a posoudit její dopad na celý proces obrábění.

Každá z těchto strategií bude podrobně popsána a provedena srovnání s původní neoptimalizovanou verzí, aby bylo možné identifikovat změny a přínosy, které funkce AFC přináší.

#### 3.1 Příprava experimentů

V této kapitole jsou popsány parametry, které byly zvoleny pro všechny experimenty této práce. Za účelem zajištění konzistence experimentu při testování jednotlivých strategií obrábění bylo rozhodnuto použít identický tvar obrobku, stejný materiál a stejný použitý nástroj. Zároveň tím bude možné se vyhnout dalším faktorům, které by mohly mít nepříznivý vliv na průběh experimentu. Pro získání požadovaných výstupů byl zvolen následující postup:

- Volba materiálu obrobku;
- Volba nástroje;
- Návrh CAD modelu;
- Návrh NC kódu v CAM systému.

##### 3.1.1 Volba materiálu obrobku

Zvolení vhodného materiálu je jeden z nejdůležitějších faktorů, které mohou ovlivnit výsledky experimentů. Pokud je vybrán nevhodný materiál z pohledu získání výsledků s vypovídající hodnotou pro naplnění stanovených cílů, existuje vysoká pravděpodobnost, že sledované parametry pro hodnocení funkčnosti funkce nebudou významné nebo se vůbec neobjeví.

S ohledem na skutečnost, že pan Sedlák v experimentech obráběl ocel 12 050, bylo rozhodnuto zvolit jiný materiál, který by měl odlišné vlastnosti a byl by více přizpůsoben potenciálu balíku dynamická výkonnost z hlediska obrábění těžko obrobitelných materiálů. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto provést analýzu oceli vyšších tříd. Byl hledán materiál s vysokou pevností a tvrdostí, který by splňoval požadované mechanické vlastnosti, aby bylo možné ověřit možnosti obrábění s použitím funkce AFC.

Po provedení rešerší byla zvolena nástrojová ocel 15 třídy. Konkrétně se jedná o ocel 15 142 (nebo také 42CrMo4), což je nízkolegovaná konstrukční ocel, která se často používá v průmyslu při výrobě hřídel, ozubených kol, spojek, převodovek a dalších součástí. Tento materiál obsahuje zhruba 0,42 % uhlíku a další prvky, jako jsou chrom, molybden a mangan. (Tab. 2). Ocel 15 142 je známa pro svou vysokou pevnost, tvrdost a odolnost proti opotřebení.

Tyto vlastnosti lze dále zlepšit tepelným zpracováním, jako je kalení a popouštění, které zvyšuje pevnost a tvrdost.

**Tab. 1: Chemické složení oceli 15 142 [14]**

Značka oceli	Chemické složení v %								Tvrdost ve stavu	
	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni max	P max.	S max.	Žih. na měkko	Zušlechťeném
									HB max.	HRC min.
DIN 42CrMo4	0,38-0,45	0,60-0,90	max. 0,40	0,90-1,20	0,15-0,30		0,035	0,035		
ČSN 15 142	0,38-0,45	0,50-0,80	0,17-0,37	0,90-1,20	0,15-0,30	0,50	0,035	0,035	217	359

Pro náhledné srovnání těchto ocelí v souladu s vyžadovanými podmínkami jsou uvedeny v tabulce č. 2.

**Tab. 2: Vlastnosti oceli 15 142 a 12 050 [14]**

Vlastnost	Ocel 15 142	Ocel 12 050
Mez kluzu	900-1100 MPa	370-630 MPa
Mez pevnosti	1050-1250 MPa	630-780 MPa
Tažnost	10-15 %	14-22 %
Tvrdost	197-241 HB	170-210 HB
Modul pružnosti v tahu	190-210 GPa	190-210 GPa
Modul pružnosti ve smyku	80-90 GPa	80-90 GPa
Obrobitelnost	Těžko obrobitelná	Snadno obrobitelná

### 3.1.2 Volba nástroje

Výběr správného nástroje pro frézování závisí na mnoha faktorech, jako je například materiál, tvar, požadovaný povrch nebo produktivita. Pro účely této práce je důležité zvolit takový nástroj, který bude vyhovovat podmínkám použité funkce, obráběného materiálu a velkému zatížení.

Pro účely následujících experimentů byla pečlivě vybrána fréza D20 z3 r2 od výrobce OSG Corporation. Tato volba nástroje byla založena na doporučeních výrobce v rámci balíku dynamické výkonnosti, která zdůrazňuje výhody použití nástrojů s větším průměrem, minimálně od 6 mm. Dále byla zohledněna také předchozí úspěšná experimentální použití nástroje průměrem 20 mm, provedeného panem Sedlákem z funkce AFC. Důvodem volby bylo udržení konzistence v experimentech a zajištění možnosti srovnávání výsledků.

Fréza D20 z3 r2 je známá svou univerzálností a schopností přizpůsobit se různým experimentálním podmínkám. V průmyslovém sektoru je tento nástroj často využíván a již byl úspěšně testován na širokém spektru součástek.

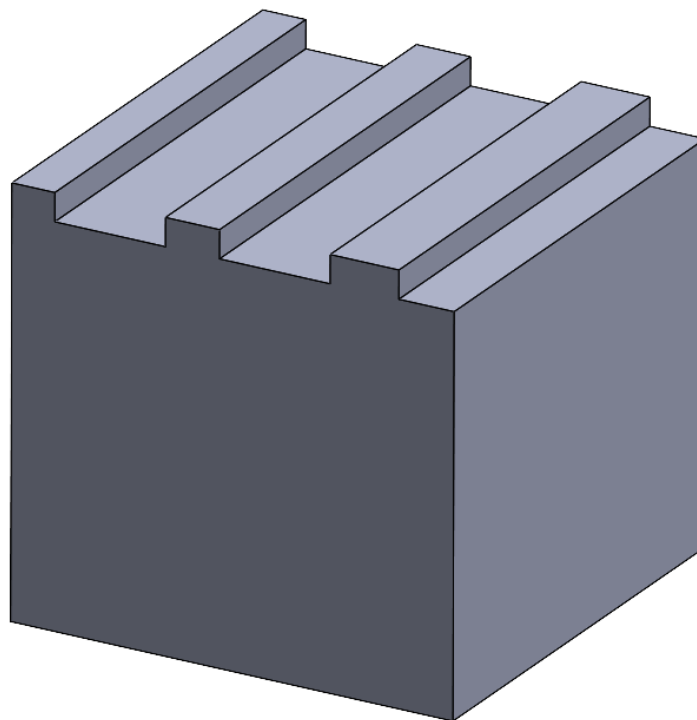
### 3.1.3 Návrh CAD modelu

Pro vytvoření NC kódu v CAM softwaru je nezbytné mít k dispozici CAD model obrobku. Byl zvolen software SolidWorks, který je standardně používán na univerzitní úrovni. Nejvýznamnějším faktorem výběru bylo také to, že modul SolidCAM disponuje vytvořeným postprocesorem pro stroj DMU 40 eVo, na kterém budou probíhat experimenty s tímto výrobním postupem.

V této kapitole jsou popsány tři modely, které byly vytvořeny v souladu s požadavky pro experimenty.

#### 3.1.3.1 Návrh CAD modelu pro nastavení funkce AFC

Před začátkem obrábění pomocí funkce AFC je nezbytné provést ověření, nastavení a případné úpravy této funkce v souladu s požadavky daného materiálu a konkrétních podmínek experimentu. Proto bylo rozhodnuto použít stejnou strategii, jaká byla použita při prvním testování funkce AFC Jakubem Sedlákem, a vytvořit 3D model s podobným tvarem. (Obr.13). Šířka drážek je volena s ohledem na dosažení maximálního zatížení nástroje při obrábění celým průměrem, který činí 20 mm. Rozměr polotovaru byl zvolen 80x80x60 mm.

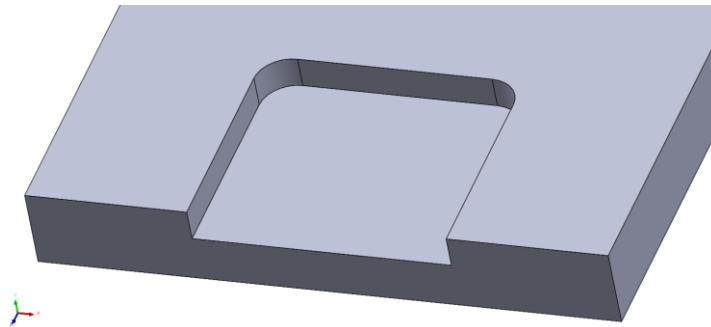


Obr. 13: Model obrobku pro otestování funkce AFC [autor]

#### 3.1.3.2 Návrh CAD modelu pro experimenty z funkce AFC

V této části byly pro potřeby experimentální části této diplomové práce vytvořeny dva 3D modely, kde budou otestovány dvě různé strategie hrubování na kapsách různé složitosti. Pro tyto účely byl zvolen rozměr polotovaru o velikosti 180x180x25 mm s předpokladem, že budou měřeny působící síly pomocí dynamometru. V podkapitole 3.2.2.2. je uveden návrh upnutí.

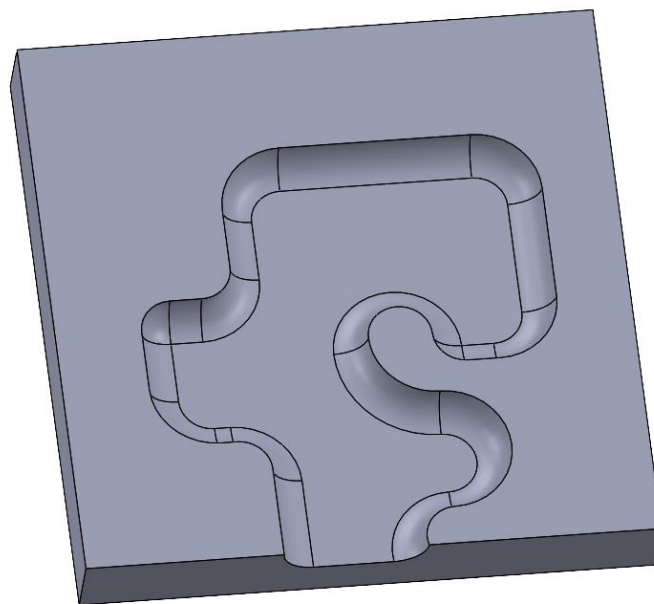
V diplomové práci pana Sedláka byla jako předmět zkoumání zvolena jednoduchá kapsa. Cílem tohoto výzkumu bylo analyzovat chování funkce AFC při obrábění nekomplikovaných tvarů. Vzhledem k tomu, že pan Sedlák při obrábění používal jinou strategii, bylo rozhodnuto vytvořit také jednoduchou kapsu pro prvotní praktické vyzkoušení funkce AFC (Obr. 14).



**Obr. 14: Model obrobku jednoduché kapsy [autor]**

Navržený 3D model byl zvolen s ohledem na již získané poznatky o chování funkce AFC při obrábění jednoduché kapsy. Konečná varianta byla zvolena ve tvaru kapsy (Obr. 15), která obsahuje dostatečné množství složitých tvarů, změn směrů, rádiusů a šířky odřezávané vrstvy, aby bylo možné prozkoumat hlubší možnosti této funkce.

Rozměr polotovaru byl zvolen 180x180x25 mm.



**Obr. 15: Model obrobku tvarové kapsy [autor]**

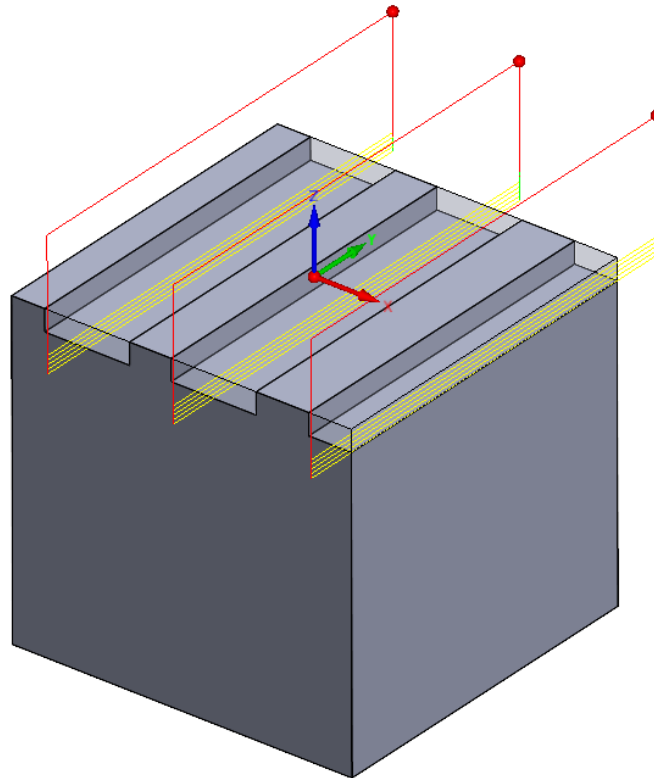
### 3.1.4 Návrh NC kódu

Pro zajištění konzistence a kompatibility mezi modelováním a tvorbou NC kódu je ideálním řešením integrovaný modul SolidCAM, který je součástí SolidWorks.

V rámci diplomové práce jsou zejména relevantní dvě hrubovací strategie: "HM hrubování" a "Lineární hrubování". Tyto strategie umožňují efektivní odstraňování materiálu s důrazem na minimalizaci času obrábění a dosažení kvalitní povrchové úpravy.

### 3.1.4.1 Návrh NC kódu pro nastavení funkce AFC

Pro vytvoření programu pro 3D model (Obr.13) byla zvolena strategie "Kontura". SolidCAM obsahuje simulační modul (Obr.16), který umožňuje kontrolu nad obráběcími operacemi ještě před spuštěním programu na CNC stroji. Řezné podmínky a hloubka řezu mohou být upravovány přímo na stroji v průběhu experimentu podle potřeby



Obr. 16: Simulace drah nástroje pro otestování funkce AFC [autor]

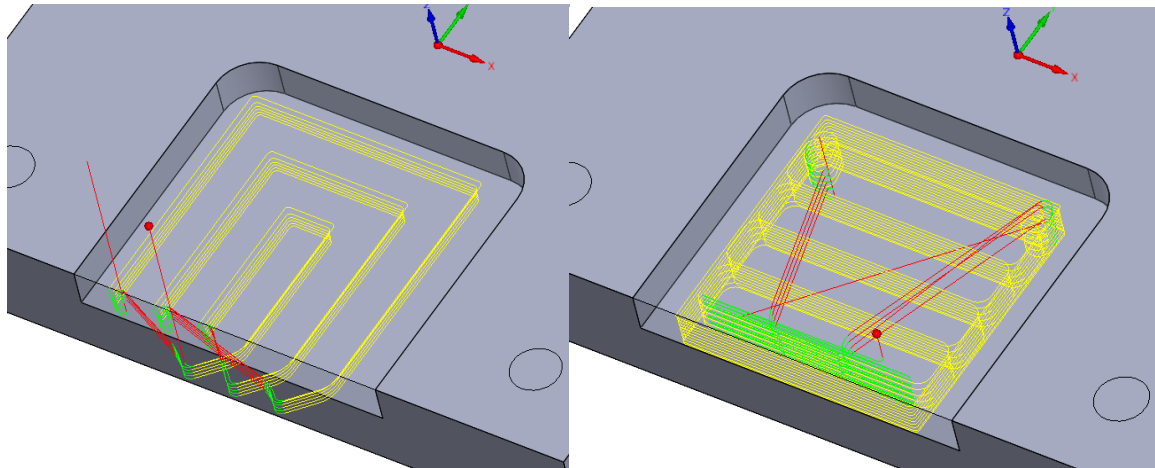
Program je uveden v Příloze 1.

### 3.1.4.2 Návrh NC kódu pro experimenty z funkce AFC

Při programování kapsy v experimentech Jakuba Sedláka s využitím funkce AFC byla použita strategie "Kapsa". [11]. V této práci budou pro programování kapes využity strategie "HM hrubování" a "Lineární hrubování". Mezi výhody těchto strategií patří snížení počtu přejezdů rychloposuvem, automatická optimalizace drah nástroje a možnost obrábění s větším bočním krokem nástroje. [15]

Na obr.17 je vidět simulace trajektorie dráhy nástroje při vytvoření programu pro jednoduchou kapsu (Obr.14) s použitím hrubovacích strategií "HM hrubování" a "Lineární hrubování".

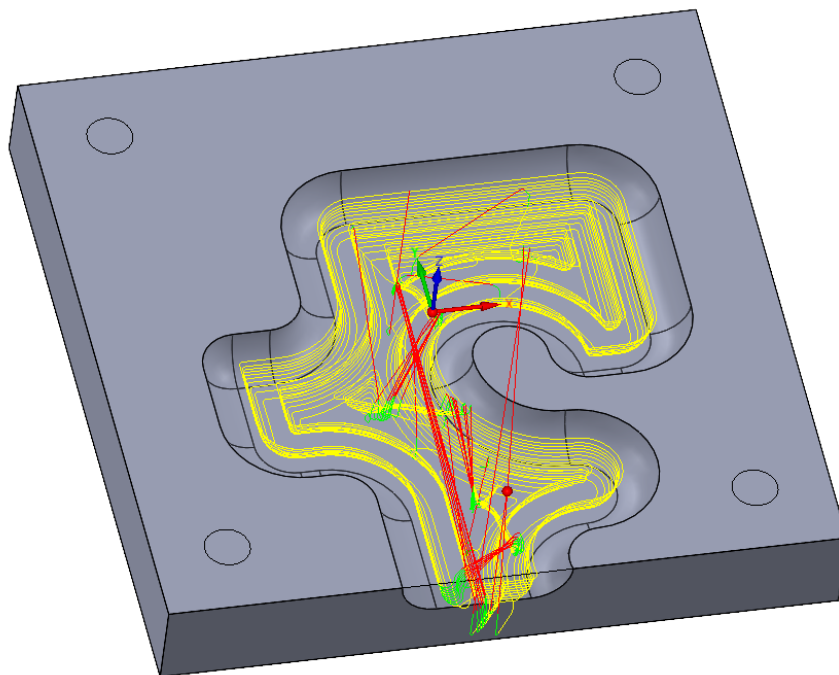




**Obr. 17: Simulace drah nástroje pro jednoduchou kapsu s použitím strategie "HM hrubování" (vlevo) a strategie "Lineární hrubování" (vpravo)**

Program je uveden v Příloze 2 a Příloze 3

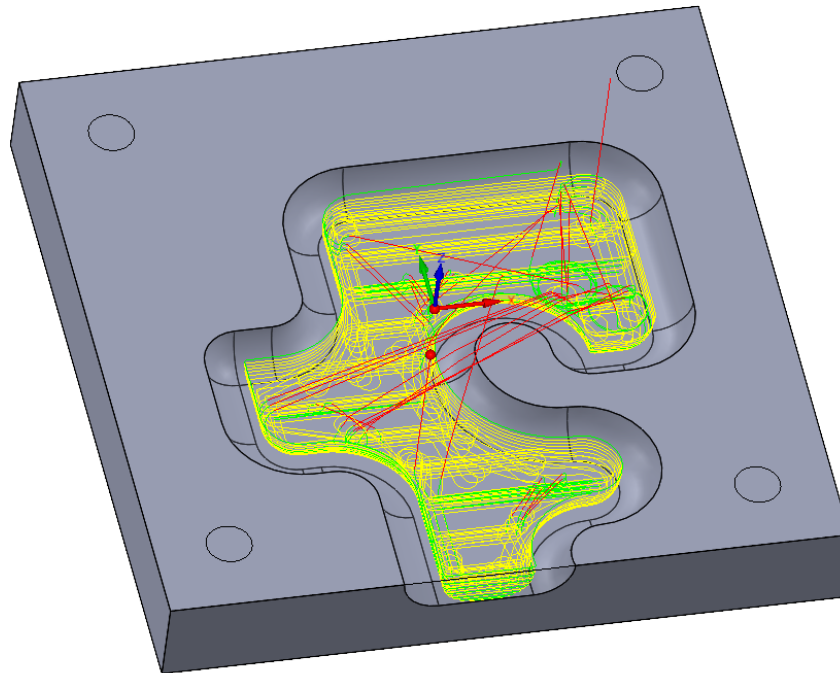
Na následujícím obr. 18 je patrná simulace trajektorie nástroje při použití hrubovací strategie "HM hrubování" na tvarové kapsě (Obr.15). Na této kapsě je již zřejmý výrazný rozdíl v komplexitě dráhy nástroje v porovnání s předchozí kapsou.



**Obr. 18: Simulace drah nástroje pro tvarovou kapsu s použitím strategie "HM hrubování"[autor]**

Program je uveden v Příloze 4.

Na obr. 19 lze pozorovat simulaci trajektorie nástroje při použití strategie obrábění "Lineární hrubování". Stejně jako v předchozí variantě, je rozdíl oproti jednoduché kapsě jasně viditelný.



**Obr. 19: Simulace drah nástroje pro tvarovou kapsu s použitím strategie "Lineární hrubování"[autor]**

Program je uveden v Příloze 5.

Po provedení analýzy trajektorie nástrojů při použití obráběcích strategií "HM hrubování" a "Lineární hrubování", je patrně vidět rozdíl v trajektorii nástroje, v přejezdech rychloposuvem, změně bočního kroku a nájezdech nástroje do materiálu. Tento rozdíl může mít významný dopad na celkovou efektivitu procesu obrábění.

## 3.2 První experiment

Cílem prvního experimentu je nastavení a praktické vyzkoušení funkce AFC. Tento experiment bude rozdělen na dvě části. První část se bude věnovat aktivaci a nakonfigurování funkce AFC, zatímco druhá část experimentu se bude zaměřovat na praktické vyzkoušení této funkce. Jak již bylo řečeno, příslušné experimenty budou prováděny na stroji DMU 40 eVo, na kterém je funkce AFC zaktivována.

V této části experimentu bylo také uvažováno o vyzkoušení funkce ACC, jelikož by mohla společně s funkcí AFC optimalizovat výrobní proces. Byla provedena rešerše ohledně aktivace této funkce, ale zjistilo se, že tato funkce není na stroji zakoupena. Z toho vyplývá, že v případě potřeby lze tuto funkci dokoupit samostatně. Není tedy potřeba kupovat celý balík optimalizačních funkcí dynamická výkonnost, aby bylo možné získat pouze jednu z nabízených funkcí.

### 3.2.1 Aktivace a nakonfigurování funkce AFC

Tato část experimentu je zaměřena především na praktické nastavení funkce adaptivního řízení posuvu, což umožní pokračovat v jejím vyzkoušení a provedení dalších experimentů. Jedná se o kritickou fázi experimentu, protože správné nastavení této funkce je klíčové pro dosažení validních výsledků. Údaje z této části před experimentu budou velmi důležité pro následující fáze experimentu.

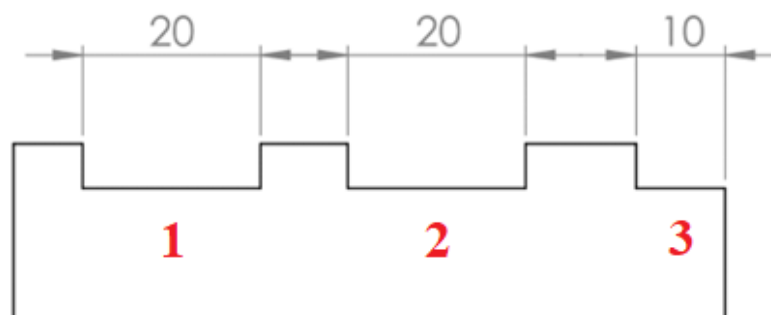
### 3.2.1.1 Příprava pre-experimentu

Z předchozího testování funkce AFC prováděné Jakubem Sedlákem byly zjištěny podmínky pro nastavení této funkce [11]. Vzhledem ke změně materiálu obrobku bylo ale nezbytné opětovné vyzkoušení a případná úprava nastavení funkce AFC podle potřeb experimentu této diplomové práce.

Tab. 3: Parametry pre-experimentu

Obráběcí stroj	DMU 40 eVo
Materiál obrobku	15 142
Rozměr polotovaru	80x80x60 mm
CAD model	Obr.14
NC kód	Příloha 1
Nástroj	FR 20D OSG z3 r2

Pro nastavení funkce AFC byla použita stejná strategie, jaká byla použita při prvním testování funkce Jakubem Sedlákem – výroba drážek. [11]



Obr. 20: Návrh jednotlivých drážek

Tato strategie umožňuje vyzkoušení a monitorování změn parametrů při obrábění drah nástroje s minimální možnou chybou. Pro vyzkoušení funkce byly zvoleny tři drážky (Obr.20):

#### 1- Drážka „teach-in“

Navržení této drážky slouží k tomu, aby se funkce AFC naučila rozpoznávat a vyhodnocovat výkon zatížení vřetene. Parametry této drážky fungují také jako výchozí bod pro analýzu dalších kroků obrábění.

#### 2- Drážka „kontrolní“

Druhá drážka byla navržena s cílem přenést parametry, které byly změřeny funkcí na první drážce, na jehož základě bude stanovena účinnost funkce.

#### 3- Drážka „poloviční“

Hlavním účelem této drážky je otestování funkce při odlišném zatížení, tj. aby bylo možné pozorovat chování systému a porovnávat ho s předchozí drážkou.

### 3.2.1.2 Upnutí obrobku

Za účelem minimalizace nepřesností a nežádoucích vlivů na průběh experimentu je nezbytné věnovat zvýšenou pozornost vhodnému upnutí obrobku. Tuhost upnutí obrobku při obrábění je velmi důležitý faktor, který může ovlivnit kvalitu, přesnost a průběh rezných sil.

Pro upnutí obrobku byl zvolen strojní svěrák od společnosti SOLIDGrip. (Obr.21)



Obr. 21: Upnutí obrobku [autor]

### 3.2.1.3 Provedení pre-experimentu

Před samotným praktickým vyzkoušením funkce AFC bylo v kořenovém adresáři TNC:\ provedeno nastavení parametrů v tabulce AFC.TAB (Obr.22), podle kterých bude tato funkce řídit posuv. Tyto parametry byly vybrány na základě předchozích experimentů prováděných panem Sedlákem, v rámci kterých byla testována řada různých nastavení funkce AFC. Nakonec byla vybrána varianta, v níž se tato funkce projevila nejefektivněji.

Soubor: AFC.TAB									
NR	AFC	FMIN	FMAX	FIDL	FENT	OULD	POUT	SENS	PLC
0	Standard	70	125	100	80	E	5	100	0
1	Maiakov	70	150	130	80	E	2	100	0
2	Sedlak	70	150	180	80	E	2	100	0
[END]									

Obr. 22: Tabulka AFC.TAB [autor]

Před zahájením prvního testu bylo také nutné vybrat vhodné řezné podmínky s ohledem na materiál obrobku, typ nástroje a hloubku řezu pro následující experimenty s komplexními tvary. Tyto parametry jsou popsány v tabulce č.4.

Tab. 4: Skutečné parametry prvního testu pre-experimentu

Nástroj	FR 20D OSG z3 r2	
	Číslo 101 v tabulce nástrojů	
Řezné podmínky	Řezná rychlost	250 m/min
	Hloubka řezu	1 mm
	Rychlost posuvu	1790 mm/min

## První test

Při prvním testu proběhlo obrábění první drážky (Obr.20) s podmínkami z tabulky AFC.TAB (Obr.23). Během obrábění první vrstvy drážky docházelo k postupnému učení se systému o výkonu zatížení vřetene. V prvním průchodu bylo testováno, které parametry zatížení nástroje budou potřebné pro další experimenty. Systém se tak naučil, jak s výkonem zatížení vřetene zacházet a na základě těchto informací řídil posuvovou rychlost na každém dalším řezu.

V tomto případě bylo zjištěno, že zatížení vřetene bylo 11,8 %, což znamená, že při obrábění se do vřetene přidávalo 11,8 % výkonu navíc. (Obr.23). Po získání těchto informací bylo možné provést další experimenty s využitím naučených znalostí.

```
Soubor: Drazka_1.H.AFC.DEP
NR TOOL          IDX N FMIN FMAX FIDL FENT OULD POUT PREF SENS ST PLC
0 FR_D20_Z3_R2_OSG_SHORT 0 1 70 150 130 80 E 2 11.8 100 C 0
[END]
```

Obr. 23: První naučení AFC [autor]

## Druhý test

Cílem druhé drážky bylo využít naučení funkce AFC z první drážky. To znamená, že po naučení funkce během obrábění první drážky bylo možné využít získané znalosti při obrábění druhé drážky. Díky tomu nebylo dále nutné vynakládat čas a energii na znovu naučení funkce AFC pro zjištění zatížení vřetene při obrábění druhé drážky. To vedlo k efektivnějšímu využití času a kvalitnějšímu výsledku při obrábění druhé drážky.

Tab. 5: Skutečné parametry druhého testu pre-experimentu

Nástroj	FR 20D OSG z3 r2	
	Číslo 101 v tabulce nástrojů	
Řezné podmínky	Řezná rychlost	250 m/min
	Hloubka řezu	1 mm
	Rychlost posuvu	800 mm/min

Aby nemuselo dojít k opakování učení druhé drážky, byl použit naučený soubor z první drážky, který byl zkopírován a přejmenován podle druhé drážky. Tato drážka měla výrazně menší řezné podmínky než první. (Tab.5). Avšak díky tomu, že funkce AFC pracuje na principu adaptivního řízení limitu, byla nastavena maximální a minimální rychlost posuvu. Zároveň bylo uvedeno, že nástroj je schopen pracovat s výkonem 11,8 %. Při této konfiguraci bylo upozorováno, že při vstupu nástroje do drážky se postupně zvyšovala posuvová rychlost, která dosáhla maximálního povoleného limitu, který byl nastaven na 150 % parametrem FMAX (Obr.23)

```
Soubor: Drazka_2.H.AFC2.DEP
NR TOOL          IDX SNOM SDIFF CTIME  FAVG FMIN  PMAX  PREF
0 FR_D20_Z3_R2_OSG_SHORT 0 3979 0.0 00:00:56 135 81 10.7 11.8
1 total 00:00:56 26% saved
[END]
```

Obr. 24: Evaluační tabulka druhého testu [autor]

Podle tabulky lze usoudit, že průměrná posuvová rychlost FAVG byla zvýšena na 135 %, což vedlo ke snížení času obrábění o 26 %. (Obr.24)

### Třetí test

V tomto testu bylo opět využito naučení z obrábění první drážky, což umožnilo eliminovat učící se fázi a zkrátit tak čas potřebný k obrábění. Řezné parametry byly v porovnání s druhou drážkou také navýšeny. (Tab.6)

Tab. 6: Skutečné parametry třetího testu pre-experimentu

Nástroj	FR 20D OSG z3 r2	
	Číslo 101 v tabulce nástrojů	
Řezné podmínky	Řezná rychlost	250 m/min
	Hloubka řezu	1 mm
	Rychlost posuvu	1790 mm/min

Vzhledem k tomu, že šířka záběru byla výrazně menší, výkon byl vyšší a funkce AFC začala navyšovat řeznou rychlost.

```
Soubor: Drazka_3.H.AFC2.DEP
NR  TOOL          IDX SNOM  SDIFF CTIME  FAVG FMIN  PMAX  PREF
0   FR_D20_Z3_R2_OSG_SHORT 0   3979  0.1  00:00:30  133  81   9.1  11.8
1                                     total 00:00:30  25%  saved
[END]
```

Obr. 25: Evaluační tabulka třetího testu [autor]

Z výsledků v tabulce lze vyčíst, že průměrná posuvová rychlost FAVG se zvýšila na 133 %, což znamenalo 25 % zkrácení doby obrábění.

#### 3.2.1.4 Shrnutí pre-experimentu

V rámci tohoto pre-experimentu byly dosaženy tři hlavní cíle. Prvním z nich bylo zjištění potřebného zatížení obráběcího nástroje a nastavení funkce AFC pro správné fungování s materiálem 15 142. Druhým cílem bylo minimalizovat ztráty času na naučení funkce při dalším obrábění. Třetím cílem bylo využití naučené funkce adaptivního řízení posuvu z první drážky pro následující experimenty. Tento postup umožní zkrátit čas potřebný na učení a nastavení řezných podmínek.

#### 3.2.2 Praktické vyzkoušení funkce AFC

Tato kapitola se zabývá praktickým vyzkoušením funkce AFC s použitím různých strategií obrábění. Cílem je porovnat a vyhodnotit tyto strategie prostřednictvím měření působících sil na obrobek pomocí piezoelektrického dynamometru a sledování času obrábění, který byl potřebný pro obrobek stejného tvaru obrobku s použitím funkce AFC a bez ní.

V této fázi byla navržena jednoduchá kapsa, aby bylo možné vyzkoušet působení funkce AFC, než bude následovat zpracování složitějších tvarů.

##### 3.2.2.1 Příprava prvního experimentu

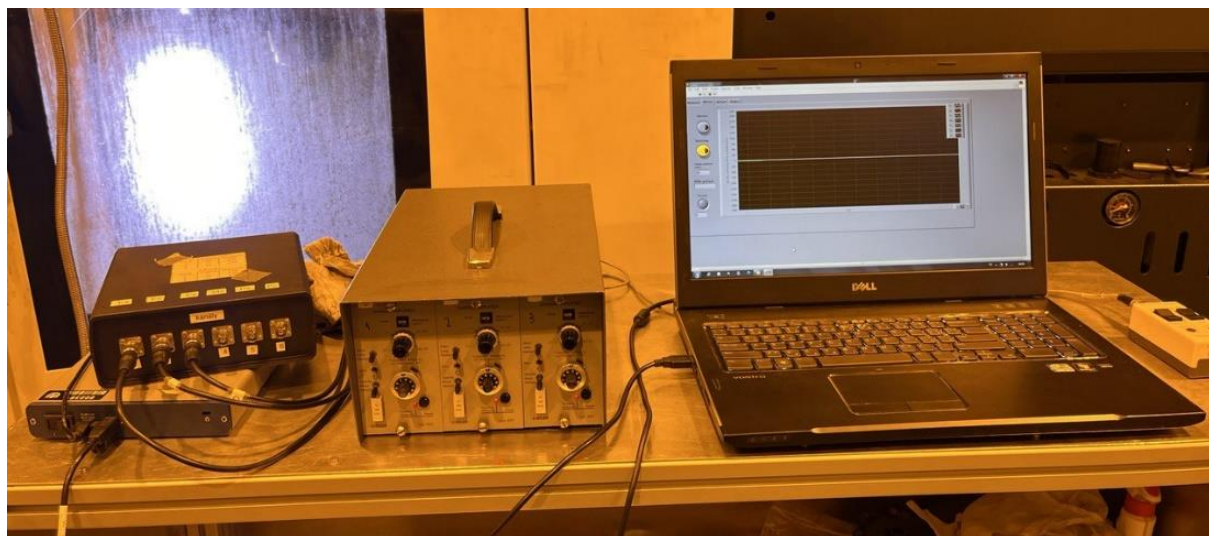
Pro provedení tohoto experimentu byly vytvořeny dva NC programy pro strategie "HM hrubování" a "Lineární hrubování". Tyto parametry byly podrobně popsány v kapitole 3.1. a jsou uvedeny v (Tab.7).



**Tab. 7: Parametry prvního experimentu**

Obráběcí stroj	DMU 40 eVo
Materiál obrobku	15 142
Rozměr polotovaru	180x180x25 mm
CAD model	Obr. 16
NC kód	Příloha 2, Příloha 3
Nástroj	FR 20D OSG z3 r2

Porovnání hrubovacích strategií bylo vykonáno prostřednictvím měření působících sil. Pro tyto účely byl použit piezoelektrický dynamometr Kistler 9255C, který byl propojen s dalšími částmi zařízení, jako jsou zesilovač náboje Kistler a digitalizační karta od společnosti Nation Instruments. Tato kombinace umožnila zpracování dat prostřednictvím softwaru LabView. Více informací o tomto zařízení bude popsáno v dalších kapitolách. Konfiguraci k dynamometru je možné vidět na obrázku č. 26.



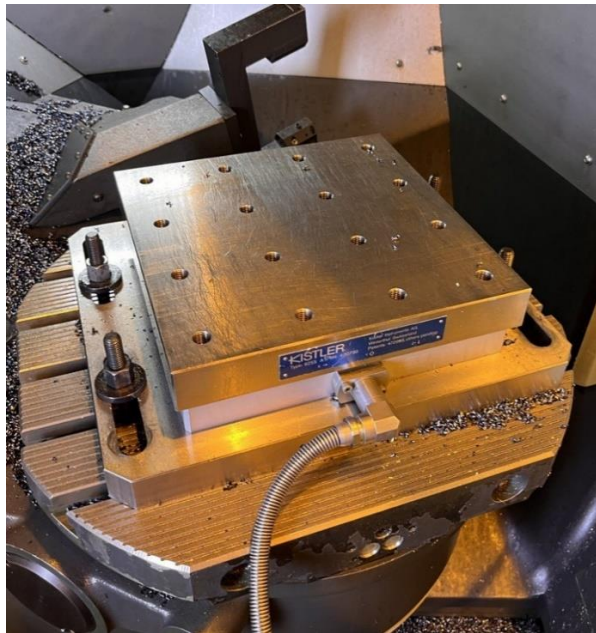
**Obr. 26: Soustava doplňujícího vybavení pro měření sil [autor]**

Měřením působících sil bude vyhodnocen vliv každé strategie na proces obrábění a porovnán vliv funkce oproti původnímu obrábění s nepoužitou funkcí AFC.

### 3.2.2.1.1 Piezoelektrický dynamometr

Piezoelektrický dynamometr je zařízení používané k měření působících sil při obrábění. Toto zařízení využívá piezoelektrický jev pro přeměnu mechanického tlaku na elektrický náboj. Tento jev umožňuje velmi přesné a rychlé měření sil působících na obrobek.

V této diplomové práci bude využíván dynamometr Kistler 9255C (Obr. 27), který využívá piezoelektrický princip pro měření sil při obrábění. Kistler 9255C obsahuje tři kanály pro měření a je schopen měřit síly v rozsahu až 20kN s přesností měření v řádu mikronů.



Obr. 27: Piezoelektrický dynamometr Kistler 9555C [autor]

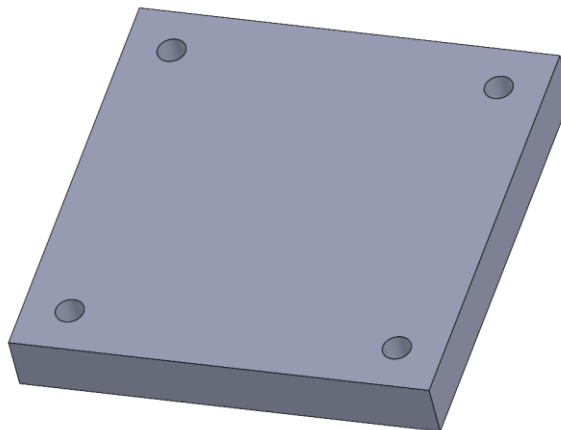
#### 3.2.2.1.2 Software

Při měření působících sil byly použity dva softwary. První byl určen pro snímání dat z dynamometru a druhý pro analýzu a zpracování naměřených dat.

Pro účely řízení a sběru dat byl využit inženýrský software od společnosti National Instruments, LabView. Tento software přemění naměřená data do formátu lvm, který je pak možné zpracovat ve formě grafu. Při kombinaci LabView s piezoelektrickým dynamometrem Kistler 9255C je možné získat detailní informace o síle a průběhu řezání při obrábění. Pro analýzu těchto dat a vytváření grafů sil byl využit software Nasomer.

#### 3.2.2.2 Upnutí obrobku

Vzhledem k tomu, že upevnění polotovaru na desce dynamometru je realizováno pomocí šroubu M12, bylo nutné vytvořit v CAD modelu odpovídající otvory. Tím bylo za pomoci šroubů umožněno připevnění polotovaru na desku dynamometru a zároveň neovlivňovat geometrii skutečného dílu a plánovanou strategii obrábění. Tyto otvory byly vytvořeny dle konstrukce dynamometru s ohledem na geometrii obráběné kapsy.

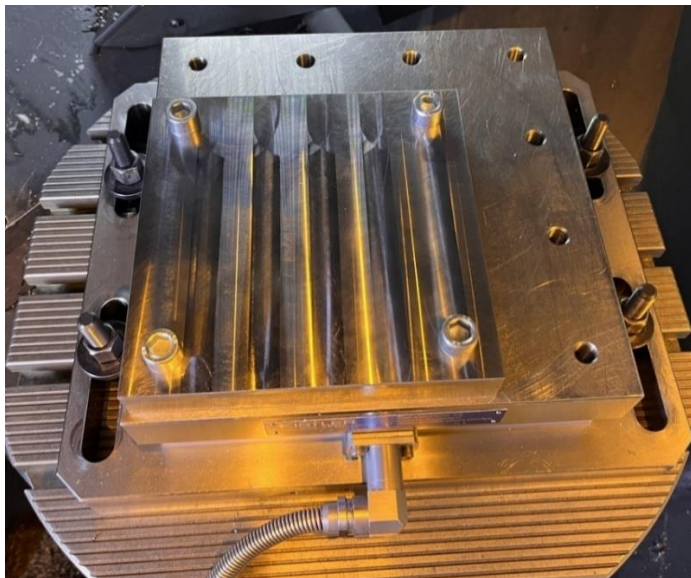


Obr. 28: 3D model polotovaru pro první experiment [autor]



V tomto experimentu bylo upnutí polotovaru rozděleno na dvě části. Prvním krokem bylo upevnění dynamometru a připojení měřicího řetězce. Upevnění dynamometru na desku stolu stroje bylo provedeno pomocí šroubů. Následně byl vyrovnán souřadnicový systém stroje a dynamometru. (Obr. 29)

Druhým krokem bylo upevnění polotovaru na desku dynamometru. Jak lze vidět na obrázku č. 30, upevnění bylo realizováno pomocí šroubů M12.



Obr. 29: Upnutí polotovaru pro první experiment [autor]

### 3.2.2.3 Provedení experimentu

Před začátkem experimentu byly vytvořeny nové soubory NC kódu, které byly převzaty z naučené funkce adaptivního řízení posuvu z první drážky předchozího experimentu. Tím bylo dosaženo přenositelnosti naučené funkce při zpracování nového obrobku a následné úspory času, který by byl potřebný pro nové naučení funkce.

Tak jako v předchozím experimentu bylo zjištěno potřebné zatížení obráběcího nástroje a parametry nastavení funkce AFC pro správné fungování s materiálem 15 142, bylo rozhodnuto v tomto experimentu použít stejné parametry. (Tab.8)

Tab. 8: Skutečné parametry prvního testu prvního experimentu

<b>Nástroj</b>	FR 20D OSG z3 r2	
	Číslo 101 v tabulce nástrojů	
<b>Řezné podmínky</b>	Řezná rychlost	250 m/min
	Hloubka řezu	1 mm
	Rychlost posuvu	1790 mm/min

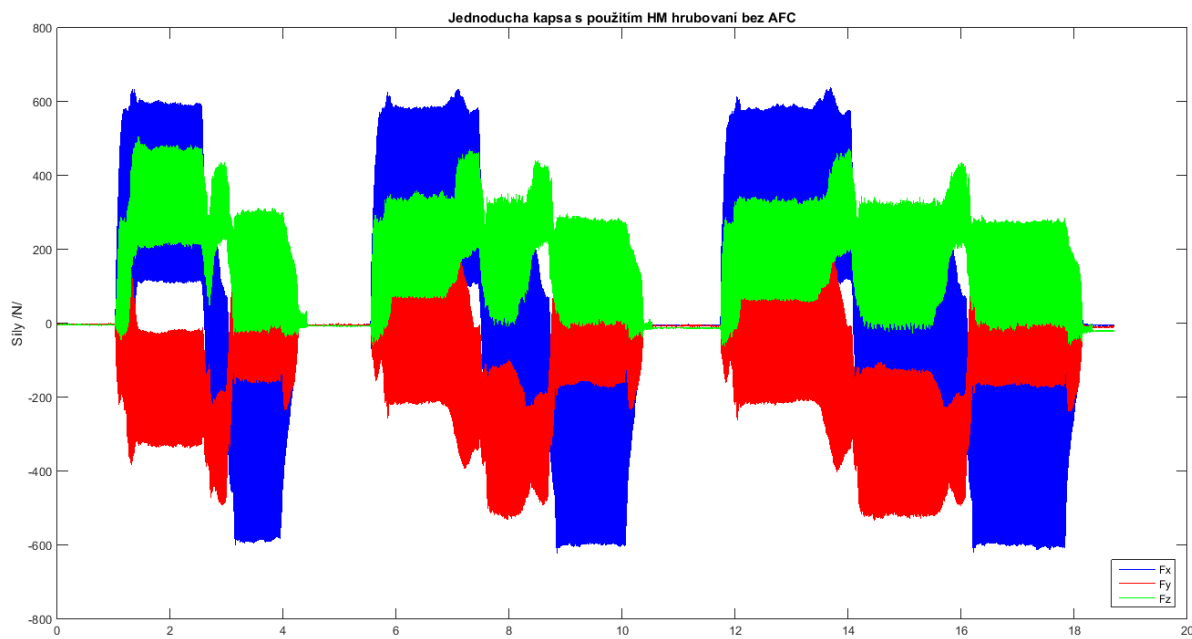
Měření působících sil bylo navrženo tak, aby umožnilo identifikaci rozdílů v obrábění mezi strojem pracujícím s funkcí AFC a bez ní. Tento přístup umožňuje optimalizovat procesy obrábění a zlepšovat celkovou kvalitu výroby.

Před prvním testem byla zkontrolována tabulka AFC.TAB (Obr. 21), aby nedošlo k přepnutí funkce AFC do standardního nastavení.

## První test

Při prvním testu bylo sledováno chování obráběcího stroje během frézování obrobku s použitím strategie "HM hrubování". Tento test byl proveden bez použití funkce AFC, aby bylo možné získat výchozí data pro další testování a analýzu.

Toto první měření sloužilo také k ověření správného nastavení rozsahu sil, které byly měřeny dynamometrem. Z praktické diplomové práce pana Sedláka [11] je známo, že při obrábění kapsy byl rozsah měření nastaven na  $\pm 1000$  [N]. Proto bylo jako prvním předpokladem nastavit stejné parametry.



Obr. 30: Graf sil pro strategii "HM hrubování" bez funkce AFC [autor]

Na grafu sil na obrázku č. 30 byly ukázány pouze první tři dráhy nástroje, protože při obrábění dalších vrstev jednoduché kapsy nedocházelo k viditelným změnám působících sil. Tímto způsobem bylo možné soustředit se na nejdůležitější úseky obrábění a přehledně zobrazit dynamiku silového působení na obrobek.

Z grafu je zřetelně vidět, že při první dráze nástroje, kde bylo obráběno na celý průměr nástroje, byly průměrné síly působící na obrobek v osách Y a Z maximální. To naznačuje, že v tomto úseku docházelo k největšímu namáhání materiálu a přenosu sil. Tato informace je pro analýzu procesu obrábění velmi důležitá, protože umožňuje identifikovat kritické body, na které je potřeba více zaměřit při obrábění z funkce AFC.

Během tohoto měření, jak je vidět z tabulky č.9, byla zaznamenána maximální síla ve směru osy X dosahující hodnoty 638,8 N.

Tab. 9: Parametry grafu sil s použitím strategie HM hrubování bez AFC

	Min	Max
Fx [N]	-616	638,8
Fy [N]	-525,2	224,7
Fz [N]	-61,2	506,1

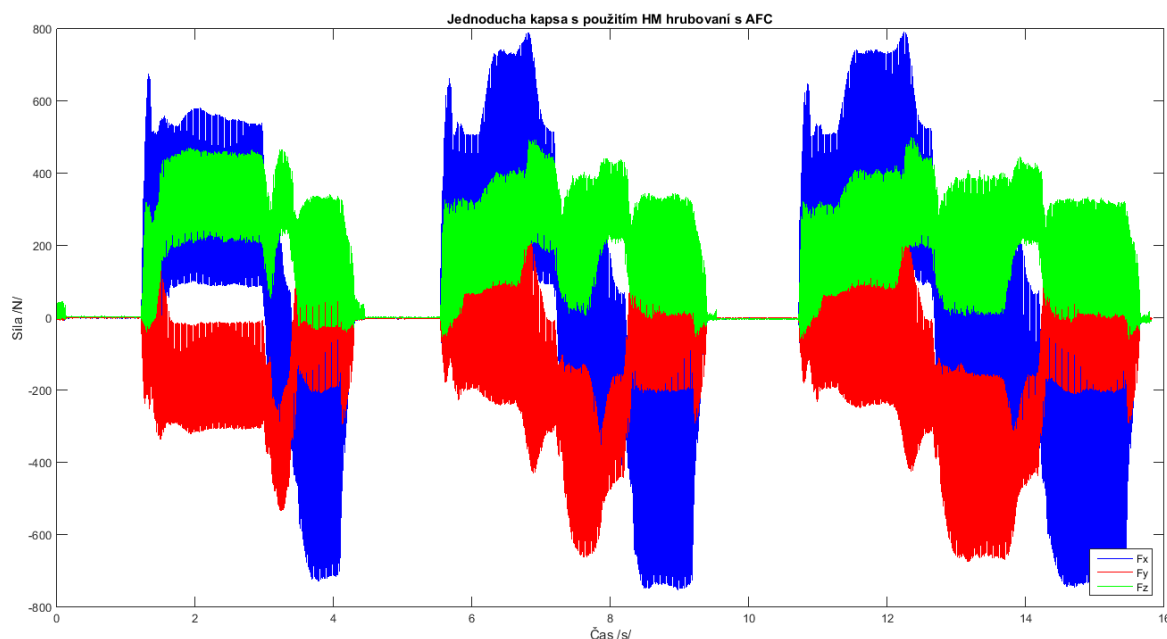
Výsledky prvního testování budou sloužit jako výchozí bod pro srovnání s daty získanými z dalších testů ze strategie HM hrubování, kdy bude zapnutá funkce AFC. Díky tomu bude

možné posoudit vliv funkce na proces optimalizace obrábění a zlepšení výkonu obráběcího stroje.

## Druhý test

Při druhém měření bylo rozhodnuto provádět frézování s pomocí hrubovací strategie "HM hrubování" se zapnutou funkcí AFC. V průběhu frézování byly pozorovány různé parametry procesu, jako působící síly na obrobek (Obr. 31) a zatížení vřetena (Obr. 33). Tyto parametry byly pečlivě sledovány a zaznamenávány, aby bylo možné později analyzovat, jaký vliv má funkce AFC na výkon frézování.

Z naměřených hodnot působících sil bylo zjištěno, že při použití funkce AFC došlo k výraznému nárůstu sil působících na obrobek v porovnání s obráběním bez funkce AFC.



Obr. 31: Graf sil pro strategii "HM hrubování" z funkce AFC [autor]

Z naměřených hodnot působících sil bylo zjištěno, že při použití funkce AFC došlo k výraznému nárůstu sil působících na obrobek ve srovnání s obráběním bez funkce AFC. V předchozím testu byla pozornost upřena na první trajektorii nástroje a jak je patrné z obrázku č. 31, působící síly byly vyšší, avšak ne tak výrazně jako při dalších trajektoriích. Toto je možné vysvětlit tím, že při dalších drahách nástroje nedocházelo k plnému obrobení povrchu jeho celým průměrem, což vysvětluje významné zlepšení účinnosti funkce.

V této části testu již bylo předpokládáno, že funkce má významný vliv, neboť byl zaznamenán procentuální nárůst působících sil ve směru osy X o 18,3 %, ve směru osy Y o 18,5 % a ve směru osy Z o 1,8 % (Tab. 10).

Tab. 10: Parametry grafu sil s použitím strategie HM hrubování s AFC

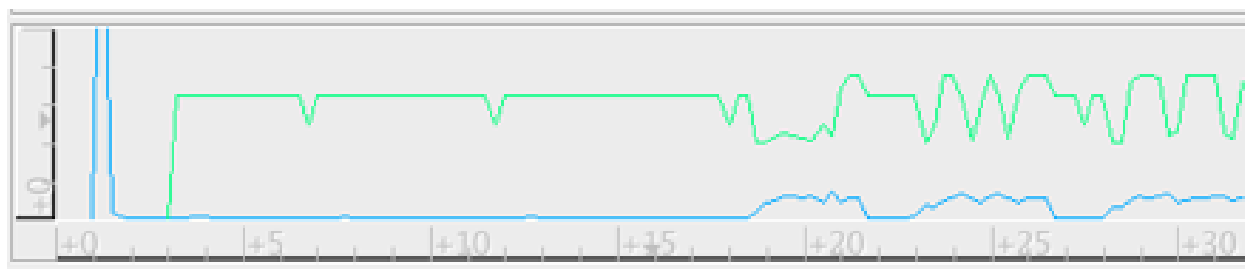
	Min	Max	Procentuální nárůst sil (%)
Fx [N]	-744,8	790	18,3
Fy [N]	-673,6	247,5	18,5
Fz [N]	-63,5	514,1	1,8

Po dokončení druhého měření byly výsledky zpracovány a zjištěno, že použití funkce AFC přineslo významné zlepšení výkonu obrábění. Z evaluační tabulky (Obr. 32) vyplývá, že průměrná posuvová rychlost FAVG se zvýšila o 123 % a čas obrábění se zkrátil o 19 %.

Soubor: HSR_HMP_obrobek.H.AFC2.DEP									
NR	TOOL	IDX	SNOM	SDIFF	CTIME	FAVG	FMIN	PMAX	PREF
0	FR-D20-Z3-R2-OSG-SHORT	0	3979	0.1	00:01:48	123	74	15.2	11.8
1					total 00:01:48	19%	saved		
[END]									

Obr. 32: Evaluační tabulka pro obrábění ze strategie "HM hrubování" [autor]

Během obrábění byly také sledovány změny zatížení vřetene a rychlosti posuvu. Aby bylo možné porovnat účinnost funkce AFC od samého začátku, bylo rozhodnuto, že první řez bude proveden mimo materiál. Jak je patrné z grafu na obrázku č. 33, již od samotného začátku obrábění je zřejmé výrazné zvýšení posuvové rychlosti funkce. Poprvé došlo ke snížení této rychlosti až při vjezdu nástroje do materiálu, kdy došlo k nárůstu zatížení vřetena.



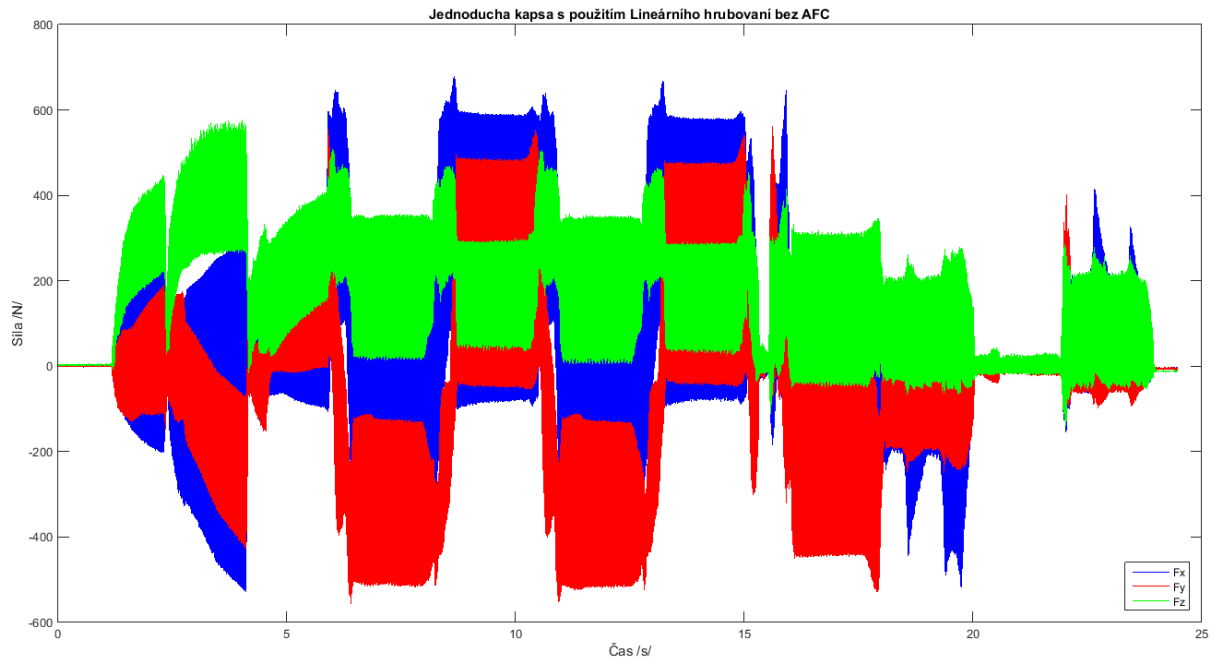
Obr. 33: Výsledný graf s použitím strategie HM hrubování [autor]

Výstupem tohoto testu byl zjištěn vliv funkce AFC na řezný proces a působící síly na obrobek při použití strategie "HM hrubování".

### Třetí test

V rámci třetího testu byla vyzkoušena další hrubovací strategie, konkrétně lineární hrubování. Řezné podmínky a tvar kapsy zůstaly stejné jako v předchozích testech. Tento test byl proveden bez použití funkce AFC, aby bylo možné získat výchozí data pro další testování a analýzu.

Na obrázku č. 34 a tabulce č.11 je patrný vliv působících sil při obrábění první vrstvy kapsy. Ve srovnání s předchozí strategií obrábění je zjevné, že síly jsou výrazně vyšší a ovlivňují obrobek po celou dobu obrábění, protože přejezdy mezi drahami při strategii Lineárního hrubování jsou menší. Také při prvním porovnání strategií je zřejmé, že čas potřebný k obrábění první vrstvy je také delší.

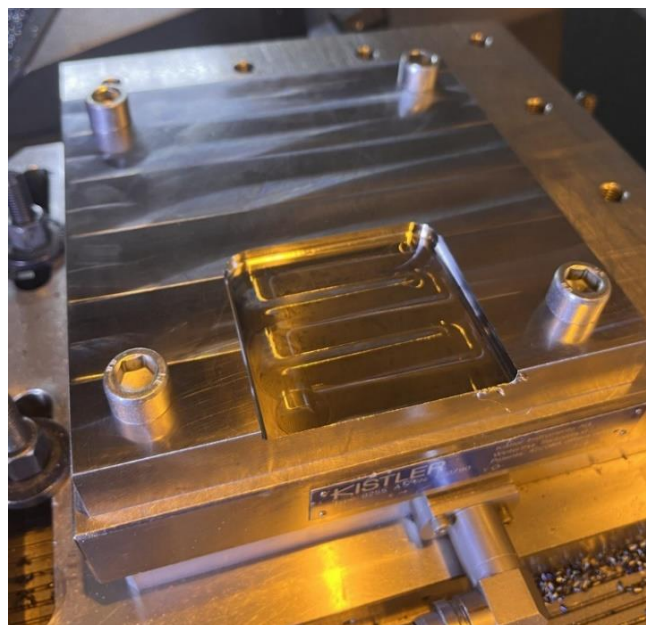


Obr. 34: Graf sil pro strategii "Lineární hrubování" bez funkce AFC [autor]

Tab. 11: Parametry grafu sil s použitím strategie HM hrubování bez AFC

	Min	Max
Fx [N]	-522,8	678,3
Fy [N]	-555,9	552,6
Fz [N]	-140	577,2

Pro náhledovou vizualizaci na obrázku č. 35 je vidět finální hrubování kapsy s použitím strategie Lineárního hrubování.

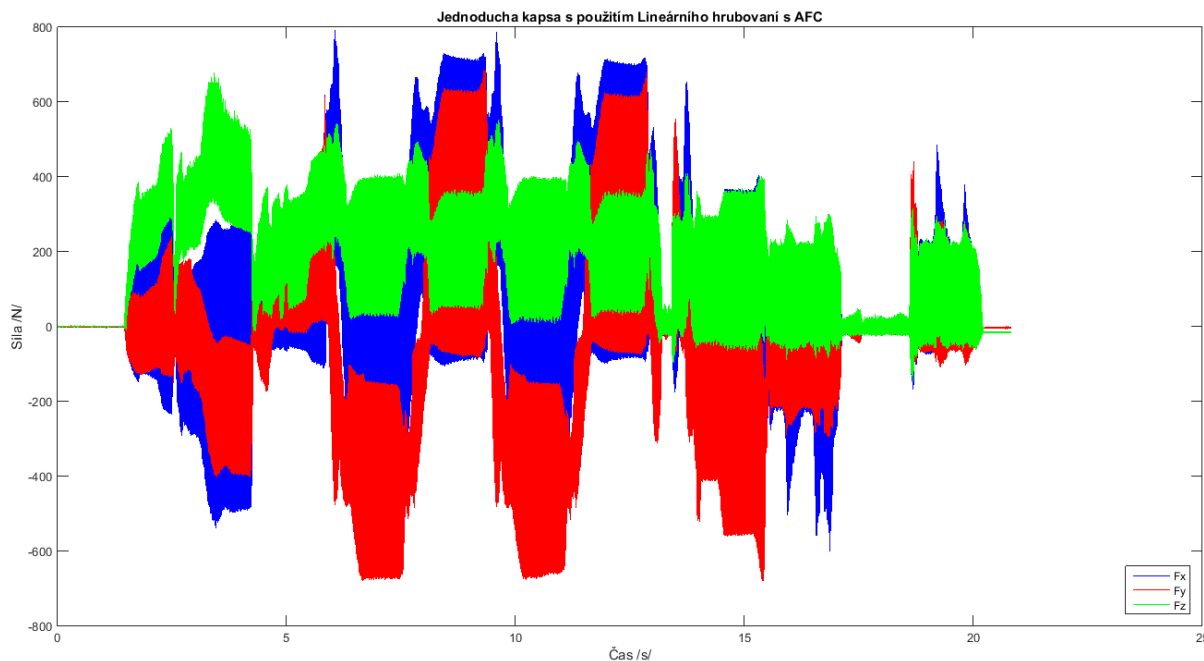


Obr. 35: Hrubování kapsy s použitím strategie Lineární hrubování [autor]

Výsledky třetího testování sloužily jako výchozí bod pro porovnání s daty získanými v rámci dalších testů s použitím strategie Lineární hrubování a zapnutou funkcí AFC.

### Čtvrtý test

Při měření působících sil v rámci čtvrtého testu byla použita strategie "Lineární hrubování" s aktivní funkcí AFC. Cílem tohoto testu bylo porovnat účinnost funkce AFC v porovnání s předchozím testem a získat data pro analýzu a konečné srovnání s jinými strategiemi obrábění.



**Obr. 36: Graf sil pro strategii "Lineární hrubování" bez funkce AFC [autor]**

Během analýzy naměřených hodnot bylo zjištěno, že aktivace funkce AFC vedla k výraznému nárůstu sil působících na obrobek v porovnání s obráběním bez této funkce. Nejvyšší hodnoty sil byly pozorovány ve směru osy X a dosáhly hodnoty 787,5 N. Při porovnání tohoto testu s předchozím testem byl zaznamenán průměrný nárůst sil o 10,8 % ve směru osy X, o 18,6 % ve směru osy Y a o 13,1 % ve směru osy Z. (Tab. 12)

**Tab. 12: Parametry grafu sil s použitím strategie HM hrubování bez AFC**

	Min	Max	Procentuální nárůst sil (%)
Fx [N]	-559,1	787,5	10,8
Fy [N]	-680,1	682	18,6
Fz [N]	-145,6	677,2	13,1

Z evaluační tabulky (Obr. 37) je patrné, že funkce AFC úspěšně optimalizovala další strategii obrábění a ukazuje navýšení průměrné posuvové rychlosti FAVG na 127 % a tím byl čas obrábění snížen o 21 %.

```
Soubor: HSR_R_Lin_obrobek.H.AFC2.DEP
NR TOOL          IDX SNOM  SDIFF CTIME  FAVG FMIN  PMAX  PREF
0 FR_D20_Z3_R2_OSG_SHORT  0  3979  0.1  00:02:11  127  75  16.9  11.8
1                                     total 00:02:11  21% saved
IENDI
```

Obr. 37: Evaluační tabulka pro obrábění ze strategie "Lineární hrubování" [autor]

Výsledkem čtvrtého testu bylo zjištění, jak velký vliv na řezný proces má funkce AFC při použití strategie "Lineárního hrubování" a rozdíl působících sil při použití této strategie oproti původnímu obrábění bez funkce AFC.

### 3.2.2.4 Shrnutí prvního experimentu

Účelem tohoto experimentu bylo vyzkoušet různé strategie obrábění, vyhodnotit a porovnat tyto strategie s použitím funkce AFC a bez ní.

Při tomto experimentu bylo dokázáno, že při použití funkce adaptivního řízení posuvu docházelo k výraznému zkrácení času obrábění při použití obou strategií díky navýšení extrémů působících sil.

Protože ale funkce AFC nedosáhla výrazného rozdílu v optimalizaci obou strategií a síly působící na obrobek nebyly příliš odlišné, bylo rozhodnuto navrhnout další experimenty, při kterých budou zpracovávány tvarové kapsy. Očekává se, že další experimenty ukážou výraznější rozdíly v použitých strategiích s využitím funkce AFC.

## 3.3 Druhý experiment

Druhý experiment byl navržen s cílem studovat vliv funkce adaptivního řízení posuvu při použití různých strategií obrábění na složitých tvarech jako je tvarová kapsa. Hlavním účelem experimentu je porovnat strategie "HM hrubování" a "Lineární hrubování" a vyhodnotit vhodnost varianty pro použití. Budou zaznamenány vlivy, jako jsou například extrémy působících sil na obrobek při použití funkce AFC a bez ní. Dále bude sledováno zatížení vřetene a rychlost posuvu.

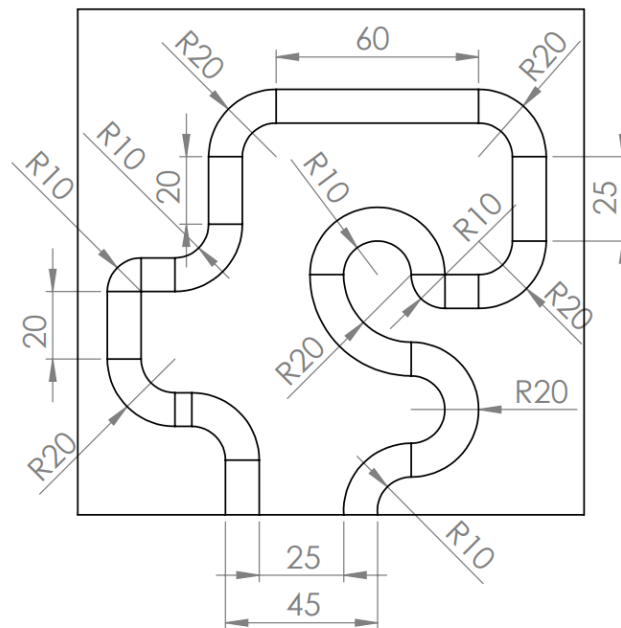
### 3.3.1 Příprava experimentu

Prvním krokem přípravy experimentu byl návrh tvarové kapsy (Obr. 38), která obsahuje dostatečné množství složitých tvarů. Parametry jako obráběcí stroj, materiál obrobku, 3D model, NC kód a řezný nástroj byly podrobně popsány v kapitole 3.1. a jsou také uvedeny v (Tab. 13).

Tab. 13: Parametry druhého experimentu

Obráběcí stroj	DMU 40 eVo
Materiál obrobku	15 142
Rozměr polotovaru	180x180x25 mm
CAD model	Obr. 17
NC kód	Příloha 3
Nástroj	FR 20D OSG z3 r2





**Obr. 38:** Výkres obrobku tvarové kapsy [autor]

Dalším krokem byla změna NC kódu programu. Konkrétně došlo k rozdělení každé operace na deset jednotlivých operací podle vrstev a tím bylo umožněno sledovat vliv funkce při každé další vrstvě. Tento nový přístup může poskytnout důležité poznatky a přispět k lepšímu pochopení daného procesu a vlivu funkce.

Poté bylo nutné přepsat každý samostatný program dle naučené funkce z prvního experimentu. Tuto část procesu bylo možné provést přímo na panelu stroje, což umožnilo zachovat čistotu předchozího experimentu a šetřit čas potřebný na naučení nové funkce.

Strategie upínání a polotovaru byly podobné, jako v předchozím experimentu, a jsou vyobrazeny na obr. 39.



**Obr. 39:** Upnutí polotovaru pro druhý experiment [autor]



### 3.3.2 Provedení experimentu

Pro tento experiment byly využity parametry z předchozího experimentu, které byly ověřeny a uloženy v tabulce ABC.TAB. Jelikož byla tato kapsa vyrobená z materiálu 15 142, bylo v tomto experimentu rozhodnuto o použití řezných podmínek, které byly při zpracování tohoto materiálu ověřeny (Tab. 14). Tyto řezné podmínky budou použity pro zpracování kapsy oběma strategiemi.

Tab. 14: Skutečné parametry druhého experimentu

<b>Nástroj</b>	FR 20D OSG z3 r2	
	Číslo 101 v tabulce nástrojů	
<b>Řezné podmínky</b>	Řezná rychlost	250 m/min
	Hloubka řezu	1 mm
	Rychlost posuvu	1790 mm/min

Pro ověření každé ze strategií bylo provedeno celkem dvacet záměrů, během nichž byly měřeny síly působící na obrobek. Aby bylo možné detailněji zkoumat vliv funkce AFC, byla hloubka tvarové kapsy rozdělena na deset samostatných programů podle každé vrstvy. Toto měření bylo provedeno i při obrábění bez funkce AFC, aby bylo možné porovnat rozdíly.

Počáteční hloubka kapsy byla stanovena na 10 mm a tato hodnota byla následně rozdělena na devět vrstev o hloubce 1 mm a jednu vrstvu o hloubce 0,5 mm s ohledem na přídavek na dno kapsy. Toto detailní rozdělení umožnilo získání přesnějších a ucelených dat o průběhu experimentu.

V této části diplomové práce bylo rozhodnuto popsat pouze první, pátou, devátou a desátou vrstvu při obrábění, protože mezi některými vrstvami nedocházelo k výrazným změnám sil působících na obrobek a projevu funkce AFC. Předpokládalo se však, že vliv funkce bude výraznější při obrábění poslední vrstvy o hloubce 0,5 mm.

#### 3.3.2.1 Obrábění tvarové kapsy s použitím strategie HM hrubování

Postup experimentu byl navržen tak, aby při každém testu bylo provedeno srovnání působících sil na obrobek při obrábění s funkcí AFC a bez ní. Tento experiment byl velmi komplexní, protože zahrnoval všechny aspekty funkce AFC.

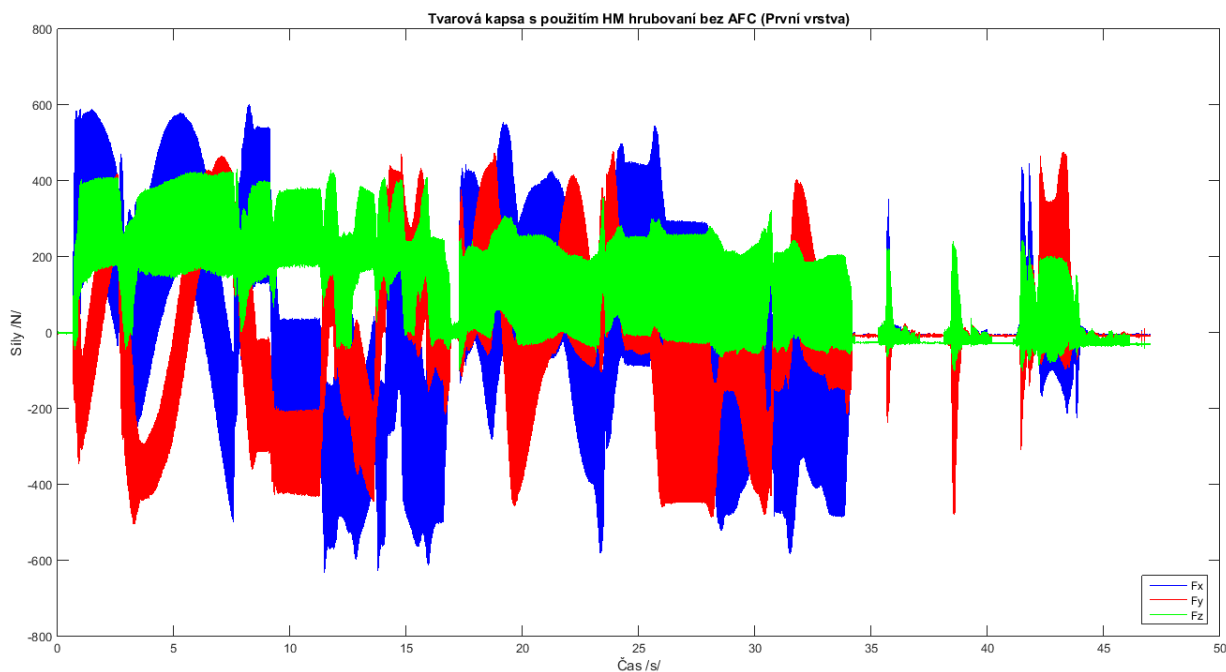
##### První test

V prvním testu bylo popsáno obrábění první vrstvy tvarové kapsy. Toto měření zároveň sloužilo k ověření nastavení rozsahu sil, které byly měřeny dynamometrem. Měřené parametry v dalších třech vrstvách byly téměř bez rozdílu.

##### Obrábění bez použití funkce AFC

Tab. 15: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie HM hrubování bez AFC (první vrstva)

	Min	Max
<b>F<sub>x</sub> [N]</b>	-626	603
<b>F<sub>y</sub> [N]</b>	-501,1	476,8
<b>F<sub>z</sub> [N]</b>	-98,95	426,5



**Obr. 40: Upnutí polotovaru pro druhý experiment [autor]**

Při tomto měření působících sil (Obr. 40) byl rozsah měření dynamometru nastaven na 2000 [N], protože se očekával výrazný nárůst sil z důvodu složitých trajektorií drah nástroje. Avšak z obrázku a tabulky č. 15 je patrné, že síly nebyly výrazně větší než při použití strategie HM hrubování na jednoduchém zářezu.

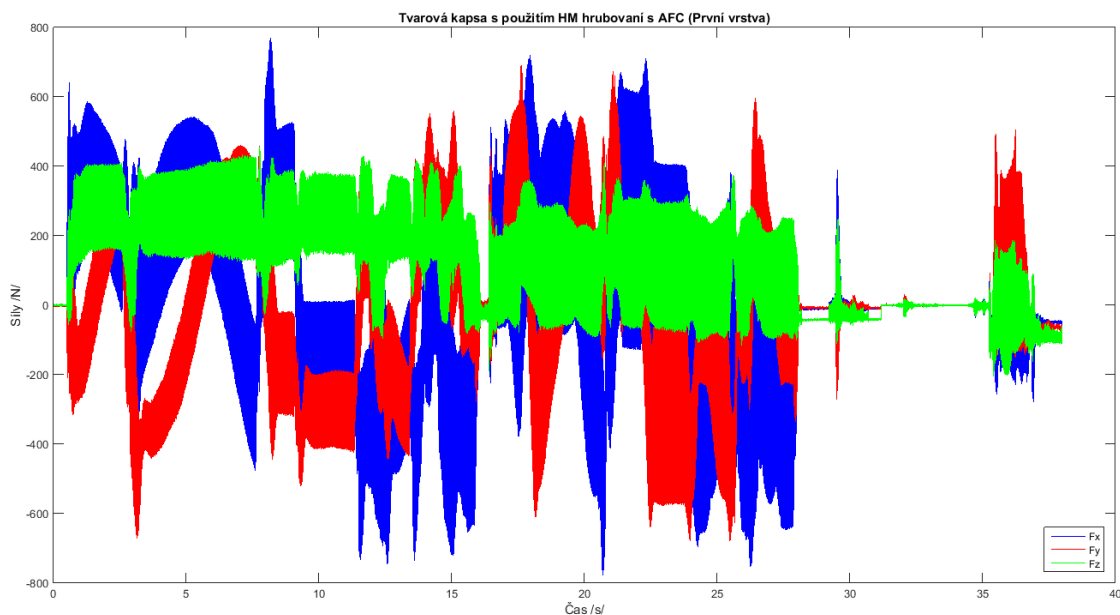
Během tohoto měření bylo zjištěno, že je nutné přenastavit rozsah sledovaných sil dynamometrem na 1000 [N].

### Obrábění s použitím funkce AFC

**Tab. 16: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie HM hrubování s AFC (první vrstva)**

	Min	Max	Procentuální nárůst sil (%)
<b>F<sub>x</sub> [N]</b>	-772,6	771,3	20,4
<b>F<sub>y</sub> [N]</b>	-691	691	27,8
<b>F<sub>z</sub> [N]</b>	-196	457,5	19,6

Už na první vrstvě je patrné výrazné působení funkce AFC na síly působící na obrobek. Byl zaznamenán procentuální nárůst působících sil ve směru osy X o 20,4 %, ve směru osy Y o 27,8 % a ve směru osy Z o 19,6 % (Tab. 16). Největší síly bylo možné pozorovat ve směru osy X, a to dosáhly hodnoty 772,6 [N].



Obr. 41: Graf sil strategie HM hrubování prvního testu s použitím funkce AFC [autor]

Na obrázku č. 41 je zřejmé, že největší špičky sil vznikaly při vstupu nástroje do materiálu a při průchodu nástroje rohem dráhy.

Tento nárůst působících sil ve srovnání s původním obráběním bez použití funkce AFC lze vysvětlit zvýšenou průměrnou posuvovou rychlostí FAVG o 124 % a zkrácením času obrábění o 19 %.

```
Soubor: HSR_HMP_1.H.AFC2.DEP
NR  TOOL          IDX SNOM  SDIFF CTIME  FAVG FMIN  PMAX  PREF
0   FR_D20_Z3_R2_OSG_SHORT 0   3979   0.1   00:02:17 124 66   14.8 11.8
1                               total 00:02:17 19% saved
[END]
```

Obr. 42: Evaluační tabulka druhého testu s použitím strategie HM hrubování [autor]

Tento výsledek naznačuje, že použití funkce AFC má pozitivní vliv na efektivitu obráběcího procesu a může pomoci snížit dobu obrábění. Taky z tohoto testu vyplývá, že použití funkce AFC je zvláště užitečné při obrábění složitých geometrických tvarů, jako je tvarová kapsa.

## Druhý test

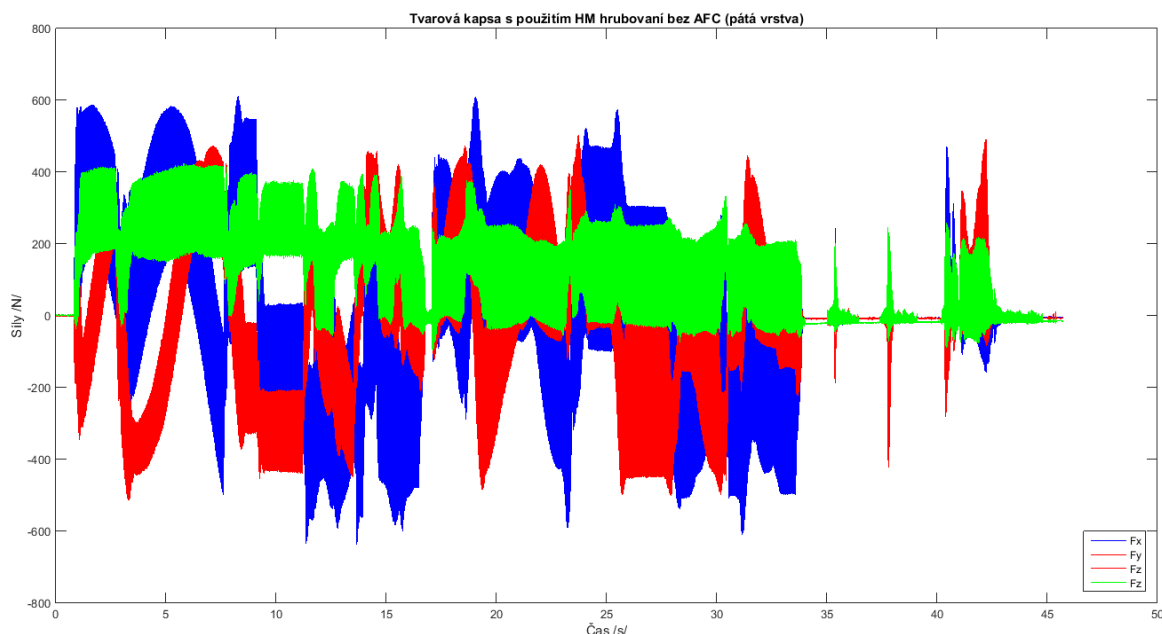
Tento test byl zaměřen na obrábění páté vrstvy tvarové kapsy. Měření působících sil a vlivu funkce AFC při obrábění šesté a sedmé vrstvy byly téměř stejné.

### Obrábění bez použití funkce AFC

Ze silového grafu vyplývá, že nejvyšší síly vznikaly ve směru osy X a byly téměř totožné s předchozí první vrstvou.

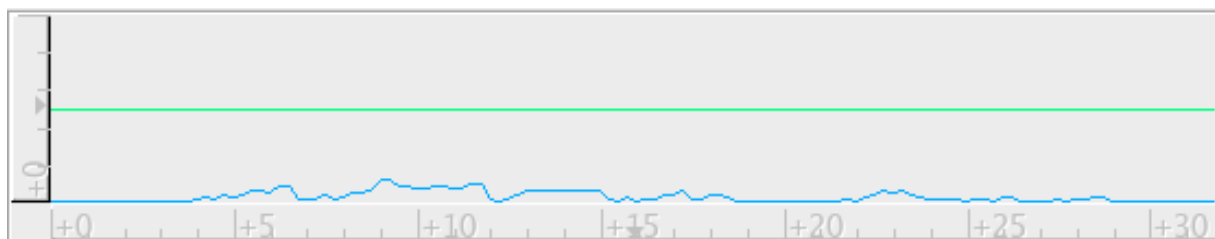
Tab. 17: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie HM hrubování bez AFC (pátá vrstva)

	Min	Max
Fx [N]	-635,4	611,3
Fy [N]	-508,6	472,5
Fz [N]	-88,8	421,1



Obr. 43: Graf sil strategie HM hrubování druhého testu bez funkce AFC [autor]

Z grafu na obrázku č. 44 lze vidět, že posuvová rychlost označená zelenou čarou byla konstantní po celou dobu obrábění. Změny se projevovaly pouze v zatížení vřetena, které se zvyšovalo při vnikání nástroje do obrobku a při změně směru drah nástroje.



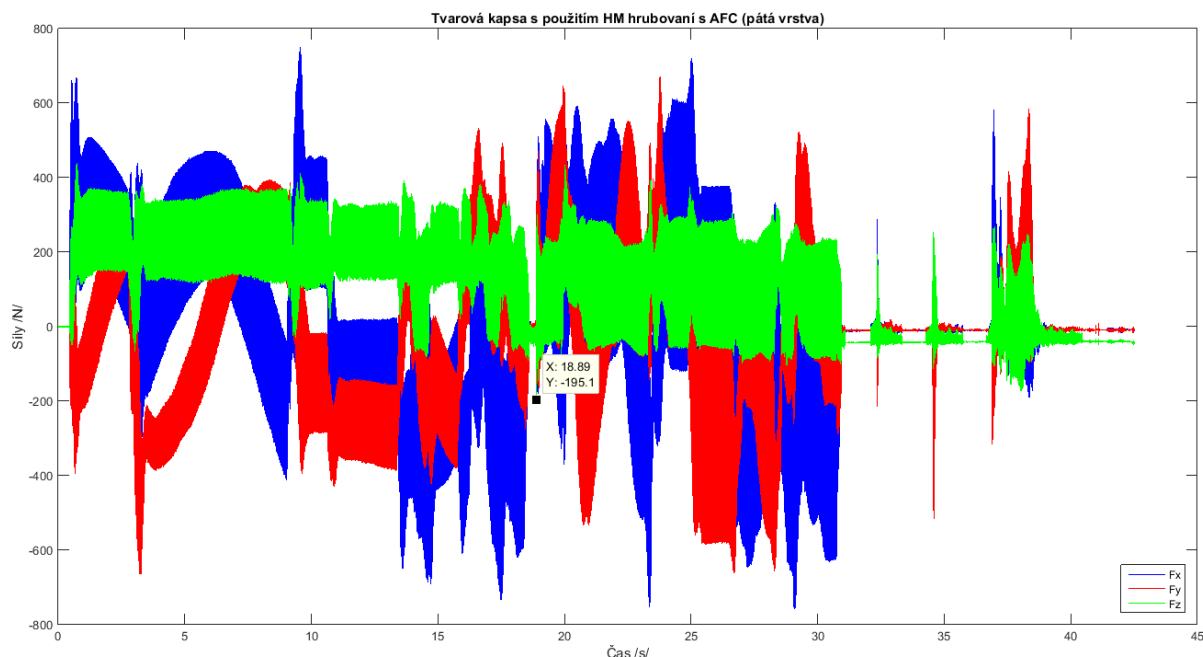
Obr. 44: Výsledný graf druhého testu strategie HM hrubování bez funkce AFC [autor]

### Obrábění s použitím funkce AFC

Během analýzy naměřených hodnot bylo zjištěno, že aktivace funkce AFC měla výrazný vliv na zvýšení sil působících na obrobek ve srovnání s obráběním bez této funkce. Nejvyšší hodnoty sil byly zpozorovány ve směru osy X a dosáhly hodnoty 753,9 [N]. V porovnání s předchozím obráběním byl zaznamenán průměrný nárůst sil o 17,2 % ve směru osy X, o 26,4 % ve směru osy Y a 19 % ve směru osy Z. (Tab. 18)

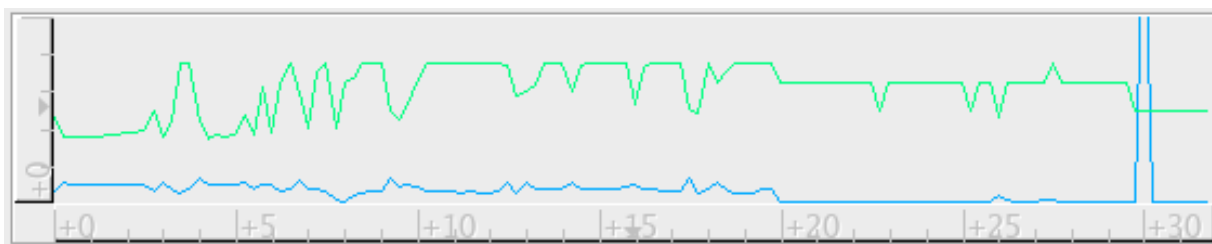
Tab. 18: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie HM hrubování s AFC (první vrstva)

	Min	Max	Procentuální nárůst sil (%)
Fx [N]	-753,9	750,9	17,2
Fy [N]	-664,7	667,7	26,4
Fz [N]	-195,1	433,8	19



Obr. 45: Graf sil strategie HM hrubování druhého testu s použitím funkce AFC [autor]

Také z výsledného grafu na obrázku č.46 je patrný vliv funkce AFC na rychlost posuvu v závislosti na zatížení vřetene. Je zřejmé, že při každém nárůstu zatížení vřetene funkce AFC zmenšovala rychlost posuvu.



Obr. 46: Výsledný graf druhého testu strategie HM hrubování s použitím funkce AFC [autor]

Pro srovnání výsledků obrábění s a bez zapnuté funkce AFC byla použita evaluační tabulka. (Obr. 47). Z této tabulky vyplývá, že průměrná posuvová rychlost FAVG se zvýšila o 116 % a čas obrábění se zkrátil o 14 % v porovnání s původním obráběním bez použití funkce AFC.

Soubor: HSR_HMP_5.H.AFC2.DEP									
NR	TOOL	IDX	SNOM	SDIFF	CTIME	FAVG	FMIN	PMAX	PREF
0	FR_DZ0_Z3_R2_OSG_SHORT	0	3979	0.0	00:00:57	116	68	14.7	11.8
1					total 00:00:57	14%	saved		

[END]

Obr. 47: Evaluační tabulka druhého testu s použitím strategie HM hrubování [autor]

Je třeba mít na paměti, že při zvyšování zatížení vřetene se zvyšuje odpor při obrábění a s ním i síly působící na nástroj, což může ovlivnit účinnost funkce AFC. Proto se v dalších vrstvách zmenšoval rozdíl v čase obrábění mezi zapnutou a vypnutou funkcí AFC. Nicméně i přes tyto rozdíly je stále pozitivní, že použití funkce AFC výrazně snižuje dobu obrábění.

Po provedení druhého testu je skutečně patrný vliv zvýšení nebo snížení posuvové rychlosti na působící síly. Při srovnání prvního a druhého testu je vidět, že v prvním testu se funkce AFC projevila více a síly působící na obrobek jsou větší, zatímco v druhém testu je tomu opačně.

### Třetí test

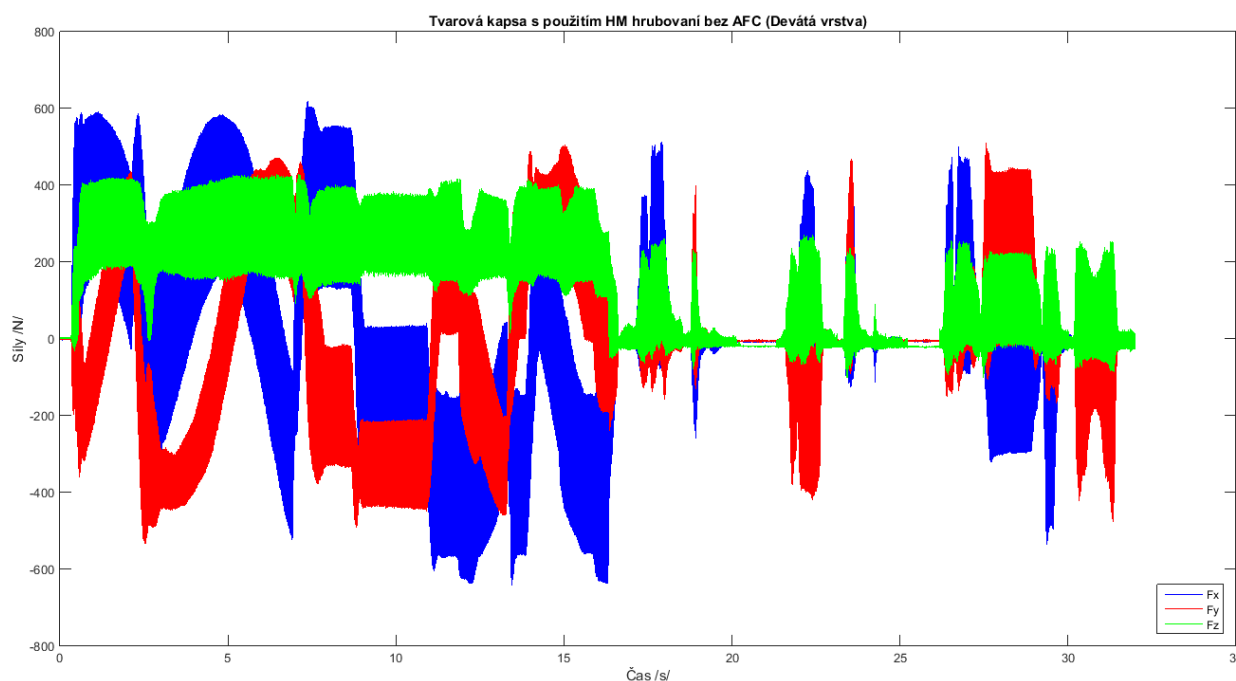
V třetím testu byla měřena devátá vrstva tvarové kapsy. Měření působících sil a vlivu funkce AFC při obrábění osmé vrstvy nemělo významný rozdíl oproti deváté.

### Obrábění bez použití funkce AFC

Ve srovnání s předchozími vrstvami byly působící síly větší, maximální síla byla ve směru osy X a dosahovala 633,3 [N]. (Tab.19)

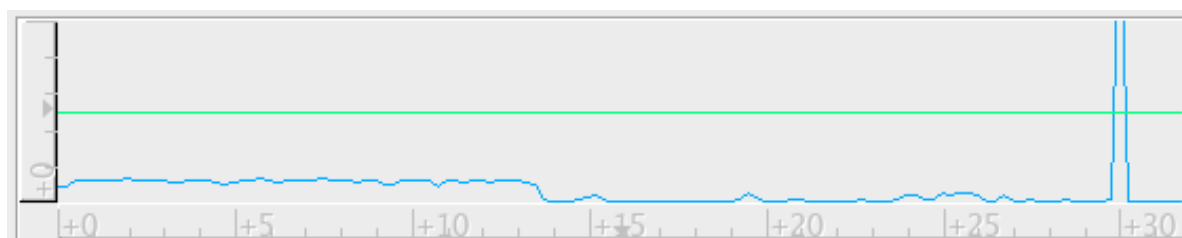
**Tab. 19: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie HM hrubování bez AFC (devátá vrstva)**

	Min	Max
<b>F<sub>x</sub> [N]</b>	-633,3	619,9
<b>F<sub>y</sub> [N]</b>	-527,5	511,2
<b>F<sub>z</sub> [N]</b>	-74,3	428



**Obr. 48: Graf sil strategie HM hrubování třetího testu bez funkce AFC [autor]**

Jak je vidět z výsledného grafu na obrázku č. 49, během obrábění byla pozorována výrazná zátěž vřetene. Oproti předchozímu testu, zatížení vřetena bylo výrazně zvýšeno téměř po celou dobu obrábění. Toto předpokládalo, že při obrábění s použitím funkce AFC bude posuvová rychlost, kterou funkce reguluje, výrazně menší.



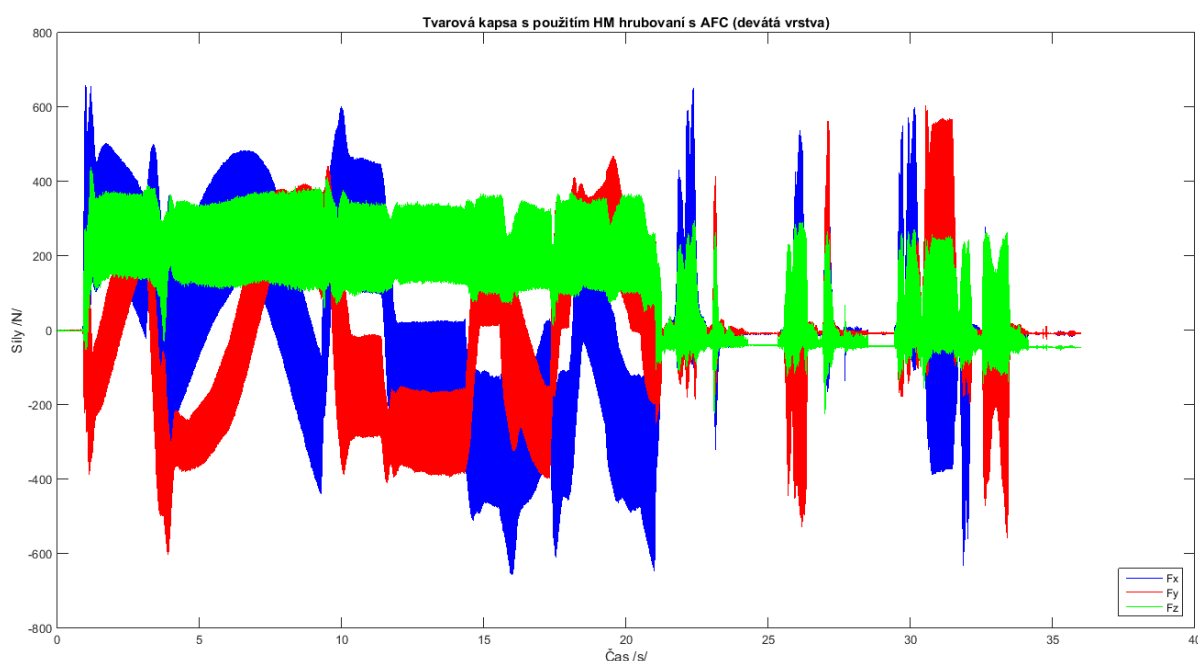
**Obr. 49: Výsledný graf druhého testu strategie HM hrubování bez funkce AFC [autor]**

## Obrábění s použitím funkce AFC

Jak bylo řečeno v předchozím obrábění deváté vrstvy bez funkce AFC, zatížení vřetena se výrazně zvětšilo a jak je patrné z tabulky č.20, síly působící na obrobek jsou také menší než v předchozích experimentech. Tato počáteční analýza byla předpokladem pro malý výkon funkce AFC.

Tab. 20: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie HM hrubování s AFC (devátá vrstva)

	Min	Max	Procentuální nárůst sil (%)
Fx [N]	-656,8	656,3	4,6
Fy [N]	-593,9	606	13,4
Fz [N]	-224,9	439	24,3



Obr. 50: Graf sil strategie HM hrubování třetího testu s použitím funkce AFC [autor]

Jak bylo předpokládáno z pozorování dat z předchozího měření, funkce AFC zmenšila maximální výkon vřetena P<sub>MAX</sub>, kterého bylo dosaženo při obrábění. Podle tabulky na obrázku č. 51 lze usoudit, že průměrná posuvová rychlost F<sub>AVG</sub> byla zvýšena na 107 %, což vedlo ke snížení času obrábění o 7 %.

```

Soubor: HSR_HMP_9.H.AFC2.DEP
NR   TOOL          IDX SNOM  SDIFF CTIME   FAVG FMIN  PMAX  PREF
0    FR_DZ0_Z3_R2_OSG_SHORT 0   3979    0.1  00:00:49 107  69   13.7  11.8
1                                     total 00:00:49 7%  saved
[END]
    
```

Obr. 51: Evaluační tabulka třetího testu s použitím strategie HM hrubování [autor]

Toto výrazně menší působení funkce AFC bylo zdůvodněno tím, že v posledních vrstvách kapsy byl nástroj veden přes celý průměr, což vedlo k menší průměrné posuvové rychlosti. Nicméně i přesto došlo k výraznému zkrácení času obrábění oproti původnímu testu.

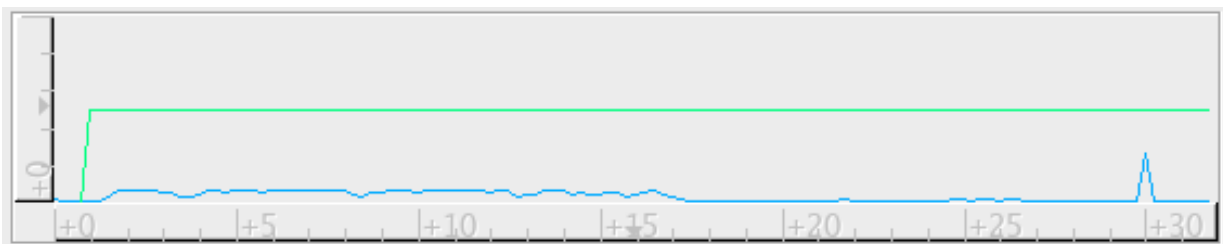
Jako výsledek tohoto testu lze říct, že při zvýšeném zatížení vřetena je působení funkce AFC menší, čímž je argumentováno i menší působení sil na obrobek.

## Čtvrtý test

V tomto testu bylo provedeno měření působících sil a analyzován vliv funkce AFC při obrábění poslední, desáté vrstvy tvarové kapsy. Tato vrstva se odlišovala od ostatních tím, že měla hloubku 0,5 mm. Předpokládalo se, že funkce AFC se výrazně projeví v porovnání s předchozími vrstvami.

### Obrábění bez použití funkce AFC

Na obrázku č. 52 je vidět, že k navýšení zatížení vřetene docházelo pouze při projetí první dráhy, kde nástroj obráběl celým průměrem. Nicméně i při této první dráhy bylo zatížení menší než při předchozích drahách, protože hloubka řezu byla menší. Po projetí první dráhy bylo zatížení výrazně menší díky dokončovacím drahám, kde nástroj obráběl menší šířkou řezu.



Obr. 52: Výsledný graf čtvrtého testu strategie HM hrubování bez funkce AFC [autor]

### Obrábění s použitím funkce AFC

Po analýze evaluační tabulky bylo zjištěno, že předpoklad o obrábění této drážky bez funkce AFC byl správný. Na obrázku č. 53 je jasně vidět, jak se funkce AFC silně projevila v procesu obrábění oproti předchozímu obrábění, kde došlo ke zkrácení času o 7 %. Z tabulky je patrné, že průměrná posuvová rychlost FAVG byla zvýšena na 137 %, což vedlo ke snížení času obrábění o 27 %. Taktéž došlo k výraznému snížení maximálního zatížení vřetena PMAX, stejně jako při obrábění třetí drážky pre-experimentu, kde byla testována funkce AFC při odlišném zatížení.

Soubor: HSR_HMP_10.H.AFCZ.DEP										
NR	TOOL	IDX	SNOM	SDIFF	CTIME	FAVG	FMIN	PMAX	PREF	
0	FR_D20_Z3_R2_OSG_SHORT	0	3979	0.0	00:00:37	137	81	9.5	11.8	
1					total 00:00:37	27%	saved			
[END]										

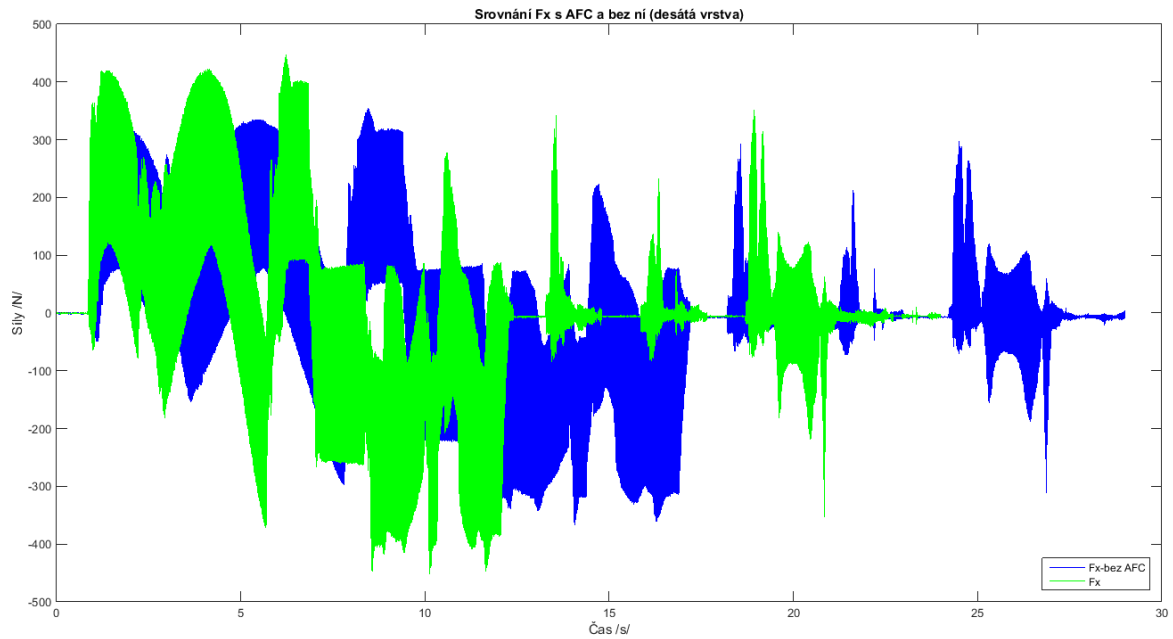
Obr. 53: Evaluační tabulka čtvrtého testu s použitím strategie HM hrubování [autor]

Pro účely názorné demonstrace a hlubší analýzy vlivu funkce AFC na působící síly bylo zvoleno vytvořit tři grafy pro osy X, Y a Z. Je evidentní, že funkce AFC vykazuje největší projev právě v deváté vrstvě, což je zřejmé z grafů, které přesvědčivě dokumentují rozdíl v působících silách a době obrábění mezi funkcí AFC a bez.

Tab. 21: Parametry grafu sil Fx strategie HM hrubování z funkce AFC a bez ní

	Min	Max
Fx [N]-bez AFC	-367	349,7
Fx [N]-s AFC	-450	447,3
Procentuální nárůst sil (%)	20,1	

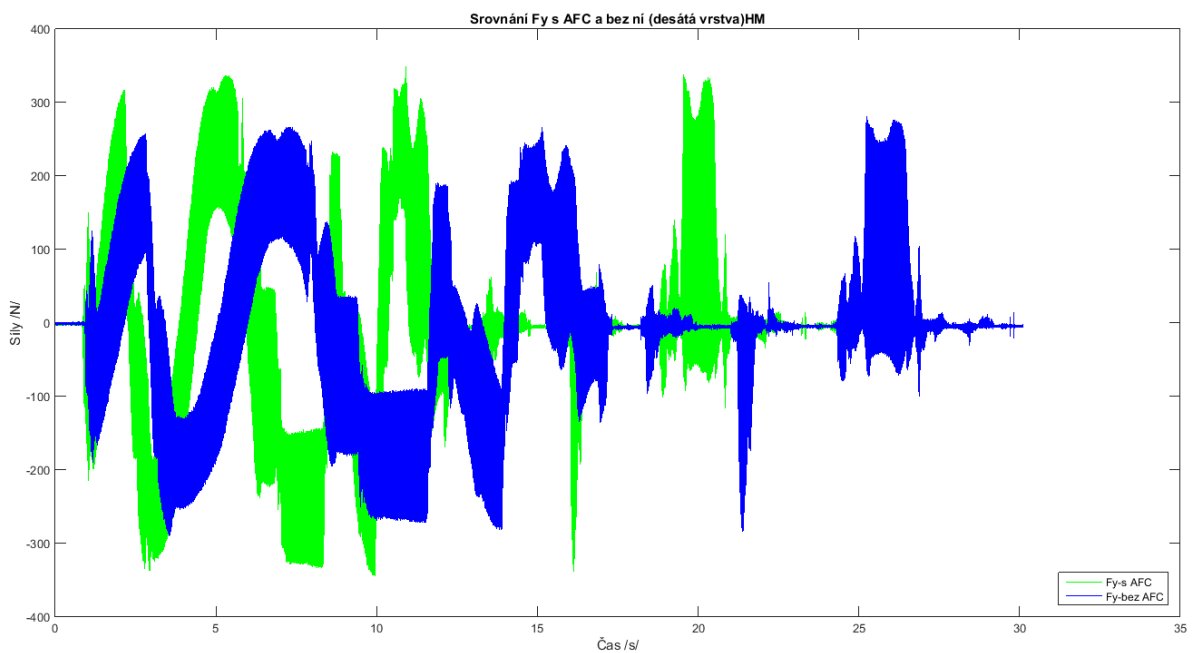




Obr. 54: Graf sil Fx strategie HM hrubování z funkce AFC a bez ní [autor]

Tab. 22: Parametry grafu sil Fy strategie HM hrubování z funkce AFC a bez ní

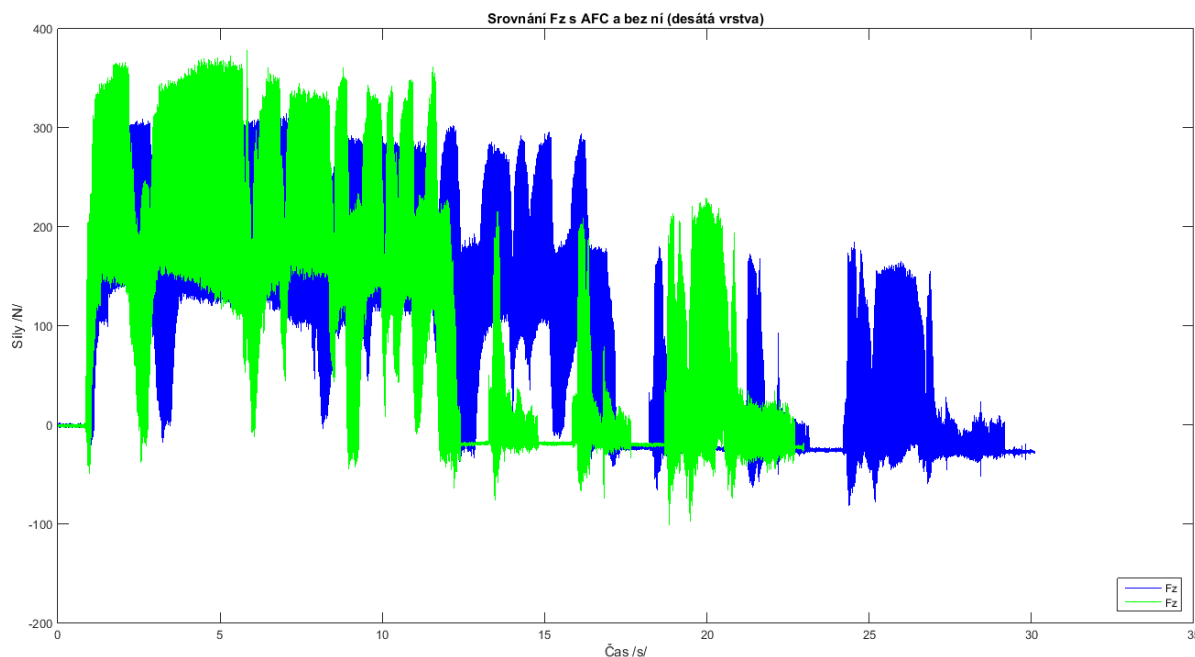
	Min	Max
Fy [N]-bez AFC	-293	268
Fy [N]-s AFC	-342,4	349,4
Procentuální nárůst sil (%)	21,9	



Obr. 55: Graf sil Fy strategie HM hrubování z funkce AFC a bez ní [autor]

**Tab. 23: Parametry grafu sil Fy strategie HM hrubování z funkce AFC a bez ní**

	Min	Max
Fz [N]-bez AFC	-80,2	302,8
Fz [N]-s AFC	-100,8	378,3
Procentuální nárůst sil (%)	20,1	



**Obr. 56: Graf sil Fy strategie HM hrubování z funkce AFC a bez ní [autor]**

### 3.3.2.1.1 Shrnutí obrábění s použitím strategie HM hrubování

Pro další možnost porovnání strategie HM hrubování s dalšími strategiemi s ohledem na funkci adaptivního řízení posuvu (AFC) je klíčové zjistit, o kolik průměrně vzrostla efektivita obrábění a o jakou míru se zvětšily síly působící na obrobek při obrábění celé tvarové kapsy. Po provedení analýzy jednotlivých deseti vrstev tvarové kapsy bylo zjištěno, že průměrně doba obrábění byla snížena o 16,5 % a celkové obrábění trvalo 7 minut 51 sekund. Síly působící na obrobek byly zvýšeny průměrně na 18,75 %.

Tyto výsledky potvrzují, že implementace funkce AFC s použitím strategie HM hrubování má pozitivní vliv na proces hrubování a zlepšuje efektivitu obrábění vyjádřenou snížením doby obrábění.

### 3.3.2.2 Obrábění tvarové kapsy s použitím strategie Lineární hrubování

V této kapitole bude detailně popisován průběh měření sil, které působí na obrobek při obrábění s funkcí AFC a bez ní. Bude také zkoumán vliv této funkce na celkový proces obrábění, a to v rámci použití strategie lineárního hrubování. Stejně jako v předchozí kapitole, kde byly popsány podobné postupy, budou i v této kapitole prováděny měření na určitých vrstvách tvarové kapsy, konkrétně na první, páté, deváté a desáté vrstvě.

## První test

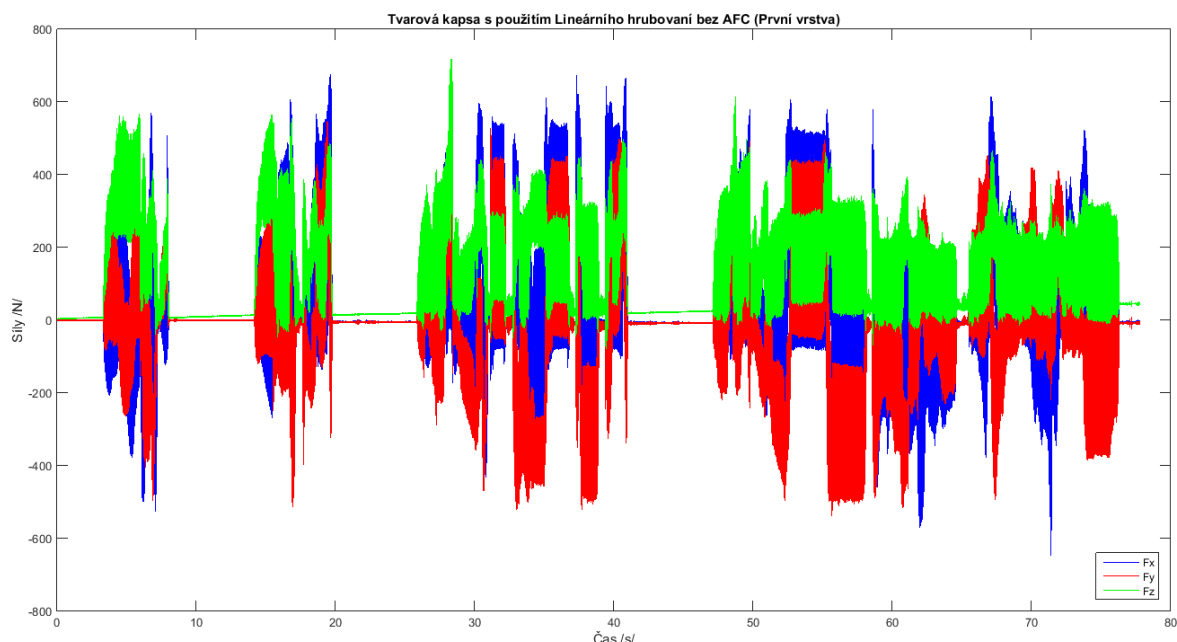
V prvním testu popsáno provádění obrábění první vrstvy tvarové kapsy. Toto měření zároveň sloužilo k ověření nastavení rozsahu sil při použití funkce lineárního hrubování.

### Obrábění bez použití funkce AFC

Z tabulky č. 24 je vidět, že maximální síla působící na obrobek byla ve směru osy Z a dosahovala 718 [N].

Tab. 24: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie Lineárního hrubování bez AFC (první vrstva)

	Min	Max
F <sub>x</sub> [N]	-646,9	547
F <sub>y</sub> [N]	-518,8	535,7
F <sub>z</sub> [N]	-73	718



Obr. 57: Graf sil strategie lineárního hrubování prvního testu bez funkce AFC [autor]

Při prvním měření působících sil byl dynamometr kalibrován na rozsah měření 1000 [N], přičemž se předpokládalo, že síly vyvíjené během obrábění strategií Lineárního hrubování se nebudou značně lišit od použití strategie HM hrubování. Na obrázku č. 57 je patrný rozdíl v porovnání s předchozí strategií. Je možné pozorovat, že síly se nevyvíjejí souvisle, ale jsou rozloženy do více větších nájezdů.

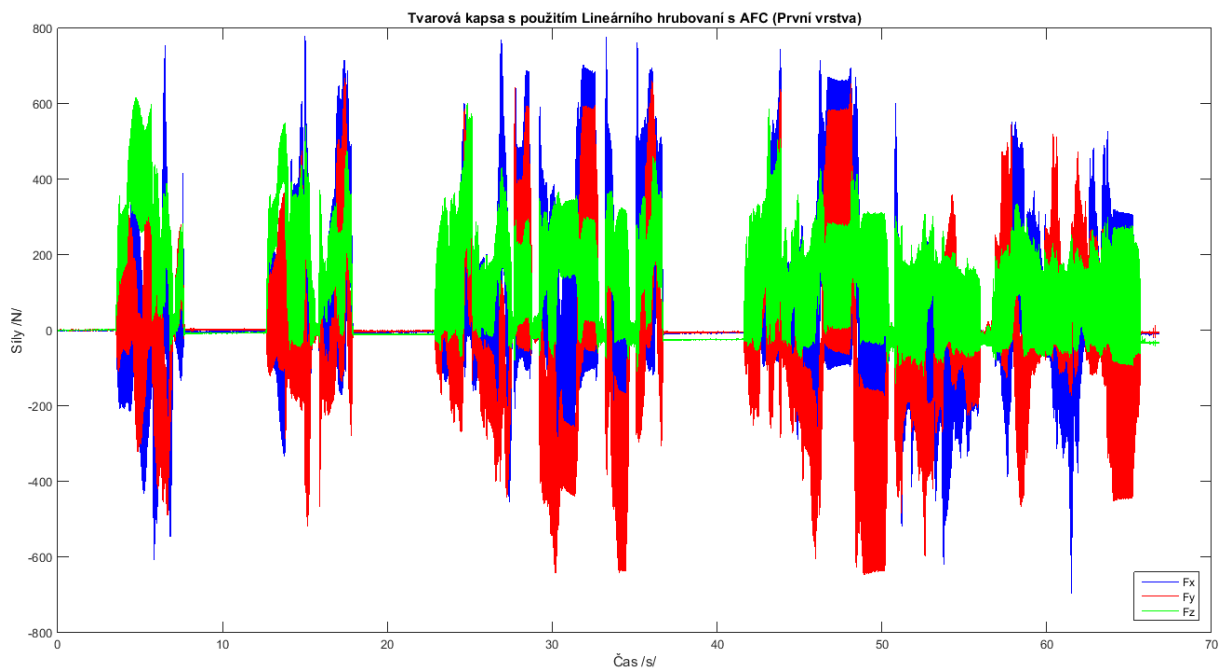
Po provedeném měření vznikl předpoklad, že funkce adaptivního řízení posuvu (AFC) se projeví významně výhodně, zejména v oblastech, kde je zatížení vřetena menší, neboť na tyto části obrobku nepůsobí žádná síla. Díky tomu může AFC efektivně regulovat rychlost posuvu a optimalizovat celkový proces obrábění, což v konečném důsledku přispívá k dosažení vyšších výkonů.

## Obrábění s použitím funkce AFC

Nejvýznamnější změnou, která se během tohoto měření projevila, bylo snížení působících sil ve směru osy Z o 9,8 %. Dále byl zaznamenán průměrný nárůst sil o 18,8 % ve směru osy X a o 18,8 % ve směru osy Y ve srovnání s předchozím obráběním (Tab. 25).

Tab. 25: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie Lineárního hrubování s AFC (první vrstva)

	Min	Max	Procentuální nárůst sil (%)
<b>F<sub>x</sub> [N]</b>	-694,2	776,4	18,8
<b>F<sub>y</sub> [N]</b>	-636,2	668,7	19,2
<b>F<sub>z</sub> [N]</b>	-102,2	618	-9,8



Obr. 58: Graf sil strategie lineárního hrubování prvního testu s použitím funkce AFC [autor]

Při analýze prvního grafu sil (Obr. 58) je evidentní, že funkce adaptivního řízení posuvu (AFC) se výrazně projevila při použití této strategie, což vedlo ke zvýšení sil a současně ke zkrácení doby obrábění.

Jak je patrné z evaluační tabulky na obrázku č. 59, použití strategie lineárního hrubování ve zpracování první vrstvy tvarové kapsy spolu s funkcí AFC mělo výrazný vliv na optimalizaci procesu. Díky funkci AFC se podařilo optimalizovat průběh obrábění a dosáhnout lepších výsledků při obrábění složitých geometrických tvarů, jako je tvarová kapsa. Průměrná posuvová rychlost FAVG byla zvýšena na 124 %, což vedlo ke snížení času obrábění o 19 %.

```
Soubor: HSR_R_Lin_1.H.AFC2.DEP
NR  TOOL          IDX  SNOM  SDIFF  CTIME  FAVG  FMIN  PMAX  PREF
0   FR_D20_Z3_RZ_OSG_SHORT  0   3979  0.1   00:01:33  124  60   17.0  11.8
1                                     total 00:01:33  19%  saved
[END]
```

Obr. 59: Evaluační tabulka prvního testu s použitím strategie lineárního hrubování [autor]

## Druhý test

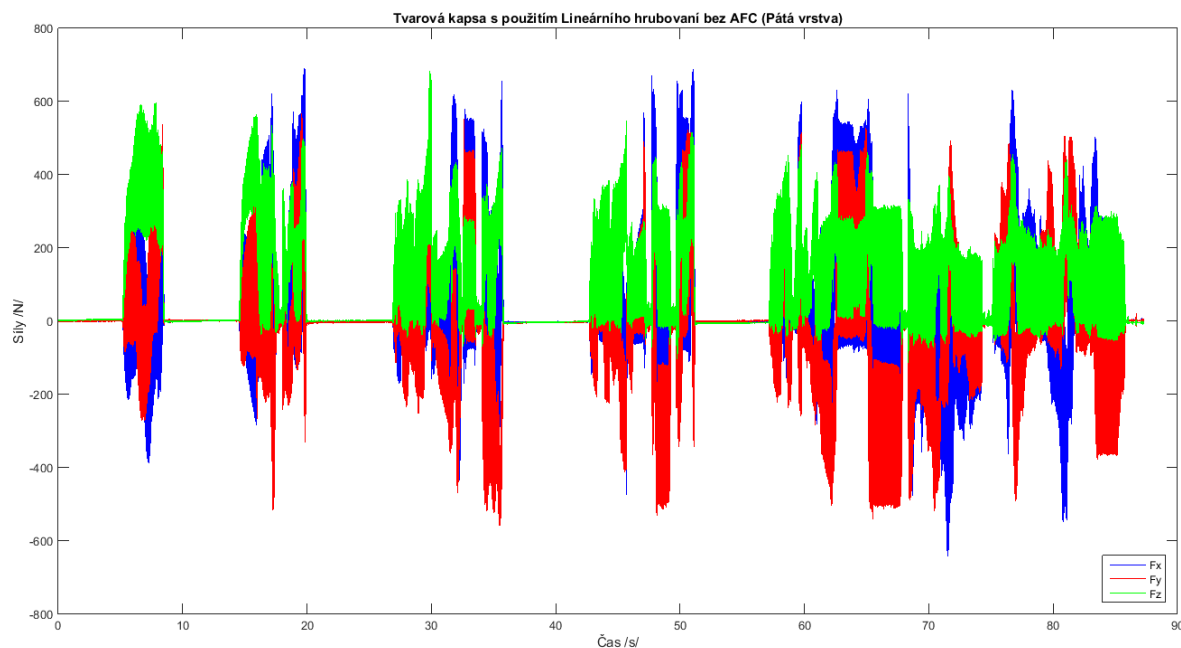
V druhém testu popsáno obrábění páté vrstvy tvarové kapsy. Měření působících sil a vlivu funkce AFC při obrábění druhé, třetí a čtvrté vrstvy neprokázalo signifikantní rozdíly oproti první a páté vrstvě, a proto byly jejich výsledky zahrnuty pouze do finálního vyhodnocení.

### Obrábění bez použití funkce AFC

V srovnání s předchozími vrstvami byly působící síly větší, maximální síla byla ve směru osy X a dosahovala 689,2 [N]. (Tab. 26)

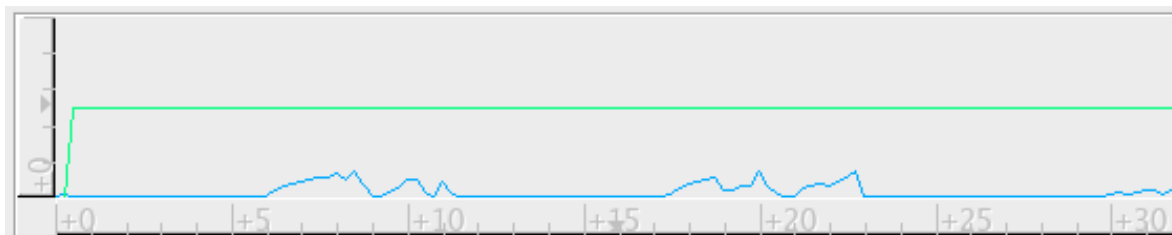
Tab. 26: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie Lineárního hrubování bez AFC (pátá vrstva)

	Min	Max
F <sub>x</sub> [N]	-639,4	689,2
F <sub>y</sub> [N]	-546,8	553,8
F <sub>z</sub> [N]	-78	684,1



Obr. 60: Graf sil strategie lineárního hrubování druhého testu bez funkce AFC [autor]

Z výsledného grafu na obrázku č. 61 je patrné, že v mnoha částech obráběného tvaru je zatížení vřetene minimální. Tento jev je vysvětlen tím, že při přejezdech mezi drahami strategie používá nájezd šroubovicovým způsobem, což minimalizuje zatížení vřetene na dobu nájezdu.



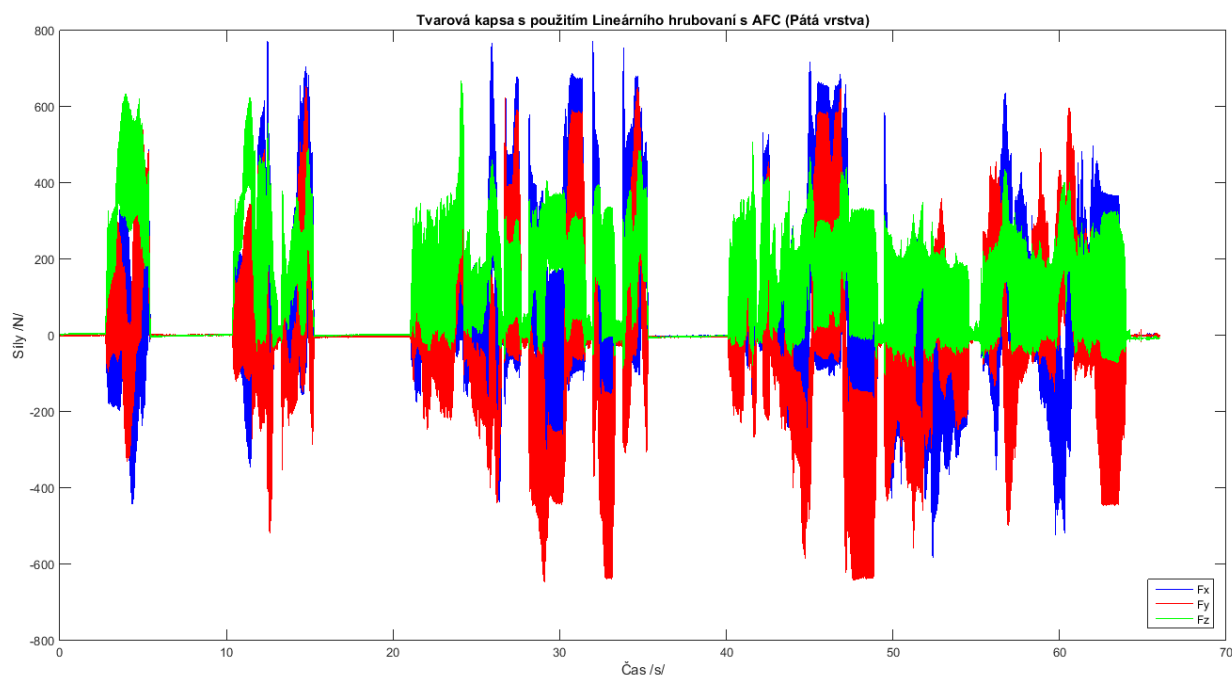
Obr. 61: Výsledný graf druhého testu strategie lineárního hrubování bez funkce AFC [autor]

## Obrábění s použitím funkce AFC

V porovnání s předchozím obráběním bez funkce AFC byly působící síly na obrobek zvýšeny o 1,7 % ve směru osy X, o 14,9 % ve směru osy Y a sníženy o 0,3 % (Tab. 27).

Tab. 27: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie Lineárního hrubování s AFC (pátá vrstva)

	Min	Max	Procentuální nárůst sil (%)
F <sub>x</sub> [N]	-582,2	769,2	1,7
F <sub>y</sub> [N]	-640,8	651,8	14,9
F <sub>z</sub> [N]	-90	670	-0,3



Obr. 62: Graf sil strategie lineárního hrubování druhého testu s použitím funkce AFC [autor]

Po důkladném zkoumání dat z měření se objevil předpoklad, že funkce AFC se projeví méně výrazně než v předchozím obrábění první vrstvy. Z experimentu ze strategie HM hrubování bylo patrné, že existuje souvislost mezi velikostí působících sil a optimalizací procesu pomocí funkce AFC.

Pro potvrzení tohoto předpokladu byla provedena analýza evaluační tabulky (Obr. 63). Po analýze parametru z evaluační tabulky bylo však zjištěno, že se funkce chovala stejně, jako při obrábění předchozí vrstvy. Funkce dokázala zvýšit průměrnou posuvovou rychlost FAVG o 123 %, což vedlo ke snížení doby obrábění o 19 %.

Z toho vyplývá, že při použití strategie lineárního hrubování funkce AFC dosahuje vyššího procentuálního výkonu tím, že navýší rychlosti posuvu v částech, kde nástroj najíždí a vzniká tak ideální prostředí pro uplatnění možností optimalizace funkce AFC.

```

Soubor: HSR_R_Lin_5.H.AFC2.DEP
NR   TOOL          IDX SNOM   SDIFF CTIME   FAVG FMIN   PMAX  PREF
0    FR_D20_Z3_R2_OSG_SHORT 0   3979   0.1   00:01:18 123  58    17.2 11.8
1                                     total 00:01:18 19%  saved
[END]
    
```

Obr. 63: Evaluační tabulka druhého testu s použitím strategie lineárního hrubování [autor]

Pro větší představu procesu je vhodné se obrátit na výsledný graf (Obr. 64), kde je patrné, že použití funkce AFC při obrábění páté vrstvy tvarové kapsy mělo značný vliv na průběh obrábění. Funkce AFC optimalizovala posuvovou rychlost od samotného začátku obrábění a regulovala ji s ohledem na zatížení vřetena. Výsledkem bylo vyšší dosažené zatížení vřetena v celkově kratším čase obrábění. Dále bylo zaznamenáno výrazné zkrácení přejezdů mezi jednotlivými dráhami obrábění, což přispělo k celkovému zkrácení doby obrábění.



Obr. 64: Výsledný graf druhého testu strategie lineárního hrubování s použitím funkce AFC [autor]

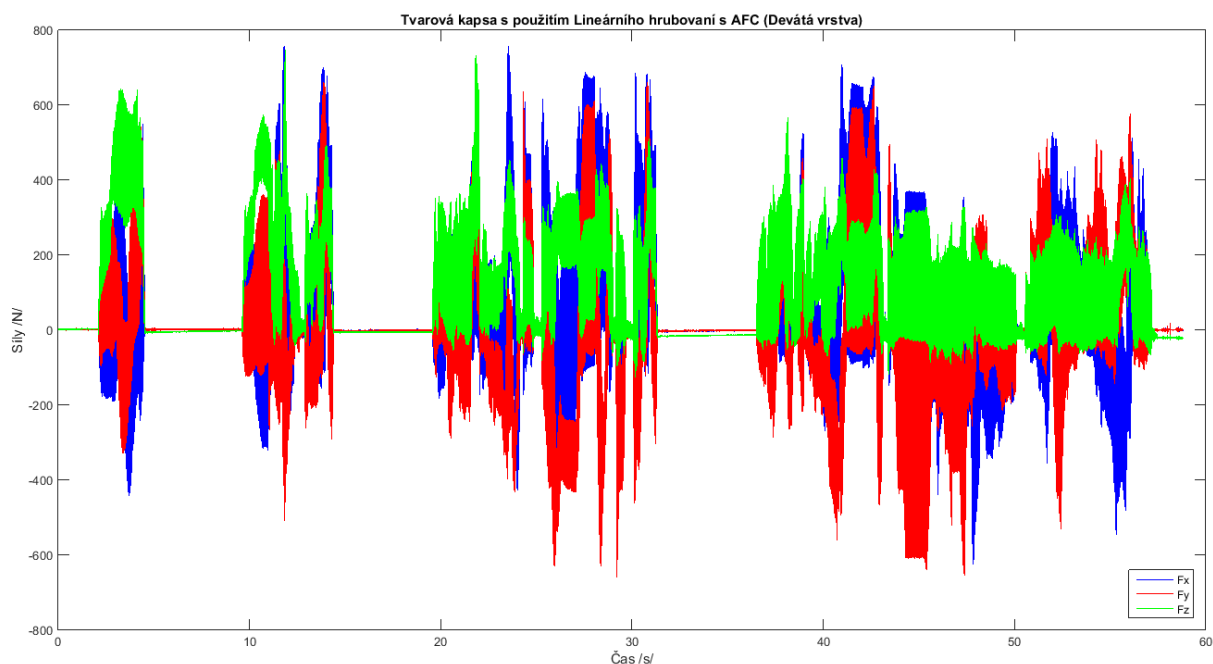
### Třetí test

Při provádění třetího testu, kdy byla obráběna devátá vrstva tvarové kapsy, nebyly zaznamenány žádné výrazné změny v parametrech obrábění při použití funkce AFC oproti předchozím vrstvám. Vzhledem k tomu, že trajektorie pohybu nástroje se výrazně nelišila, byla funkce adaptivního řízení posuvu stabilní a nepřinesla žádné významné změny v působení sil na obrobek. Výsledný graf sil a evaluační tabulka potvrzují, že funkce AFC byla v této fázi testování spolehlivá a stabilní.

Nejvyšší hodnoty sil byly pozorovány ve směru osy X a dosáhly hodnoty 762 N. Při porovnání s obráběním bez funkce AFC byl zaznamenán průměrný nárůst sil o 3,4 % ve směru osy X, o 20,3 % ve směru osy Y a o 3,7 % ve směru osy Z. (Tab. 28)

Tab. 28: Parametry grafu sil tvarové kapsy s použitím strategie Lineárního hrubování s AFC (devátá vrstva)

	Min	Max	Procentuální nárůst sil (%)
Fx [N]	-553	762	3,4
Fy [N]	-632	623	20,3
Fz [N]	-117	746	3,7



Obr. 65: Graf sil strategie lineárního hrubování druhého testu s použitím funkce AFC [autor]

Z evaluační tabulky je patrné, že průměrná posuvová rychlost FAVG byla zvýšena na 124 %, což vedlo ke snížení času obrábění o 19 %. (Obr. 66)

Soubor: HSR_R_Lin_9.H.AFC2.DEP										
NR	TOOL	IDX	SNOM	SDIFF	CTIME	FAVG	FMIN	PMAX	PREF	
0	FR_D20_Z3_R2_OSG_SHORT	0	3979	0.1	00:01:09	124	62	17.6	11.8	
1					total	00:01:09	19%	saved		
[END]										

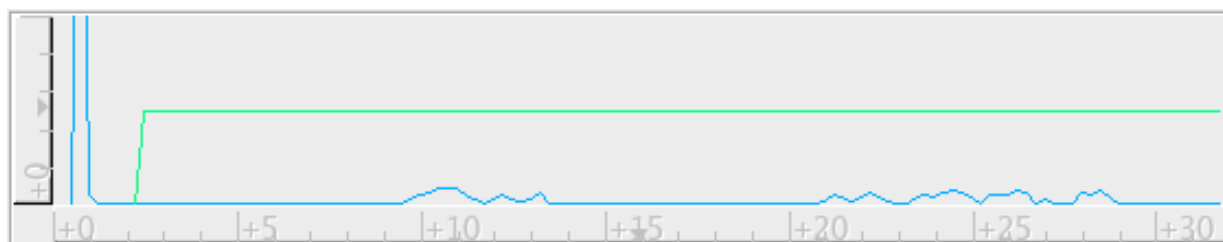
Obr. 66: Evaluační tabulka druhého testu s použitím strategie lineárního hrubování [autor]

## Čtvrtý test

Čtvrtý test byl proveden za účelem analýzy dat z poslední, desáté vrstvy tvarové kapsy. Předpokládalo se, že funkce adaptivního řízení posuvu bude mít výraznější vliv na obrábění v této vrstvě v porovnání s předchozími testy. Tento předpoklad byl vysvětlen tím, že vrstva měla hloubku řezu pouze 0,5 mm a při obrábění stejné vrstvy s použitím strategie HM hrubování docházelo k větším optimalizačním schopnostem funkce AFC.

### Obrábění bez použití funkce AFC

Z výsledného grafu na obrázku č. 67 je patrné, že při použití funkce AFC došlo k menšímu zatížení včetně při obrábění poslední, desáté vrstvy tvarové kapsy v porovnání s předchozím testem, avšak tento rozdíl nebyl tak výrazný jako při použití strategie HM hrubování.

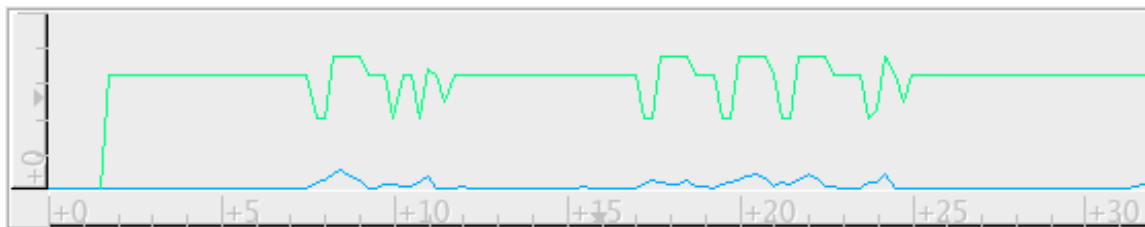


Obr. 67: Výsledný graf čtvrtého testu strategie lineárního hrubování bez funkce AFC [autor]



## Obrábění s použitím funkce AFC

Z výsledného grafu, který je prezentován na obrázku č. 68, lze vyčíst, že došlo k významnému nárůstu výkonu v porovnání s původním obráběním. Nicméně, pokud porovnáme toto výsledné měření s předchozím řezem provedeným s využitím funkce AFC dokážeme zjistit, že navýšení není tak markantní.



Obr. 68: Výsledný graf čtvrtého testu strategie lineárního hrubování s použitím funkce AFC [autor]

Toto tvrzení je také potvrzeno evaluační tabulkou, která dokazuje, že průměrná řezná rychlost byla zvýšena o 3 % ve srovnání s předchozím obráběním a celkově na 127 % ve srovnání s původním obráběním. Celkový čas obrábění se zvýšil o 2 % ve srovnání s předchozím obráběním a na 21 % v porovnání s původním obráběním. Z tohoto lze usoudit, že i když není výrazný nárůst, funkce AFC má stále významný vliv na výsledky oproti původnímu obrábění.

Soubor: HSR_R_Lin_10.H.AFC2.DEP									
NR	TOOL	IDX	SNOM	SDIFF	CTIME	FAVG	FMIN	PMAX	PREF
0	R_D20_Z3_R2_OSG_SHORT	0	3979	0.1	00:01:02	127	81	12.2	11.8
1					total 00:01:02	21%	saved		

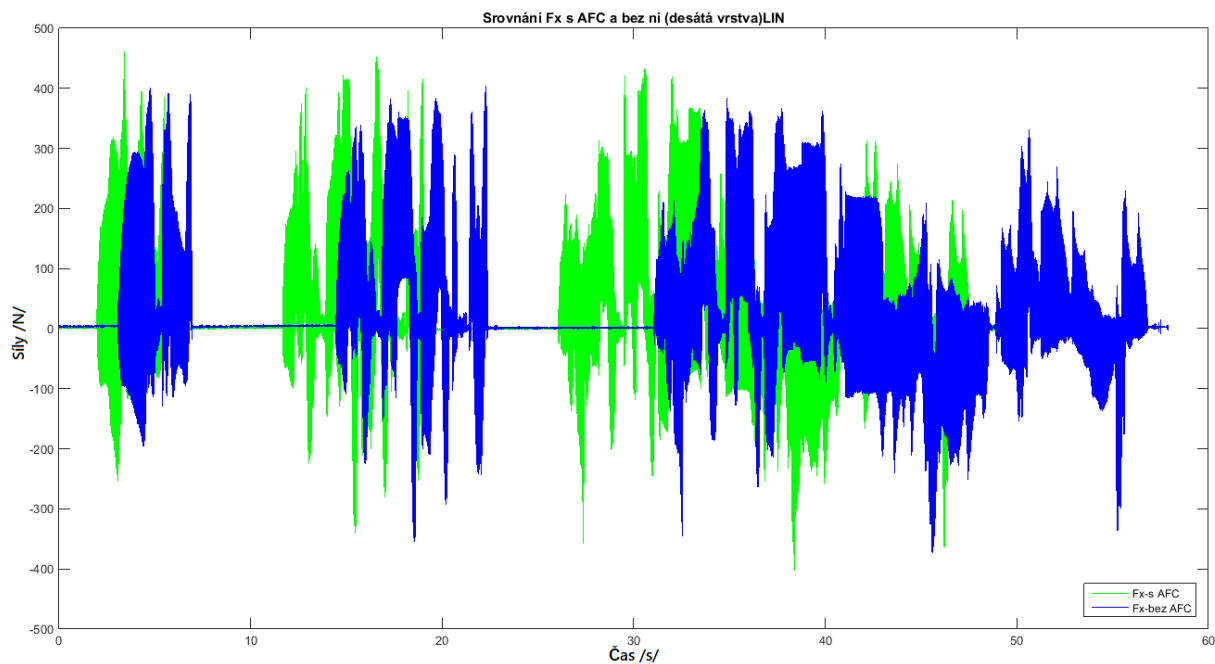
[END]

Obr. 69: Evaluační tabulka čtvrtého testu s použitím strategie lineárního hrubování [autor]

Bylo rozhodnuto vytvořit tři grafy pro osy X, Y a Z s cílem názorně demonstrovat a získat hlubší porozumění vlivu funkce AFC na působící síly ve srovnání s původním obráběním.

Tab. 29: Parametry grafu sil Fx strategie Lineárního hrubování z funkce AFC a bez ní

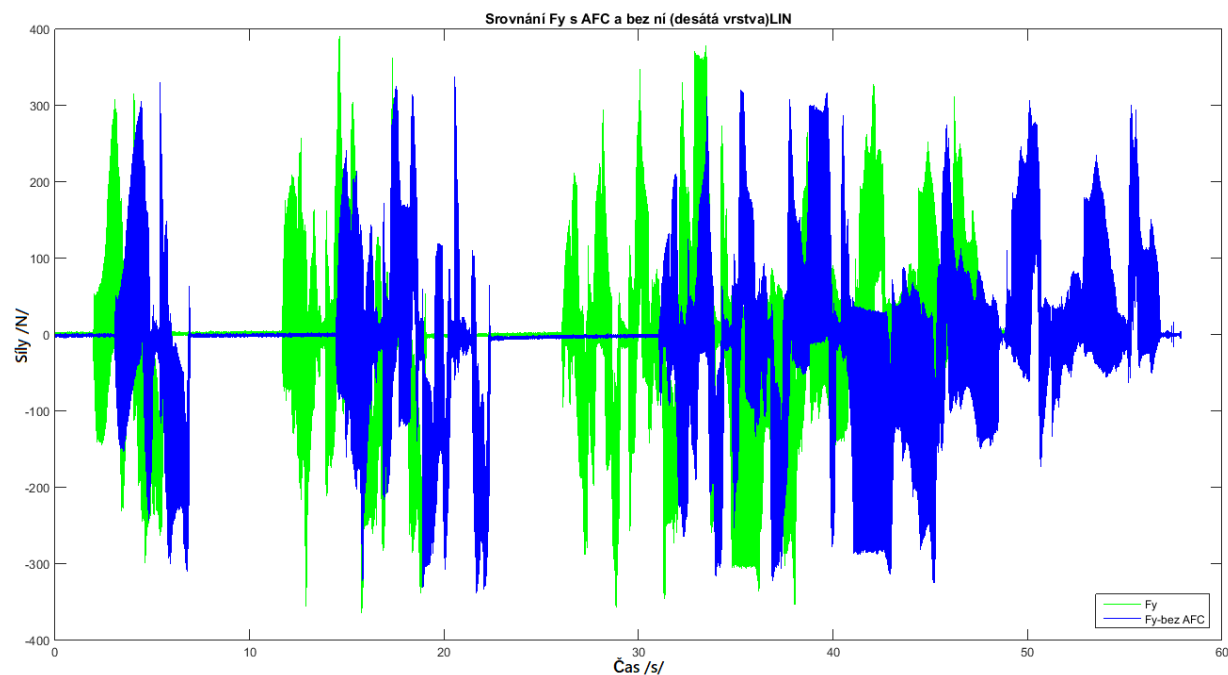
	Min	Max
Fx [N]-bez AFC	-367,1	404
Fx [N]-s AFC	-393	461,7
Procentuální nárůst sil (%)	9,8	



Obr. 70: Graf sil Fx strategie Lineárního hrubování z funkce AFC a bez ní [autor]

Tab. 30: Parametry grafu sil Fy strategie Lineárního hrubování z funkce AFC a bez ní

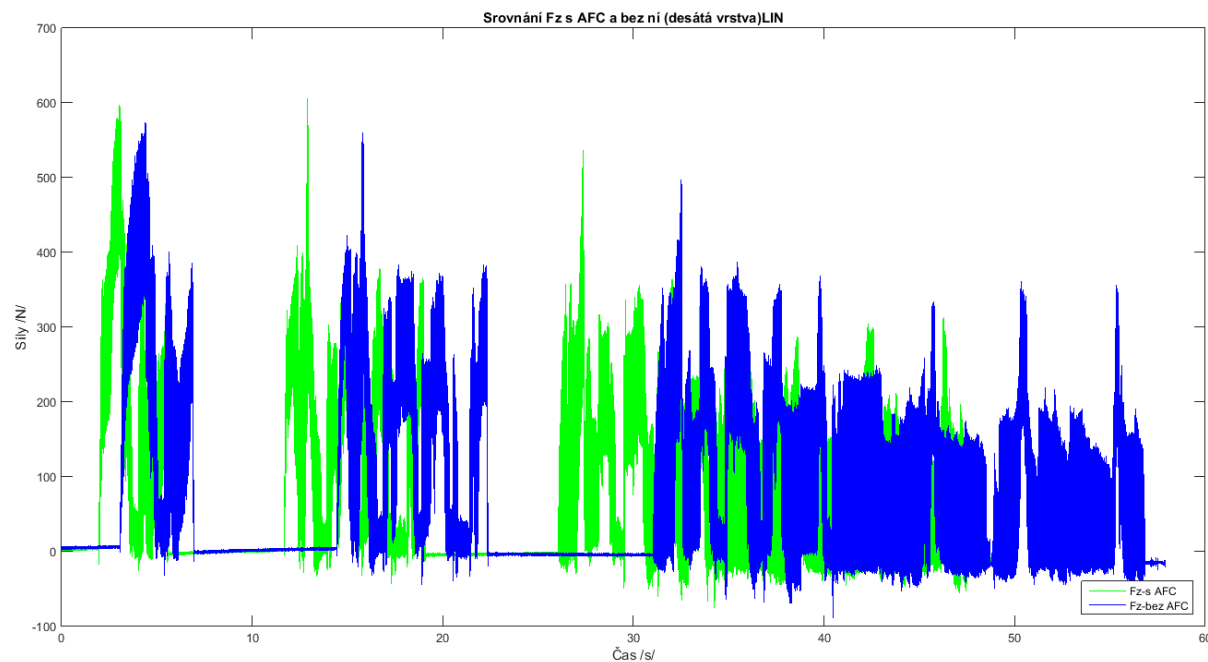
	Min	Max
Fy [N]-bez AFC	-315	336
Fy [N]-s AFC	-368	394
Procentuální nárůst sil (%)	14,6	



Obr. 71: Graf sil Fy strategie Lineárního hrubování z funkce AFC a bez ní [autor]

**Tab. 31: Parametry grafu sil Fz strategie Lineárního hrubování z funkce AFC a bez ní**

	Min	Max
Fz [N]-bez AFC	-89,15	573
Fz [N]-s AFC	-75	606,3
Procentuální nárůst sil (%)	2,8	



**Obr. 72: Graf sil Fz strategie Lineárního hrubování z funkce AFC a bez ní [autor]**

Z analýzy detailních silových účinků na obrobek je patrné, že funkce AFC implementovaná pomocí strategie Lineárního hrubování se projevuje stabilně v každé vrstvě.

### 3.3.2.2.1 Shrnutí obrábění s použitím strategie Lineárního hrubování

Z provedeného experimentu s využitím strategie Lineárního hrubování vyplývá, že funkce adaptivního řízení posuvu (AFC) je charakterizována vyšší stabilitou. Tato stabilita je dosažena díky efektivnímu využití většího počtu přejezdů pro optimalizaci procesu obrábění. Vysvětlení této stability spočívá v tom, že v každé vrstvě, kde se aplikuje lineární hrubování, jsou nájezdy konzistentní a trajektorie nástroje se významně nemění.

Pro další možnosti porovnání s dalšími strategiemi s ohledem na funkci adaptivního řízení posuvu (AFC) jsou zaznamenány parametry jako například o kolik průměrně vzrostla efektivita obrábění a o jakou míru se zvětšily síly působící na obrobek při obrábění celé tvarové kapsy. Z analýzy celé kapsy bylo stanoveno, že průměrná doba obrábění byla snížena o 19,8 % a celkové obrábění trvalo 12 minut a 8 sekund. Síly působící na obrobek byly zvýšeny průměrně na 7,7 %.

Tyto výsledky jednoznačně potvrzují, že implementace funkce adaptivního řízení posuvu (AFC) s použitím strategie Lineárního hrubování má pozitivní vliv na proces obrábění a výrazně zlepšuje efektivitu obrábění prostřednictvím významného snížení celkové doby obrábění.

### 3.3.2.3 Shrnutí druhého experimentu

V tomto experimentu bylo mezi hlavní cíle zahrnuto především použití a porovnání různých strategií obrábění s funkcí adaptivního řízení posuvu (AFC). Jako zkoumané strategie byly vybrány "HM hrubování" a "Lineární hrubování".

Pro možnost vyhodnotit lepší variantu pro použití v tomto experimentu byly sledovány vlivy působících sil na obrobek, změna zatížení vřetene a rychlosti posuvu. Kromě toho byly analyzovány výhody implementace funkce AFC v souvislosti se snížením doby obrábění.

Srovnání těchto dvou strategií lze rozdělit na dva účely. Prvním je porovnání s ohledem na účinnost funkce adaptivního řízení posuvu (AFC). Při obrábění s použitím strategie Lineárního hrubování se funkce prokázala lepšími výsledky, což vedlo ke snížení doby obrábění o 19,8 % a průměrnému zvýšení působících sil na obrobek o 7,7 %. Tato strategie rovněž projevila stabilitu při použití funkce AFC, což bylo vysvětleno opakovaností trajektorie drah nástroje. Naopak strategie HM hrubování dokázala zkrátit dobu obrábění o 16,5 % při zvýšení působících sil na obrobek o 18,75 %. Z toho vyplývá, že implementace funkce adaptivního řízení posuvu (AFC) je velmi účinná a má pozitivní vliv při použití obou strategií, avšak strategie Lineárního hrubování se projevila jako výhodnější.

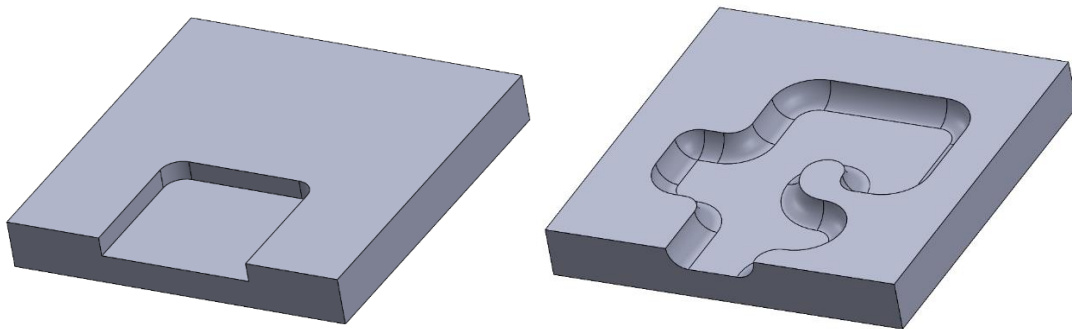
Druhé srovnání se zaměřuje na efektivitu obrábění a implementaci funkce AFC do výroby. V každé výrobě je čas obrábění jedním z nejdůležitějších parametrů. V této části se strategie HM hrubování ukázala jako mimořádně významná, neboť celková doba obrábění tvarové kapsy činila 7 minut a 51 sekund, zatímco při použití strategie Lineárního hrubování dosáhla hodnoty 12 minut a 8 sekund. I kdyby strategie Lineárního hrubování s použitím funkce AFC dosáhla vyššího zkrácení doby obrábění o 2,25 % než HM hrubování, nejedná se o tak výrazný rozdíl, zejména pokud by bylo vzato v úvahu, že celkový čas obrábění při použití strategie Lineárního hrubování je vyšší o 35 % než při použití strategie HM hrubování.

## 4. Závěr

Cílem této práce bylo prozkoumat možnosti hardwarové optimalizace systému Heidenhain iTNC530 a prakticky porovnat různé strategie hrubování při implementaci funkce adaptivního řízení posuvu (AFC).

V teoretické části diplomové práce byly popsány různé možnosti hardwarové optimalizace systému Heidenhain iTNC530. Po provedení rešerší na zadané téma bylo zjištěno, že funkce AFC je součástí celého balíku hardwarových funkcí nazvaný Dynamická výkonnost. Následně byly podrobně popsány jednotlivé funkce a provedena analýza diplomové práce, která se zabývala právě funkcí AFC a jejím aktivováním a která slouží jako výchozí podklad pro hlubší prozkoumání použití této funkce.

V praktické části diplomové práce bylo mezi hlavní cíle zařazeno testování chování funkce adaptivního řízení posuvu (AFC) v rámci hrubovacích strategií. Tato funkce je specificky naprogramována pro tyto účely. S cílem zahrnout co nejvíce možností bylo rozhodnuto provést dva experimenty, které se zaměřovaly na srovnání hrubovacích strategií "HM hrubování" a "Lineární hrubování".



**Obr. 73: Model obrobku jednoduché kapsy (vlevo) a tvarové kapsy (vpravo)[autor]**

První experiment byl zaměřen na správné nastavení a vyzkoušení funkce AFC na jednoduchých tvarech s nastavenými parametry pro obráběný materiál. Tento experiment byl rozdělen do dvou částí. První část měla za cíl aktivovat a nakonfigurovat funkci AFC tak, aby bylo možné zjistit zatížení vřetene potřebné pro správnou funkčnost AFC a vhodné řezné podmínky pro daný materiál. V této části bylo také uvažováno o možnostech využití naučených dat pro další experimenty. Druhá část experimentu se zaměřovala na testování těchto nastavení při obrábění jednoduché kapsy. Současně probíhalo měření působících sil na obrobek a bylo provedeno první srovnání použitých strategií.



Druhý experiment byl navržen s cílem využít naučená data z prvního experimentu při obrábění složitých tvarů, jako je například tvarová kapsa. Hlavním cílem experimentu bylo porovnat strategie "HM hrubování" a "Lineární hrubování" a vyhodnotit, která varianta je pro použití vhodnější. Během experimentu byly zaznamenávány extrémy působících sil na obrobek, změny zatížení vřetene a posuvových rychlostí při použití funkce AFC a bez ní.

Výstupem diplomové práce je prozkoumaná funkce adaptivního řízení posuvu (AFC) při obrábění různých tvarů obrobku s využitím dvou odlišných hrubovacích strategií. Byla provedena podrobná analýza výkonu funkce AFC a identifikovány možnosti vyhnout se tradičního procesu učení funkce, což přináší časovou úsporu při opětovném nastavení. Práce rovněž popisuje postup pro využití naučených dat a jejich aplikaci při dalším obrábění, čímž se dosahuje efektivnějšího a optimalizovaného procesu. Tento postup byl vyzkoušen a aplikován na základě poznání funkce a jejího chování v průběhu testování. Výrobce se o této možnosti postupu v příslušném manuálu však nezmiňuje a uvádí pouze doporučení při aktivaci funkce.



V závěru práce lze konstatovat, že obě strategie, jak HM hrubování, tak i Lineární hrubování, jsou vhodné pro použití s funkcí adaptivního řízení posuvu (AFC) a mají významný vliv na optimalizaci procesu obrábění. Avšak na základě provedených experimentů a analýzy lze doporučit strategii HM hrubování s implementovanou funkcí AFC jako vhodnější volbu. I když při obrábění tvarové kapsy působící síly na obrobek byly vyšší a zkrácení času vlivem funkce AFC bylo menší při použití strategií HM hrubování oproti strategiím Lineárního hrubování, nedocházelo k extrémnímu rozdílu v těchto parametrech. Ale pokud byl zohledněn rozdíl v celkovém čase obrábění, strategie HM hrubování se projevila jako mimořádně významná ve srovnání se strategií Lineárního hrubování, a to až s rozdílem dosahujícím 35 %. (Tab. 32). Doporučení strategie HM hrubování s použitím funkce AFC lze také argumentovat zjištěnými parametry při obrábění jednoduché kapsy. Rozdíl mezi použitými strategiemi nebyl výrazně velký z hlediska působení funkce AFC. Nicméně při obrábění docházelo k menšímu nárůstu působících sil na obrobek a celkový čas obrábění byl menší u strategie HM hrubování ve srovnání se strategií Lineárního hrubování. (Tab. 33). Tímto doporučením se nabízí možnost optimalizovat obrábění s využitím funkce AFC a dosáhnout efektivního výsledku.

V tabulce č. 32 je také uveden parametr stability funkce AFC, který byl vyvinut analýzou evaluačních tabulek při obrábění deseti samostatných vrstev tvarové kapsy. Během obrábění s použitím strategie HM hrubování došlo k výrazným změnám působení funkce AFC v rozmezí od 7 % do 19 % zkráceného času, s průměrnou hodnotou 16,8 %. Při použití strategie Lineárního hrubování byly zjištěny změny kolem 1 % s průměrnou hodnotou 19,8 % v průběhu obrábění všech deseti vrstev. V tabulce č. 33, která prezentuje parametry obrábění jednoduché kapsy, nebyl uveden parametr stability, neboť kapsa nebyla rozdělena na samostatné vrstvy. Předpokládá se však, že stabilita působení funkce AFC v jednoduché kapse, kde jsou všechny vrstvy totožné, je na vysoké úrovni.

Tab. 32: Shrnutí hrubovacích strategií v tvarové kapse s aktivovanou funkcí AFC

	HM hrubování	Lineární hrubování	Rozdíl z pohledu HM hrubování
Nárůst sil [%]	+18,75	+7,7	+11,05
Snížení doby obrábění pomocí funkce AFC v srovnání s neaktivovanou funkcí. [%]	-16,5	-19,8	-3,3
Celkový čas obrábění [min]	7,85	12,3	-4,45
Funkce AFC	Nižší stabilita	Vyšší stabilita	-
Doporučení kombinace hrubovací strategie a zapnuté funkce AFC z pohledu stability			-
Doporučení kombinace hrubovací strategie a zapnuté funkce AFC z pohledu výrobního času			-

Tab. 33: Shrnutí hrubovacích strategií v jednoduché kapse s aktivovanou funkcí AFC

	HM hrubování	Lineární hrubování	Rozdíl z pohledu HM hrubování
Nárůst sil [%]	+12,9	+14,2	-2,2
Snížení doby obrábění pomocí funkce AFC [%]	-19	-21	-2
Celkový čas obrábění [min]	1,8	2,18	-0,38
Doporučení hrubovací strategie z pohledu účinnosti funkce AFC.			-
Doporučení kombinace hrubovací strategie a zapnuté funkce AFC z pohledu výrobního času			-

Tato práce poskytuje cenné poznatky pro další výzkum a využití funkce AFC v oblasti hardwarové optimalizace na systému Heidenhain iTNC530. Jako doporučení pro následující práce, které se budou zabývat touto problematikou, lze navrhnout hlubší zkoumání měřených sil tak, aby bylo možné analyzovat, jak se mění působící síly a zatížení vřetene v závislosti na poloze nástroje na dráze. Současně by se dalo při testování aplikovat měření opotřebení nástroje tak, aby bylo sledováno opotřebení v závislosti na použité strategii s aktivovanou funkcí adaptivního řízení posuvu (AFC).

## Seznam použitých zdrojů

- [1] Manuál řídicího systému Heidenhain
- [2] VEVRKOVÁ, Michala. Measurement of vibrations in CNC machine. In: Elektrotechnik a a informatika 2008. Část 1., Elektrotechnika: 9. ročník konference doktorských prací, Záme k Nečtiny, 6. – 7. listopadu 2008. V Plzni: Západočeská univerzita, 2008. s. 133-136. ISBN 978-80-7043-702-5.
- [3] SMID, Peter. CNC controlsetupformilling and turning: mastering CNC controlsystems. New York: IndustrialPress, 2010. 286 s. ISBN 978-0-8311-3350-4.
- [4] ALTIN Yusuf. Manufacturingautomation: metal cuttingmechanics, machinetoolvibrations, and CNC design. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. 366 s. ISBN 978-0-521-17247- -9.
- [5] MAREK, Jiří a kol. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. 684 stran. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [6] ŠTULPA, Miloslav. CNC: programování obráběcích strojů. První vydání. Praha: GradaPublishing, 2015. 240 stran. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [7] STANĚK, J., NĚMEJC, J.:Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací. Plzeň: ZČU, 2005.
- [8] DR.JOHANNES, Heidenhain Gmb a kol. Dynamická výkonnost – Efektivní práce a spolehlivost procesu [online]. [cit. 15.11.2022]. Dostupný z: [https://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/1081192-C0\\_Dynamic\\_Efficiency\\_cs.pdf](https://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/1081192-C0_Dynamic_Efficiency_cs.pdf)
- [9] TNC 620 | Uživatelská příručka seřizování, testování a zpracování | NC-software 81760x-07 (heidenhain.de)
- [10] WIENDL, Michael. Webinar Heidenhain: AFC - Adaptive feed control. Youtube [online]. Dublin: Heidenhain, 12.2.2017 [cit. 15.11.2022]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=i2G7kl0FU-A>
- [11] SEDLÁK, Bc. Jakub. Hardwarová optimalizace NC programu na systému Heidenhain iTNC530. Plzeň, Akademický rok 2021/2022. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, FST. Vedoucí práce Ing. Aneta Jirásko Ph.D.
- [12] Příručka uživatele Programování cyklů iTNC 530. Haidenhain [online]. Traunreut, Germany, 2/2009 [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: [https://content.heidenhain.de/doku/tnc\\_guide/pdf\\_files/iTNC530/34049x-05/zyklen/670\\_388-C0.pdf](https://content.heidenhain.de/doku/tnc_guide/pdf_files/iTNC530/34049x-05/zyklen/670_388-C0.pdf)
- [13]DMU 40 eVo. DMG MORI [online]. [cit. 2022-12-23]. Dostupné z: <https://en.dmgmori.com/products/machines/milling/5-axis-milling/dmu-evo/dmu-40-evo-linear>
- [14] Ocel ČSN 15142. T-PROM [online]. 53002 Pardubice [cit. 2023-02-11]. Dostupné z: <http://www.tprom.cz/wiki/ocel/15142>
- [15] HSR/HSM moduly pro 3D vysokorychlostní frézování. SolidCAM [online]. [cit. 2023-02-17]. Dostupné z: <https://www.solidcam.com/21/cs/produkty/0/3d-hsm-vysokorychlostni-frezovani/>



## **PŘÍLOHA č. 1**

### **NC program pre-experimentu**

```
0 BEGIN PGM DRAZKA_1 MM
1 ;DMU40eVo GPP VER.:9
2 ;Date:2.5.2023 Time:12:22
3 ;
4 BLK FORM 0.1 Z X-40 Y-40 Z-75
5 BLK FORM 0.2 X+40 Y+40 Z+0
6 Q29 = 0 ;reset transformace 4.osy
7 CYCL DEF 32.0 TOLERANCE
8 CYCL DEF 32.1 T0.01
9 CYCL DEF 32.2 HSC-MODE:0 TA5
10 ;
11
;*****
**
12 ;*** S E Z N A M N A S T R O J U
***
13
;*****
**
14 ;102 - FR-D20 Z3 R2-OSG-SHORT -
PSE11R020SS20-3S
15 ; ... DRZAK: TRIBOS R D20 /
VYLOZENI: 55.
16
;*****
**
17 ;
18 ;=====
19 * - F-KONTURA1
20 ;=====
21 L M5 M9
22 * - FR-D20 Z3 R2-OSG-SHORT -
PSE11R020SS20-3S
23 TOOL CALL "FR_D20_Z3_R2_OSG_SHORT"
Z S3979
24 TOOL DEF "FR_D20_Z3_R2_OSG_SHORT"
25 Q1=1790 ;hrubovací
26 Q2=1790 ;dokoncovací
27 Q3=1790 ;posuv v Z
28 ;
29 CALL LBL 201 ;Mac 1 Position 1
30 CALL LBL 254 ;Odjezd XYZ k
referenci
31 CALL LBL 251 ;Nastavit polohu
32 L M26 ;Proud vzduchu vretenem
33 L M23
34 L X-22.194 Y+52 R0 FMAX M3
35 L Z+25 R0 FMAX
36 L Z+2 FMAX
37 L Z-1 F+Q3
38 L X-32.214 RL F+Q1 M110
39 L Y-52
40 L X-22.194 R0
41 L Z+25 FMAX
42 L Y+52 FMAX
43 L Z+1 FMAX
44 L Z-2 F+Q3
.
.
.
.
79 ;=====
80 ;= K O N E C P R O G R A M U =
81 ;=====
82 ;=====
83 ;= DATA POLOH NULOVEHO BODU =
84 ;=====
85 ;Mac 1 Position 1
86 LBL 201 ;Mac 1 Position 1
87 Q23=0 ;Posun X
88 Q24=0 ;Posun Y
89 Q25=0 ;Posun Z
90 Q20=-0 ;rotace SS kolem osy X
91 Q21=0 ;rotace SS kolem osy Y
92 Q22=-0 ;rotace SS kolem osy Z
93 ;-----
94 ;Lokalni posun NB
95 Q26=0.000 ;Posun X
96 Q27=0.000 ;Posun Y
97 Q28=0.000 ;Posun Z
98 ;Osa C: +0
99 ;Osa B: +0
100 LBL 0
101 ;=====
102 ;
103 ;Nastavit polohu
104 LBL 251 ;Nastavit polohu
105 CALL LBL 252 ;Reset roviny
obrabeni
106 CYCL DEF 7.0 NULOVY BOD
107 CYCL DEF 7.1 X+Q23
108 CYCL DEF 7.2 Y+Q24
109 CYCL DEF 7.3 Z+Q25
110 Q32=Q22+Q29 ;C osa + transform 4x
111 M126
112 PLANE SPATIAL SPA+Q20 SPB+Q21
SPC+Q32 TURN FMAX SEQ+ TABLE ROT
113 CYCL DEF 7.0 NULOVY BOD
114 CYCL DEF 7.1 IX+Q26
115 CYCL DEF 7.2 IY+Q27
116 CYCL DEF 7.3 IZ+Q28
117 L M11 M23
118 LBL 0
119 ;Reset roviny obrabeni
120 LBL 252
121 FUNCTION RESET TCPM
122 PLANE RESET STAY
123 CYCL DEF 10.0 NATOCENI
124 CYCL DEF 10.1 ROT+0
125 CYCL DEF 7.0 NULOVY BOD
126 CYCL DEF 7.1 X+0
127 CYCL DEF 7.2 Y+0
128 CYCL DEF 7.3 Z+0
129 L M10 M22
130 LBL 0
131 ;-----
132 ;
133 ;Odjezd Z k referenci
134 LBL 253
135 L Z-1 FMAX M91
136 LBL 0
137
138 ;-----
139 ;
140 ;Odjezd k referenci XYZ
141 LBL 254
142 L Z-1 FMAX M91
143 L X-450 Y-375 FMAX M91
144 LBL 0
145
146 END PGM DRAZKA_1 MM
```

## **PŘÍLOHA č. 2**

### **NC program prvního experimentu s použitím strategie HM hrubování**

```
0 BEGIN PGM HSR_HMP_OBROBEK MM
1 ;DMU40eVo GPP_VER.:9
2 ;Date:2.5.2023 Time:14:27
3 ;
4 BLK FORM 0.1 Z X-90 Y-90 Z-25
5 BLK FORM 0.2 X+90 Y+90 Z+0
6 Q29 = 0 ;reset transformace 4.osy
7 CYCL DEF 32.0 TOLERANCE
8 CYCL DEF 32.1 T0.01
9 CYCL DEF 32.2 HSC-MODE:0 TA5
10 ;
11
;*****
**
12 ;*** S E Z N A M N A S T R O J U
***
13
;*****
**
14 ;102 - FR-D20 Z3 R2-OSG-SHORT -
PSE11R020SS20-3S
15 ; ... DRZAK: TRIBOS R D20 /
VYLOZENI: 55.
16
;*****
**
17 ;
18 ;=====
19 * - HSR-HMP-OBROBEK
20 ;=====
21 L M5 M9
22 * - FR-D20 Z3 R2-OSG-SHORT -
PSE11R020SS20-3S
23 TOOL CALL "FR_D20_Z3_R2_OSG_SHORT"
Z S3979
24 TOOL DEF "FR_D20_Z3_R2_OSG_SHORT"
25 Q1=1790 ;pracovní
26 Q2=1790 ;najezdovy
27 Q3=2387 ;odjezdovy
28 ;
29 CALL LBL 201 ;Mac 1 Position 1
30 CALL LBL 254 ;Odjezd XYZ k
referenci
31 CALL LBL 251 ;Nastavit polohu
32 L M26 ;Proud vzduchu vretenem
33 L M23
34 L X-2.385 Y-102.461 R0 FMAX M3
35 L Z+50 R0 FMAX
36 L Z+2 FMAX
37 L X-2.358 Y-102.433 Z+1.61 F+Q2
38 L X-2.279 Y-102.351 Z+1.235
39 L X-2.151 Y-102.218 Z+0.889
40 L X-1.978 Y-102.039 Z+0.586
41 L X-1.768 Y-101.82 Z+0.337
42 L X-1.528 Y-101.571 Z+0.152
43 L X-1.268 Y-101.301 Z+0.038
44 L X-0.998 Y-101.02 Z+0
45 L X+4.38 Y-95.435
46 CC X-1.095 Y-90.164
47 C X+6.504 Y-90.02 DR+
48 L X+6.5 Y-89.816
49 L X+6.494 Y-54.425
50 L X+6.469 Y-54.27
51 L X+6.421 Y-54.121
52 L X+6.35 Y-53.981
53 L X+6.257 Y-53.854
54 L X+6.147 Y-53.743
55 L X+6.02 Y-53.651
56 L X+5.88 Y-53.58
57 L X+5.731 Y-53.531
58 L X+5.576 Y-53.507
59 L X-5.575
60 L X-5.73 Y-53.531
61 L X-5.879 Y-53.58
62 L X-6.019 Y-53.651
63 L X-6.146 Y-53.743
64 L X-6.256 Y-53.854
65 L X-6.349 Y-53.981
66 L X-6.42 Y-54.121
67 L X-6.468 Y-54.27
68 L X-6.493 Y-54.425
69 L X-6.503 Y-90.02
70 CC X-4.103 Y-90.021
71 C X-4.104 Y-92.421 DR+ F+Q3
72 L X-3.713 Z+0.038
73 L X-3.338 Z+0.152
74 L X-2.992 Z+0.337
75 L X-2.689 Z+0.586
76 L X-2.441 Z+0.889
77 L X-2.256 Z+1.235
78 L X-2.142 Z+1.61
79 L X-2.104 Z+2
80 L Z+3
.
.
.
.
.
1281 L X+20.618 Y-102.431 Z-3.39
1282 L X+20.697 Y-102.35 Z-3.765
1283 L X+20.826 Y-102.217 Z-4.111
1284 L X+20.998 Y-102.038 Z-4.414
1285 L X+21.209 Y-101.82 Z-4.663
1286 L X+21.449 Y-101.571 Z-4.848
1287 L X+21.71 Y-101.301 Z-4.962
1288 L X+21.981 Y-101.02 Z-5
1289 L X+27.373 Y-95.433
1290 CC X+21.905 Y-90.155
1291 C X+29.503 Y-90.02 DR+
1292 L X+29.5 Y-89.836
1293 L Y-31.5
1294 L X+29.496 Y-31.414
1295 L X+29.486 Y-31.33
1296 L X+29.468 Y-31.247
1297 L X+29.443 Y-31.166
1298 L X+29.411 Y-31.087
1299 L X+29.373 Y-31.012
1300 L X+29.328 Y-30.94
1301 L X+29.278 Y-30.871
1302 L X+29.222 Y-30.808
1303 L X+29.16 Y-30.749
1304 L X+29.094 Y-30.696
1305 L X+29.024 Y-30.648
1306 L X+28.95 Y-30.607
1307 L X+28.873 Y-30.572
1308 L X+28.793 Y-30.544
1309 L X+28.711 Y-30.522
1310 L X+28.627 Y-30.508
1311 L X+28.542 Y-30.501
1312 L X-28.5 Y-30.5
1313 L X-28.586 Y-30.504
1314 L X-28.67 Y-30.514
1315 L X-28.753 Y-30.532
1316 L X-28.834 Y-30.557
1317 L X-28.913 Y-30.589
1318 L X-28.988 Y-30.627
```

```
1319 L X-29.06 Y-30.672
1320 L X-29.129 Y-30.722
1321 L X-29.192 Y-30.778
1322 L X-29.251 Y-30.84
1323 L X-29.304 Y-30.906
1324 L X-29.352 Y-30.976
1325 L X-29.393 Y-31.05
1326 L X-29.428 Y-31.127
1327 L X-29.456 Y-31.207
1328 L X-29.478 Y-31.289
1329 L X-29.492 Y-31.373
1330 L X-29.499 Y-31.458
1331 L Y-90.02
1332 CC X-27.099 Y-90.02
1333 C X-27.099 Y-92.42 DR+ F+Q3
1334 L X-26.709 Z-4.962
1335 L X-26.334 Z-4.848
1336 L X-25.988 Z-4.663
1337 L X-25.685 Z-4.414
1338 L X-25.436 Z-4.111
1339 L X-25.251 Z-3.765
1340 L X-25.138 Z-3.39
1341 L X-25.099 Z-3
1342 L Z+50 FMAX
1343 ;
1344 L M5 M9
1345 L M23
1346 L Z-1 R0 FMAX M91
1347 L X-450 Y-375 FMAX M91
1348 CALL LBL 252 ;Reset roviny
obrabeni
1349 PLANE RESET TURN FMAX
1350 L X-450 Y-2 FMAX M91
1351 L M30
1352
;=====
1353 ;= K O N E C P R O G R A M U
=
1354
;=====
1355 ;=====
1356 ;= DATA POLOH NULOVEHO BODU =
1357 ;=====
1358 ;Mac 1 Position 1
1359 LBL 201 ;Mac 1 Position 1
1360 Q23=0 ;Posun X
1361 Q24=0 ;Posun Y
1362 Q25=0 ;Posun Z
1363 Q20=-0 ;rotace SS kolem osy X
1364 Q21=0 ;rotace SS kolem osy Y
1365 Q22=-0 ;rotace SS kolem osy Z
1366 ;-----
1367 ;Lokalni posun NB
1368 Q26=0.000 ;Posun X
1369 Q27=0.000 ;Posun Y
1370 Q28=0.000 ;Posun Z
1371 ;Osa C: +0
1372 ;Osa B: +0
1373 LBL 0
1374 ;=====
1375 ;
1376 ;Nastavit polohu
1377 LBL 251 ;Nastavit polohu
1378 CALL LBL 252 ;Reset roviny
obrabeni
1379 CYCL DEF 7.0 NULOVY BOD
1380 CYCL DEF 7.1 X+Q23
1381 CYCL DEF 7.2 Y+Q24
1382 CYCL DEF 7.3 Z+Q25
1383 Q32=Q22+Q29 ;C osa + transform 4x
1384 M126
1385 PLANE SPATIAL SPA+Q20 SPB+Q21
SPC+Q32 TURN FMAX SEQ+ TABLE ROT
1386 CYCL DEF 7.0 NULOVY BOD
1387 CYCL DEF 7.1 IX+Q26
1388 CYCL DEF 7.2 IY+Q27
1389 CYCL DEF 7.3 IZ+Q28
1390 L M11 M23
1391 LBL 0
1392 ;Reset roviny obrabeni
1393 LBL 252
1394 FUNCTION RESET TCPM
1395 PLANE RESET STAY
1396 CYCL DEF 10.0 NATOCENI
1397 CYCL DEF 10.1 ROT+0
1398 CYCL DEF 7.0 NULOVY BOD
1399 CYCL DEF 7.1 X+0
1400 CYCL DEF 7.2 Y+0
1401 CYCL DEF 7.3 Z+0
1402 L M10 M22
1403 LBL 0
1404 ;-----
1405 ;
1406 ;Odjezd Z k referenci
1407 LBL 253
1408 L Z-1 FMAX M91
1409 LBL 0
1410
1411 ;-----
1412 ;
1413 ;Odjezd k referenci XYZ
1414 LBL 254
1415 L Z-1 FMAX M91
1416 L X-450 Y-375 FMAX M91
1417 LBL 0
1418
1419 END PGM HSR_HMP_OBROBEK MM
```

## **PŘÍLOHA č. 3**

### **NC program prvního experimentu s použitím strategie Lineárního hrubování**

```
0 BEGIN PGM HSR_R_LIN_OBROBEK MM
1 ;DMU40eVo GPP_VER.:9
2 ;Date:2.5.2023 Time:14:27
3 ;
4 BLK FORM 0.1 Z X-90 Y-90 Z-25
5 BLK FORM 0.2 X+90 Y+90 Z+0
6 Q29 = 0 ;reset transformace 4.osy
7 CYCL DEF 32.0 TOLERANCE
8 CYCL DEF 32.1 T0.01
9 CYCL DEF 32.2 HSC-MODE:0 TA5
10 ;
11
;*****
**
12 ;*** S E Z N A M N A S T R O J U
***
13
;*****
**
14 ;102 - FR-D20 Z3 R2-OSG-SHORT -
PSE11R020SS20-3S
15 ; ... DRZAK: TRIBOS R D20 /
VYLOZENI: 55.
16
;*****
**
17 ;
18 ;=====
19 * - HSR-R-LIN-OBROBEK
20 ;=====
21 L M5 M9
22 * - FR-D20 Z3 R2-OSG-SHORT -
PSE11R020SS20-3S
23 TOOL CALL "FR_D20_Z3_R2_OSG_SHORT"
Z S3979
24 TOOL DEF "FR_D20_Z3_R2_OSG_SHORT"
25 Q1=1790 ;pracovní
26 Q2=1790 ;najezdovy
27 Q3=2387 ;odjezdovy
28 ;
29 CALL LBL 201 ;Mac 1 Position 1
30 CALL LBL 254 ;Odjezd XYZ k
referenci
31 CALL LBL 251 ;Nastavit polohu
32 L M26 ;Proud vzduchu vretenem
33 L M23
34 L X+19.868 Y-84.156 R0 FMAX M3
35 L Z+12 R0 FMAX
36 L Z+4 FMAX
37 L X+19.83 Z+3.613 F+Q2
38 L X+19.718 Z+3.24
39 L X+19.535 Z+2.896
40 L X+19.29 Z+2.594
41 L X+18.991 Z+2.345
42 L X+18.649 Z+2.159
43 L X+18.278 Z+2.042
44 L X+17.891 Z+2
45 L X-26.109 Z+1.478
46 L X+26.109 Z+0.858
47 L X-26.109 Z+0.239
48 L X+26.109 Z-0.381
49 L X-26.109 Z-1
50 L X+26.109
51 CC X+26.109 Y-81.156
52 C X+29.109 Y-81.156 DR+
53 L Y-75.156
54 CC X+26.109 Y-75.156
55 C X+26.109 Y-72.156 DR+
56 L X-26.109
57 CC X-26.109 Y-69.156
58 C X-29.109 Y-69.156 DR-
59 L Y-63.156
60 CC X-26.109 Y-63.156
61 C X-26.109 Y-60.156 DR-
62 L X+26.109
63 CC X+26.109 Y-57.156
64 C X+29.109 Y-57.156 DR+
65 L Y-51.156
66 CC X+26.109 Y-51.156
67 C X+26.109 Y-48.156 DR+
68 L X-26.109
69 CC X-26.109 Y-45.156
70 C X-29.109 Y-45.156 DR-
71 L Y-39.156
72 CC X-26.109 Y-39.156
73 C X-26.109 Y-36.156 DR-
74 L X+26.109
75 CC X+26.109 Y-34.656
76 C X+27.501 Y-34.099 DR+
77 C X+25.074 Y-33.569 DR+
78 L X+24.64 Y-33.983
79 CC X+26.709 Y-36.156
80 C X+25.527 Y-38.913 DR+
81 C X+29.709 Y-36.156 DR+
82 L Y-30.881
83 CC X+29.129 Y-30.881
84 C X+29.19 Y-30.304 DR+
85 L X+29.068 Y-30.291
86 L X-29.19 Y-30.304
87 CC X-29.129 Y-30.881
88 C X-29.709 Y-30.881 DR+
89 L Y-60.156
90 L Y-89.17
91 CC X-28.859 Y-89.17
92 C X-28.859 Y-90.02 DR+
93 L X+28.859
94 CC X+28.859 Y-89.17
95 C X+29.709 Y-89.17 DR+
96 L Y-36.156
97 CC X+22.109 Y-36.156
98 C X+29.45 Y-34.189 DR+ F+Q3
99 L X+29.349 Y-33.812 Z-0.962
100 L X+29.252 Y-33.449 Z-0.848
101 L X+29.162 Y-33.115 Z-0.663
102 L X+29.084 Y-32.823 Z-0.414
103 L X+29.019 Y-32.582 Z-0.111
104 L X+28.972 Y-32.404 Z+0.235
105 L X+28.942 Y-32.294 Z+0.61
106 L X+28.932 Y-32.257 Z+1
107 L X+28.92 Y-32.289 Z+1.479
108 L X+28.882 Y-32.387 Z+1.948
109 L X+28.821 Y-32.547 Z+2.397
110 L X+28.738 Y-32.766 Z+2.817
111 L X+28.633 Y-33.04 Z+3.197
112 L X+28.51 Y-33.362 Z+3.532
113 L X+28.371 Y-33.727 Z+3.812
114 L X+28.219 Y-34.125 Z+4.033
115 L X+28.069 Y-34.518 Z+4.18 FMAX
116 L X+27.913 Y-34.925 Z+4.27 FMAX
117 L X+27.755 Y-35.34 Z+4.3 FMAX
118 L X+10.254 Y-81.177 FMAX
119 L X+10.095 Y-81.592 Z+4.27 FMAX
120 L X+9.94 Y-81.999 Z+4.18 FMAX
121 L X+9.79 Y-82.392 Z+4.033 FMAX
122 L X+9.638 Y-82.79 Z+3.812 F+Q2
123 L X+9.498 Y-83.155 Z+3.532
```



```
124 L X+9.375 Y-83.477 Z+3.197
125 L X+9.271 Y-83.751 Z+2.816
126 L X+9.187 Y-83.97 Z+2.397
127 L X+9.126 Y-84.13 Z+1.948
128 L X+9.089 Y-84.227 Z+1.479
.
.
.
.
.
451 CC X+21.9 Y-36.26
452 C X+29.241 Y-34.293 DR+ F+Q3
453 L X+29.14 Y-33.916 Z-4.962
454 L X+29.043 Y-33.554 Z-4.848
455 L X+28.953 Y-33.22 Z-4.663
456 L X+28.875 Y-32.927 Z-4.414
457 L X+28.811 Y-32.687 Z-4.111
458 L X+28.763 Y-32.508 Z-3.765
459 L X+28.733 Y-32.398 Z-3.39
460 L X+28.723 Y-32.361 Z-3
461 L Z+12 FMAX
462 ;
463 L M5 M9
464 L M23
465 L Z-1 R0 FMAX M91
466 L X-450 Y-375 FMAX M91
467 CALL LBL 252 ;Reset roviny
obrabeni
468 PLANE RESET TURN FMAX
469 L X-450 Y-2 FMAX M91
470 L M30
471 ;=====
472 ;= K O N E C P R O G R A M U =
473 ;=====
474 ;=====
475 ;= DATA POLOH NULOVEHO BODU =
476 ;=====
477 ;Mac 1 Position 1
478 LBL 201 ;Mac 1 Position 1
479 Q23=0 ;Posun X
480 Q24=0 ;Posun Y
481 Q25=0 ;Posun Z
482 Q20=-0 ;rotace SS kolem osy X
483 Q21=0 ;rotace SS kolem osy Y
484 Q22=-0 ;rotace SS kolem osy Z
485 ;-----
486 ;Lokalni posun NB
487 Q26=0.000 ;Posun X
488 Q27=0.000 ;Posun Y
489 Q28=0.000 ;Posun Z
490 ;Osa C: +0
491 ;Osa B: +0
492 LBL 0
493 ;=====
494 ;
495 ;Nastavit polohu
496 LBL 251 ;Nastavit polohu
497 CALL LBL 252 ;Reset roviny
obrabeni
498 CYCL DEF 7.0 NULOVY BOD
499 CYCL DEF 7.1 X+Q23
500 CYCL DEF 7.2 Y+Q24
501 CYCL DEF 7.3 Z+Q25
502 Q32=Q22+Q29 ;C osa + transform 4x
503 M126
504 PLANE SPATIAL SPA+Q20 SPB+Q21
SPC+Q32 TURN FMAX SEQ+ TABLE ROT
505 CYCL DEF 7.0 NULOVY BOD
506 CYCL DEF 7.1 IX+Q26
507 CYCL DEF 7.2 IY+Q27
508 CYCL DEF 7.3 IZ+Q28
509 L M11 M23
510 LBL 0
511 ;Reset roviny obrabeni
512 LBL 252
513 FUNCTION RESET TCPM
514 PLANE RESET STAY
515 CYCL DEF 10.0 NATOCENI
516 CYCL DEF 10.1 ROT+0
517 CYCL DEF 7.0 NULOVY BOD
518 CYCL DEF 7.1 X+0
519 CYCL DEF 7.2 Y+0
520 CYCL DEF 7.3 Z+0
521 L M10 M22
522 LBL 0
523 ;-----
524 ;
525 ;Odjezd Z k referenci
526 LBL 253
527 L Z-1 FMAX M91
528 LBL 0
529
530 ;-----
531 ;
532 ;Odjezd k referenci XYZ
533 LBL 254
534 L Z-1 FMAX M91
535 L X-450 Y-375 FMAX M91
536 LBL 0
537
538 END PGM HSR_R_LIN_OBROBEK MM
```

## **PŘÍLOHA č. 4**

### **NC program druhého experimentu s použitím strategie HM hrubování**

```
0 BEGIN PGM HSR_HMP_OBROBEK MM
1 ;DMU40eVo GPP_VER.:2015-08-24
2 ;Date:28.4.2023 Time:17:19
3 ;
4 BLK FORM 0.1 Z X-90 Y-90 Z-25
5 BLK FORM 0.2 X+90 Y+90 Z+0
6 Q29 = 0 ;reset transformace 4.osy
7 CYCL DEF 32.0 TOLERANCE
8 CYCL DEF 32.1 T0.01
9 CYCL DEF 32.2 HSC-MODE:0 TA5
10 ;
11
;*****
**
12 ;*** S E Z N A M N A S T R O J U
***
13
;*****
**
14 ;101 - FR D20 R2 L10 Z3 (OSG -
KRATKA) - PSE11R020SS20-3S
15 ; ... DRZAK: TRIBOS R D20 /
VYLOZENI: 55.
16
;*****
**
17 ;
18 ;=====
19 * - HSR-HMP-OBROBEK
20 ;=====
21 L M5 M9
22 * - FR D20 R2 L10 Z3 (OSG - KRATKA)
- PSE11R020SS20-3S
23 TOOL CALL 101 Z S2865
24 TOOL DEF 101
25 Q1=1289 ;pracovni
26 Q2=1289 ;najezdovy
27 Q3=1289 ;odjezdovy
28 ;
29 CALL LBL 201 ;Mac 1 Position 1
30 CALL LBL 254 ;Odjezd XYZ k
referenci
31 CALL LBL 251 ;Nastavit polohu
32 L M26 ;Proud vzduchu vretenem
33 L M23
34 L X-7.631 Y-102.577 R0 FMAX M3
35 L Z+50 R0 FMAX
36 L Z+2 FMAX
37 L X-7.607 Y-102.547 Z+1.61 F+Q2
38 L X-7.536 Y-102.458 Z+1.235
39 L X-7.42 Y-102.314 Z+0.889
40 L X-7.263 Y-102.121 Z+0.586
41 L X-7.073 Y-101.885 Z+0.337
42 L X-6.856 Y-101.616 Z+0.152
43 L X-6.621 Y-101.324 Z+0.038
44 L X-6.376 Y-101.02 Z+0
45 L X-2.006 Y-95.601
46 CC X-7.922 Y-90.83
47 C X-0.365 Y-90.02 DR+
48 L X-0.383 Y-89.855
49 L X-0.45 Y-88.942
50 L X-0.488 Y-88.034
51 L X-0.495 Y-87.089
52 L X-0.47 Y-86.165
53 L X-0.431 Y-85.471
54 L X-0.351 Y-84.545
55 L X-0.271 Y-83.853
56 L X-0.137 Y-82.935
57 L X-0.014 Y-82.239
58 L X+0.173 Y-81.337
59 L X+0.335 Y-80.659
60 L X+0.578 Y-79.759
61 L X+0.779 Y-79.093
62 L X+1.072 Y-78.216
63 L X+1.315 Y-77.555
64 L X+1.661 Y-76.693
65 L X+1.94 Y-76.055
66 L X+2.335 Y-75.216
67 L X+2.652 Y-74.594
68 L X+3.099 Y-73.777
69 L X+3.45 Y-73.177
70 L X+3.943 Y-72.39
71 L X+4.331 Y-71.809
72 L X+4.868 Y-71.054
73 L X+5.292 Y-70.494
74 L X+5.874 Y-69.771
75 L X+6.328 Y-69.241
76 L X+6.949 Y-68.556
77 L X+7.439 Y-68.047
78 L X+8.099 Y-67.401
79 L X+8.613 Y-66.927
80 L X+9.311 Y-66.32
81 L X+9.859 Y-65.872
82 L X+10.587 Y-65.311
83 L X+11.158 Y-64.898
84 L X+11.918 Y-64.38
85 L X+12.517 Y-63.999
86 L X+13.31 Y-63.525
87 L X+13.92 Y-63.186
88 L X+14.739 Y-62.76
89 L X+15.374 Y-62.454
90 L X+16.222 Y-62.076
91 L X+16.866 Y-61.811
92 L X+17.734 Y-61.484
93 L X+18.398 Y-61.256
94 L X+19.283 Y-60.981
95 L X+19.955 Y-60.794
96 L X+20.859 Y-60.57
97 L X+21.539 Y-60.424
98 L X+22.453 Y-60.255
99 L X+23.141 Y-60.148
100 L X+24.063 Y-60.033
101 L X+24.759 Y-59.968
102 L X+25.697 Y-59.908
103 L X+26.911 Y-59.877
104 L X+27.249 Y-59.847
105 L X+27.68 Y-59.768
106 L X+27.92 Y-59.688
107 L X+28.162 Y-59.577
108 L X+28.385 Y-59.444
109 L X+28.603 Y-59.28
110 L X+28.821 Y-59.07
111 L X+28.994 Y-58.865
112 L X+29.138 Y-58.649
113 L X+29.266 Y-58.406
114 L X+29.373 Y-58.124
115 L X+29.441 Y-57.864
.
.
.
.
17175 L M5
17176 L M23
17177 L Z-1 R0 FMAX M91
17178 L X-450 Y-375 FMAX M91
```

```
17179 CALL LBL 252 ;Reset roviny
obrabeni
17180 PLANE RESET TURN FMAX
17181 L M30
17182
;=====
17183 ;= K O N E C   P R O G R A M U
=
17184
;=====
17185 ;=====
17186 ;= DATA POLOH NULOVEHO BODU =
17187 ;=====
17188 ;Mac 1 Position 1
17189 LBL 201 ;Mac 1 Position 1
17190 Q23=0 ;Posun X
17191 Q24=0 ;Posun Y
17192 Q25=0 ;Posun Z
17193 Q20=-0 ;rotace SS kolem osy X
17194 Q21=0 ;rotace SS kolem osy Y
17195 Q22=-0 ;rotace SS kolem osy Z
17196 ;-----
17197 ;Lokalni posun NB
17198 Q26=0.000 ;Posun X
17199 Q27=0.000 ;Posun Y
17200 Q28=0.000 ;Posun Z
17201 ;Osa C: +0
17202 ;Osa B: +0
17203 LBL 0
17204 ;=====
17205 ;
17206 ;Nastavit polohu
17207 LBL 251 ;Nastavit polohu
17208 CALL LBL 252 ;Reset roviny
obrabeni
17209 CYCL DEF 7.0 NULOVY BOD
17210 CYCL DEF 7.1 X+Q23
17211 CYCL DEF 7.2 Y+Q24
17212 CYCL DEF 7.3 Z+Q25
17213 Q32=Q22+Q29 ;C osa + transform
4x
17214 M126
17215 PLANE SPATIAL SPA+Q20 SPB+Q21
SPC+Q32 TURN FMAX SEQ+ TABLE ROT
17216 CYCL DEF 7.0 NULOVY BOD
17217 CYCL DEF 7.1 IX+Q26
17218 CYCL DEF 7.2 IY+Q27
17219 CYCL DEF 7.3 IZ+Q28
17220 L M11 M23
17221 LBL 0
17222 ;Reset roviny obrabeni
17223 LBL 252
17224 FUNCTION RESET TCPM
17225 PLANE RESET STAY
17226 CYCL DEF 10.0 NATOCENI
17227 CYCL DEF 10.1 ROT+0
17228 CYCL DEF 7.0 NULOVY BOD
17229 CYCL DEF 7.1 X+0
17230 CYCL DEF 7.2 Y+0
17231 CYCL DEF 7.3 Z+0
17232 L M10 M22
17233 LBL 0
17234 ;-----
17235 ;
17236 ;Odjezd Z k referenci
17237 LBL 253
17238 L Z-1 FMAX M91
17239 LBL 0
17240
17241 ;-----
17242 ;
17243 ;Odjezd k referenci XYZ
17244 LBL 254
17245 L Z-1 FMAX M91
17246 L X-450 Y-375 FMAX M91
17247 LBL 0
17248
17249 END PGM HSR_HMP_OBROBEK MM
```

## **PŘÍLOHA č. 5**

### **NC program druhého experimentu s použitím strategie Lineárního hrubování**

```
0 BEGIN PGM HSR_R_LIN_OBROBEK MM
1 ;DMU40eVo GPP_VER.:2015-08-24
2 ;Date:28.4.2023 Time:17:17
3 ;
4 BLK FORM 0.1 Z X-90 Y-90 Z-25
5 BLK FORM 0.2 X+90 Y+90 Z+0
6 Q29 = 0 ;reset transformace 4.osy
7 CYCL DEF 32.0 TOLERANCE
8 CYCL DEF 32.1 T0.01
9 CYCL DEF 32.2 HSC-MODE:0 TA5
10 ;
11
;*****
**
12 ;*** S E Z N A M N A S T R O J U
***
13
;*****
**
14 ;101 - FR D20 R2 L10 Z3 (OSG -
KRATKA) - PSE11R020SS20-3S
15 ; ... DRZAK: TRIBOS R D20 /
VYLOZENI: 55.
16
;*****
**
17 ;
18 ;=====
19 * - HSR-R-LIN-OBROBEK
20 ;=====
21 L M5 M9
22 * - FR D20 R2 L10 Z3 (OSG - KRATKA)
- PSE11R020SS20-3S
23 TOOL CALL 101 Z S2865
24 TOOL DEF 101
25 Q1=1031 ;pracovni
26 Q2=1031 ;najezdovy
27 Q3=1031 ;odjezdovy
28 ;
29 CALL LBL 201 ;Mac 1 Position 1
30 CALL LBL 254 ;Odjezd XYZ k
referenci
31 CALL LBL 251 ;Nastavit polohu
32 L M26 ;Proud vzduchu vretenem
33 L M23
34 L X+36.753 Y-59.117 R0 FMAX M3
35 L Z+50 R0 FMAX
36 L Z+5 FMAX
37 L Y-59.078 Z+4.61 F+Q2
38 L X+36.749 Y-58.964 Z+4.235
39 L X+36.744 Y-58.78 Z+3.889
40 L X+36.738 Y-58.531 Z+3.586
41 L X+36.73 Y-58.228 Z+3.337
42 L X+36.721 Y-57.882 Z+3.152
43 L X+36.711 Y-57.507 Z+3.038
44 L X+36.701 Y-57.117 Z+3
45 CC X+26.993 Y-57.371
46 CP IPA+1.617 IZ-0.009 DR+
47 CC X+26.998 Y-57.376
48 CP IPA+86.078 IZ-0.475 DR+
49 CC X+27.028 Y-17.328
50 CP IPA-43.513 IZ-0.752 DR-
51 CC X+26.994 Y-17.378
52 CP IPA-45.321 IZ-0.78 DR-
53 CC X+17.012 Y-17.383
54 CP IPA-46.704 IZ-0.54 DR-
55 CC X+16.999 Y-17.37
56 CP IPA-68.368 IZ-0.789 DR-
57 CC X+16.984 Y-17.399
58 CP IPA-31.716 IZ-0.367 DR-
59 CC X+16.604 Y-17.587
60 CP IPA-12.625 IZ-0.149 DR-
61 CC X+17.268 Y-17.283
62 CP IPA-12.236 IZ-0.139 DR-
63 CC X+39.922 Y-13.261
64 C X+42.869 Y-13.821 DR+
65 L X+43.46 Y-10.716
66 CC X+40.512 Y-10.156
67 C X+38.6 Y-7.845 DR+
68 C X+40.512 Y-13.156 DR+
69 L X+48.967
70 CC X+48.967 Y-10.156
71 C X+51.438 Y-11.857 DR+
72 L X+55.571 Y-5.857
73 CC X+53.1 Y-4.156
74 C X+53.1 Y-1.156 DR+
75 L X+34.541
76 CC X+34.541 Y+6.444
77 C X+26.941 Y+6.444 DR-
78 L Y+6.835 Z-0.962
79 L Y+7.21 Z-0.848
80 L Y+7.555 Z-0.663
81 L Y+7.859 Z-0.414
82 L Y+8.107 Z-0.111
83 L Y+8.292 Z+0.235
84 L Y+8.406 Z+0.61
85 L Y+8.444 Z+1
86 L X+26.907 Y+8.439 Z+1.479
87 L X+26.804 Y+8.424 Z+1.948
88 L X+26.634 Y+8.399 Z+2.397
89 L X+26.402 Y+8.364 Z+2.817
90 L X+26.113 Y+8.321 Z+3.197
91 L X+25.771 Y+8.27 Z+3.532
92 L X+25.385 Y+8.212 Z+3.812
93 L X+24.963 Y+8.149 Z+4.033
94 L X+24.639 Y+8.101 Z+4.154 FMAX
95 L X+24.304 Y+8.051 Z+4.239 FMAX
96 L X+23.962 Y+8 Z+4.287 FMAX
97 L X-21.303 Y+1.242 Z+8.287 FMAX
98 L X-21.704 Y+1.182 Z+8.298 FMAX
99 L X-22.104 Y+1.122 Z+8.258 FMAX
100 L X-22.495 Y+1.064 Z+8.17 FMAX
101 L X-22.873 Y+1.007 Z+8.033 FMAX
102 L X-23.295 Y+0.944 Z+7.812 F+Q2
103 L X-23.681 Y+0.887 Z+7.532
104 L X-24.022 Y+0.836 Z+7.197
105 L X-24.312 Y+0.793 Z+6.817
106 L X-24.544 Y+0.758 Z+6.397
107 L X-24.714 Y+0.733 Z+5.948
108 L X-24.817 Y+0.717 Z+5.479
109 L X-24.851 Y+0.712 Z+5
110 L X-24.872 Y+0.68 Z+4.61
111 L X-24.934 Y+0.584 Z+4.235
112 L X-25.033 Y+0.429 Z+3.889
113 L X-25.168 Y+0.219 Z+3.586
114 L X-25.332 Y-0.036 Z+3.337
115 L X-25.519 Y-0.327 Z+3.152
116 L X-25.721 Y-0.642 Z+3.038
117 L X-25.932 Y-0.97 Z+3
118 CC X-42.994 Y+9.993
119 CP IPA-33.695 IZ-0.376 DR-
120 CC X-43.045 Y+10.153
121 CP IPA-18.751 IZ-0.212 DR-
122 L X-43.278 Y-10.291 Z+2.351
123 L X-52.153 Z+2.071
124 CC X-52.153 Y-10.847
```

```
125 CP IPA+90.03 IZ-0.028 DR+
126 L X-52.698 Y-30.36 Z+1.428
127 CC X-42.905 Y-29.973
128 CP IPA+24.249 IZ-0.131 DR+
129 CC X-42.983 Y-29.981
130 CP IPA+42.082 IZ-0.226 DR+
131 CC X-42.882 Y-29.516
132 CP IPA+14.962 IZ-0.084 DR+
133 L X-43.278 Y-39.7 Z+0.967
134 L X-37.465 Y-39.718 Z+0.783
135 CC X-37.998 Y-59.998
136 CP IPA-64.274 IZ-0.718 DR-
137 CC X-37.984 Y-59.995
138 CP IPA-20.795 IZ-0.232 DR-
139 L X-17.709 Y-60.073 Z-0.208
140 L Y-85.156 Z-1
.
.
.
.
.
2938 L M5
2939 L M23
2940 L Z-1 R0 FMAX M91
2941 L X-450 Y-375 FMAX M91
2942 CALL LBL 252 ;Reset roviny
obrabení
2943 PLANE RESET TURN FMAX
2944 L M30
2945
;=====
2946 ;= K O N E C P R O G R A M U
=
2947
;=====
2948 ;=====
2949 ;= DATA POLOH NULOVEHO BODU =
2950 ;=====
2951 ;Mac 1 Position 1
2952 LBL 201 ;Mac 1 Position 1
2953 Q23=0 ;Posun X
2954 Q24=0 ;Posun Y
2955 Q25=0 ;Posun Z
2956 Q20=-0 ;rotace SS kolem osy X
2957 Q21=0 ;rotace SS kolem osy Y
2958 Q22=-0 ;rotace SS kolem osy Z
2959 ;-----
2960 ;Lokalni posun NB
2961 Q26=0.000 ;Posun X
2962 Q27=0.000 ;Posun Y
2963 Q28=0.000 ;Posun Z
2964 ;Osa C: +0
2965 ;Osa B: +0
2966 LBL 0
2967 ;=====
2968 ;
2969 ;Nastavit polohu
2970 LBL 251 ;Nastavit polohu
2971 CALL LBL 252 ;Reset roviny
obrabení
2972 CYCL DEF 7.0 NULOVY BOD
2973 CYCL DEF 7.1 X+Q23
2974 CYCL DEF 7.2 Y+Q24
2975 CYCL DEF 7.3 Z+Q25
2976 Q32=Q22+Q29 ;C osa + transform 4x
2977 M126
2978 PLANE SPATIAL SPA+Q20 SPB+Q21
SPC+Q32 TURN FMAX SEQ+ TABLE ROT
2979 CYCL DEF 7.0 NULOVY BOD
2980 CYCL DEF 7.1 IX+Q26
2981 CYCL DEF 7.2 IY+Q27
2982 CYCL DEF 7.3 IZ+Q28
2983 L M11 M23
2984 LBL 0
2985 ;Reset roviny obrabení
2986 LBL 252
2987 FUNCTION RESET TCPM
2988 PLANE RESET STAY
2989 CYCL DEF 10.0 NATOCENI
2990 CYCL DEF 10.1 ROT+0
2991 CYCL DEF 7.0 NULOVY BOD
2992 CYCL DEF 7.1 X+0
2993 CYCL DEF 7.2 Y+0
2994 CYCL DEF 7.3 Z+0
2995 L M10 M22
2996 LBL 0
2997 ;-----
2998 ;
2999 ;Odjezd Z k referenci
3000 LBL 253
3001 L Z-1 FMAX M91
3002 LBL 0
3003
3004 ;-----
3005 ;
3006 ;Odjezd k referenci XYZ
3007 LBL 254
3008 L Z-1 FMAX M91
3009 L X-450 Y-375 FMAX M91
3010 LBL 0
3011
3012 END PGM HSR_R_LIN_OBROBEK MM
```