



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# SYSTÉM SINUMERIK PŘI SYNCHRONNÍM PROGRAMOVÁNÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

SINUMERIK TOOLS FOR SYNCHRONOUS PROGRAMMING OF CNC  
MACHINES

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Martin TOMAN

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Aleš POLZER, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/14

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Toman

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Systém Sinumerik při synchronním programování CNC obráběcích strojů**

v anglickém jazyce:

#### **Sinumerik tools for synchronous programming of CNC machines**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce je zaměřena na speciální funkce programovacího jazyka řídicího systému Sinumerik 840D. Hlavní míra pozornosti je soustředěna do oblastí ukázky možné aplikace funkcí podmíněných a nepodmíněných programových skoků a na možnosti synchronního programování. Jednotlivé možnosti jsou prezentovány na vlastních navržených součástkách, ke kterým je vždy zpracován náčrt se základními rozměry a především klíčová část NC programu.

Cíle diplomové práce:

- stručné začlenění řídicího systému Sinumerik 840D mezi ostatní řídicí systémy obráběcích strojů a metody NC programování
- analýza dostupných funkcí pro podmíněné a nepodmíněné programové skoky
- rozbor funkcí dostupných pro synchronní programování
- návrh krátkých programových sekvencí pro prezentaci možnosti využití programových skoků a synchronních funkcí
- praktické ověření částí výrobních programů na obráběcích strojích ÚST

Seznam odborné literatury:

ATKINS, Anthony G. The science and engineering of cutting: the mechanics and processes of separating, scratching and puncturing biomaterials, metals and non-metals. 1st ed. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, c2009, xiii, 413 s. ISBN 978-0-7506-8531-3.

SMITH, Graham T. Cutting tool technology: industrial handbook. London: Springer, c2008, xii, 599 s. ISBN 978-1-84800-204-3.

XU, Yongdong. Chemical vapour deposition: an integrated engineering design for advanced materials. London: Springer, c2010, 342 s. Engineering materials and processes. ISBN 978-1-84882-893-3.

TSCHÄTSCH, Heinz. Applied machining technology. Dordrecht: Springer, c2009, xvii, 398 s. ISBN 978-3-642-01006-4.

Machining of hard materials. Editor J Davim. London: Springer, c2011, xii, 211 s. ISBN 978-1-84996-449-4.

Surface integrity in machining. Editor J Davim. London: Springer, 2010, 215 s. ISBN 978-1-84882-873-5.

STAHL, Jan-Eric. SECO TOOLS AB. Metal Cutting Theories and Models. Lund, Sweden: Lund University, Metal Cutting Theories and Models. ISBN 978-91-637-1336-1.

FITZPATRICK, Michael. Machining and CNC Technology. 1st ed.

Boston: McGraw-Hill Science Engineering, 2004. ISBN 00-782-9860-1.

SIEMENS. Sinumerik 840D/840Di/810D: Příručka programování - Základy. 03.04. 2004, 486 s.

SIEMENS. Sinumerik 840D/840Di/810D: Příručka programování - Pro pokročilé. 03.04. 2004, 660 s.

SIEMENS. Sinumerik 840D/840Di/810D: ShopTurn - Obsluha/Programování. 06.03.2003, 435 s.

AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. (Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. Překlad M. Kudela.), 1. vyd., Praha, Scientia, s.r.o., 1997. 857 p. ed. J. Machač, J. Řasa, ISBN 91-97 22 99-4-6.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 24.10.2013



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.  
Ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan

## ABSTRAKT

Tato práce se zabývá pokročilým programováním CNC obráběcích strojů v řídicím systému Sinumerik 840D powerline se zaměřením na problematiku synchronních akcí. Tyto akce dokážou pružně reagovat na průběh obráběcího procesu v závislosti na detekování signálů ze stroje a provést na základě splnění podmínky určitou akci. V úvodu práce je stručně popsána základní problematika programování CNC strojů a řídicích systémů. Dále je popsána problematika související s programováním synchronních akcí. V praktické části práce je vytvořeno několik příkladů s ověřením jejich funkčnosti.

### Klíčová slova

Synchronní akce, programové skoky, Sinumerik 840D, adaptivní řízení, CNC programování

## ABSTRACT

This thesis deals with advanced programming of CNC milling machines in Sinumerik 840D powerline control system. Mostly it is aimed on issues of synchronized actions. These actions can adaptively react on progress of milling process regarding to signal detection from the machine and execute specific action. In the introduction of the thesis there are briefly described basic issues and fundamentals of CNC machines and control systems programming. The problematic regarding the programming of synchronized actions is also described. The examples with evaluation of their function are created in the practical part of thesis.

### Key words

Synchronized actions, program jumps, Sinumerik 840D, adaptive control, CNC programming

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TOMAN, Martin. *Systém Sinumerik při synchronním programování CNC obráběcích strojů*. Brno 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 54 s. 2 přílohy. Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Systém Sinumerik při synchronním programování CNC obráběcích strojů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

\_\_\_\_\_  
Bc. Martin Toman

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto panu Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi během zpracování diplomové práce věnoval. Také děkuji panu Jiřímu Čechovi za pomoc při přípravách a realizaci experimentů.

Za velkou podporu bych rovněž rád poděkoval své rodině a všem svým blízkým.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 ŘÍDICÍ SYSTÉMY OBRÁBĚCÍCH STROJŮ .....	10
1.1 Sinumerik.....	11
1.2 Fanuc .....	14
1.3 Heidenhain .....	15
1.4 Mach.....	16
2 METODY PROGRAMOVÁNÍ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ .....	17
2.1 Programování v ISO.....	17
2.2 Dílenské programování .....	18
2.3 CAD/CAM technologie .....	19
3 VYBRANÉ STATĚ CNC PROGRAMOVÁNÍ.....	21
3.1 Struktura programu .....	21
3.2 Trajektorie dráhy nástrojů .....	22
3.3 Interpolátor a IPO takt.....	22
3.4 Nástroj.....	22
3.5 Volba řezných podmínek a řezných parametrů.....	23
3.6 Záznam procesu obrábění .....	24
3.7 Technologické cykly .....	25
3.8 Úroveň ochrany.....	26
4 POKROČILÉ MOŽNOSTI PROGRAMOVÁNÍ.....	27
4.1 Proměnné a jejich využití.....	27
4.1.1 Systémové proměnné.....	27
4.1.2 Uživatelské proměnné.....	27
4.2 Parametrické programování .....	28
4.3 Podmíněné a nepodmíněné programové skoky.....	29
4.3.1 Nepodmíněné programové skoky .....	29
4.3.2 Podmíněné programové skoky.....	29
4.4 Příkaz WRITE.....	31
5 SYNCHRONNÍ AKCE .....	32
5.1 Využití synchronních akcí.....	32

5.2	Základní rozbor skladby synchronní akce.....	33
5.2.1	Oblast vyhodnocování synchronní akce .....	33
5.2.2	Doba platnosti .....	34
5.2.3	Podmínky pro provedení akce .....	34
5.2.4	Synchronní akce.....	35
6	PRAKTICKÉ PŘÍKLADY .....	37
6.1	Provedení korekce řezných podmínek na základě polohy nástroje .....	37
6.2	Zápis hodnot do souboru .....	39
6.2.1	NC program .....	39
6.3	Výkonové charakteristiky pohonů a vřetene.....	40
6.4	Adaptivní regulace .....	44
6.5	Snímání časového údaje.....	46
6.6	Přerušení nebo zastavení zpracování programu .....	46
6.7	Bezpečná vzdálenost mezi 2 vřeteny .....	47
6.8	Spuštění synchronní akce na základě hodnot vstupů a výstupů PLC .....	47
7	INTEGROVANÉ SYSTÉMY .....	48
8	DISKUZE .....	49
8.1	Návrhy pokračování řešení .....	49
	ZÁVĚR .....	50
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	51
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	54
	SEZNAM PŘÍLOH.....	55



## ÚVOD

Není sporu, že progresivní technologie jako počítačem podporované řízení strojů, tedy Computer Numeric Control (dále jen CNC) je jednou z významných součástí moderně vybavených podniků. V dnešní době, kdy jedním z hlavních měřítek finančního hodnocení je produktivita či efektivita obrábění, jsou tyto automatizované stroje nezbytnou součástí pokročilého výrobního řetězce - výroby, montáže, měření, výstupní kontroly. Výhody vycházející z jejich podstaty zvyšují zásadním způsobem rychlost, přesnost a spolehlivost obrábění. Stroje se zabudovanou počítačovou podporou jsou široce rozšířené v různých oblastech průmyslu. V této diplomové práci bude probíráno pouze programování obráběcích strojů.

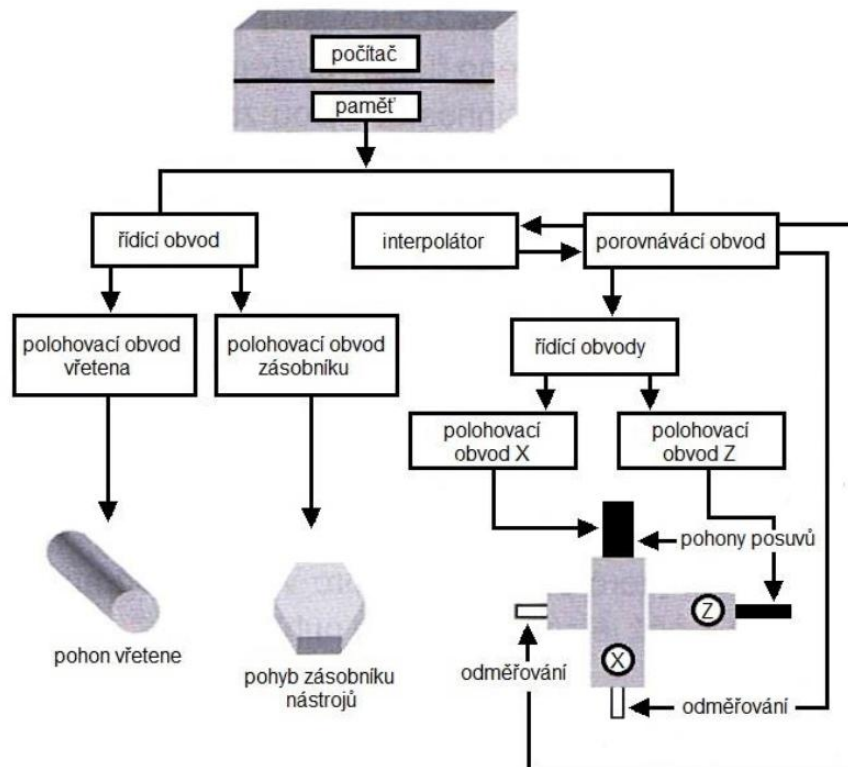
Tato problematika je podle mého názoru velice zajímavá i z pohledu velkého rozvoje výpočetní techniky a moderních CAx technologií, které postupem času čím dál více pronikají do průmyslu. Ve spolupráci s moderními obráběcími centry dokážou obrábět velice složité součásti tvořené složitými plochami. Dalšími novými trendy je zavádění umělých adaptivních funkcí.

V první kapitole zmíním hlavní představitele řídicích systémů a uvedu jejich modelové řady. Dále popíši současné metody programování CNC strojů a jejich výhody a nevýhody při použití v praxi. Samostatnou kapitolu jsem vyčlenil vybraným oblastem programování CNC strojů, které čtenář potřebuje znát jako základ pro orientaci v problematice pokročilého programování.

Hlavním cílem práce je popis a následná ukázka synchronního programování a také dalších funkcí jako jsou programové skoky v NC programech. Tyto znalosti nejsou nezbytně nutné pro základní programování, avšak mohou napomoci k optimalizaci procesu obrábění a efektivnějšímu využití stroje. Základem synchronního programování je využití systémových a uživatelských proměnných řídicího systému jako reálných hodnot ze stroje, které mohou být v reálném čase vyhodnocovány a pružně aplikovány na proces obrábění.

## 1 ŘÍDICÍ SYSTÉMY OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Řídicí systém (dále jen ŘS) je základní částí CNC strojů. Můžeme si jej představit jako počítač, který řídí pomocí logických hodnot jednotlivé složky stroje, jako jsou posuvy, pohony, pomocné funkce apod. Hlavním úkolem ŘS je tedy požadovanou trajektorii pomocí interpolátoru nadělit a pomocí řídicích obvodů poslat k jednotlivým pohonům stroje [1,2].



Obr. 1.1 Řídicí systém stroje [1]

Největšími producenty v oblasti ŘS na Evropských trzích jsou společnosti Siemens, Fanuc a Heidenhain. Každý z těchto výrobců má více verzí, které mohou být implementovány do stroje v závislosti na mnoha faktorech zejména:

- počet řízených os,
- počet kanálů,
- obráběcí operace,
- variabilita,
- způsob programování stroje.

## 1.1 Sinumerik

Německá společnost Siemens AG je předním světovým producentem na trhu v oblasti automatizace a vývoje CNC řídicích systémů. Již od roku 1960 ŘS Sinumerik produkuje první průmyslové NC a za tuto dobu vzešlo z podniku několik modelových řad. V současné době nabízí Siemens ve svém portfoliu převážně tyto modelové řady [3,4]:

### SINUMERIK 808

Sinumerik 808D je jednoduchý řídicí systém, který se používá pro základní modelové řady frézek a soustruhů. Jeho výhodou je intuitivní ovládání a společně s průvodcem ovládání je relativně snadné stroj uvést do provozu a následovně ho provozovat. ŘS dokáže řídit až 4 osy na 1 kanálu. Tento ŘS používá operátorský panel IP 65 s nově vyvinutým ŘS SINUMERIK Operate BASIC, který pokračuje ve filozofii svých předchůdců a ovládání je tak velmi dobře graficky názorné. Modelová verze SINUMERIK 808 existuje ve verzi 808D nebo 808D ADVANCE. Výhodnou rozšířené verze ADVANCE je funkce Advance Surface [5,6].



Obr. 1.2 Operátorský panel IP65 [5].

### SINUMERIK 828

Modelová řada 828 je určena přednostně pro standardní koncepci strojů. Tento řídicí systém se řadí do skupiny kompaktních systémů a je prezentován jako zcela bezúdržbový. Nejvíce se používá pro operace soustružení a frézování, proto umožňuje všechny metody použitelné pro dílenské programování, jako jsou ShopMill, ShopTurn nebo programování v ISO dialogu. Operátorský panel může mít jak vertikální tak horizontální uspořádání [8].



Obr. 1.3 Operátorský panel Sinumerik 828D [7].

### SINUMERIK 840D a 840D sl

Sinumerik 840D je prezentován společností Siemens jako v současnosti nejlepší systém s vysokým výkonem a flexibilitou. Řadí se do skupiny stavebnicových ŘS a dokáže tak plně pokrýt potřeby jak výrobců CNC strojů, tak požadavky zákazníka. Jako nejvšestrannější z těchto modelových řad dokáže v základu řídit 6 os (840D sl Basic), při zakoupení jiné řídicí jednotky NCU730.2 nebo NC730.2 dokáže řídit až 32 os a z toho 20 jich může interpolovat současně [9,10,11].

Tento ŘS se v průběhu času a požadavků trhu vyvíjí - dřívější verzi tohoto ŘS řady PowerLine (840D pl) s pohonnou soustavou SIMODRIVE vystřídala někdejší varianta SolutionLine s pohonnou soustavou SIMATICS. V důsledku tohoto vývoje verze 840D k datu 1. 4. 2015 končí a nahrazuje ji modulární model 840D sl [10,13].

Tab. 1.1 Hlavní rozdíly produktových řad PowerLine a SolutionLine [12].

	PowerLine	SolutionLine
pohonová jednotka	Simodrive	Sinamics
označení systému	810D, 802D, 840D	840D sl, 802 sl
uvedení do provozu	pomocí externího PC	RAPID Startup Topology
komunikace motorů a snímačů s NCK	protokol MPI	technologie DRIVE CLIQ
motory		chytřejší řešení kabeláže

Jelikož se jedná o modulární systém, je jeho specifikace velmi odvislá od požadavků výrobce a také uživatele stroje. Obecně je lepší hned v počátku definovat co nejlépe, pro jaký účel je stroj pořizován, na jaké aplikace se požadují a očekávají, že zvládne také do budoucna. Následná modernizace, modifikace systému nebo přestavba může být pak v průběhu času velmi náročná nebo dokonce nemožná [9].

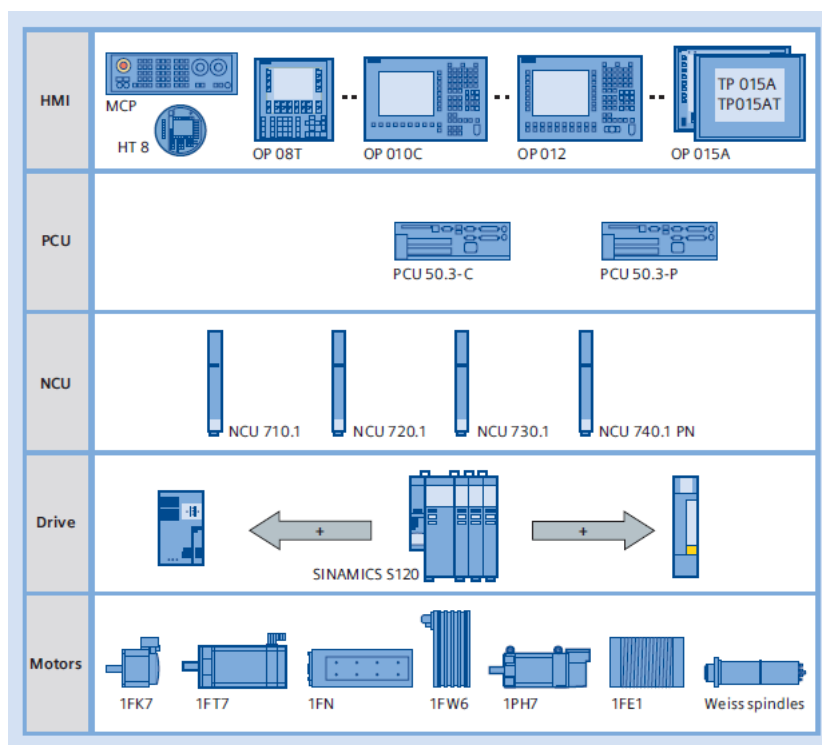
Tab.1.2 Možnosti v řízení počtu os řady SolutonLine na volbě řídicí jednotky [9].

	NCU 710	NCU 720	NCU 730
Počet os/vřeten	6/8	31	31
Počet současně interpolovaných	6/8	20	20
Počet kanálů	4	10	10
PLC	SIMATIC S7-300		



Obr. 1.4 Operátorský panel ŘS Sinumerik 840D sl na stroji DMG.

Na obrázku 1.5 je ukázáno spektrum možných hardwarových konfigurací stovebnicového (modulárního) systému, ze kterých je možné si vybrat jednotlivé hlavní komponenty pro danou konfiguraci stroje.



Obr. 1.5 Ukázka modularity ŘS Sinumerik 840D sl [14].

Tab. 1.3 Popis HW komponentu stroje s ŘS SINUMERIK 840D sl [1].

### Komponenty CNC stroje

HMI	rozhraní ovládacích panelů (Human-Machine interface)
PCU	průmyslový počítač (Programmable central unit)
NCU	řídící jednotka [PLC+NCK] (Numerical control unit)
Drive	výkonová elektronika - frekvenční měniče servomotorů
Motors	jednotlivé motory pohonů

## 1.2 Fanuc

Tato původně Japonská společnost je v dnešní době nadnárodní korporací. Fanuc Corporation lze v současné době rozdělit do 3 hlavních regionů Asie, Evropa a Amerika. Figuruje jako světový lídr, co do objemu poskytovaných produktů, v oblasti automatizace a ŘS pro CNC stroje. Podobně jako společnost Siemens poskytují řadu kompaktních, ale také modulárních ŘS, kde je možnost z širšího výběru opcí a jednotlivých komponent [15,16].



Obr.1.6 Ukázka panelů HMI rozhraní společnosti Fanuc [16].

Obdobně jako společnost Siemens má i Fanuc pro výrobce stroje na výběr z kompaktní řady, kde jsou veškeré podstatné komponenty navzájem sladěny v jedné sadě (Oi). V případě, že jsou na ŘS kladeny vyšší nároky, může výrobce konfiguraci provést sám použitím modulárních paketů.

Tab. 1.4 Možnosti v řízení ŘS Fanuc [17,18].

Řídicí systém	Počet os	Současně interpolujících	Počet kanálů	Počet vřeten
32i-A	9 (5 na kanál)	4	2	2
31i-A	20	5	4	6
30i-A	32	24	10	8
Oi Mate-MD	3	3	1	1
Oi Mate-TD	3	3	1	1
Oi-MD	8	4	1	2
Oi-TD	11 (7 na kanál)	4	2	4

Tab. 1.5 Rozdíly mezi kompaktní a modulární řadou ŘS Fanuc [17].

<u>Oi series – kompaktní řada</u>	<u>30i/31i/32i series – modulární řady</u>
- předdefinovaná konfigurace	- výbava ŘS je na výrobcu stroje
- v základu vše podstatné	- velký výběr SW opcí
- menší výběr SW opcí	- potřeba dobré specifikace
- HW prakticky stejný jako u modulární řady	- pohony Alpha i
- pohony Alpha i nebo Beta i	

### 1.3 Heidenhain

Německá společnost je dalším významným zástupcem na poli řízení CNC strojů, zejména pro Evropský trh. Systémy Heidenhain vynikají převážně v oblasti frézování, jejich nejnovější model TNC 640 je však univerzálním ŘS použitelným jak pro frézovací, tak soustružnické technologie. Dalšími významnými produkty společnosti Heidenhain, které velmi úzce souvisí se stavbou obráběcích strojů, jsou snímače pro odměřování polohy lineárních a rotačních posuvů. V tabulce tab. 1.6 jsou zmíněny všechny aktuální modelové řady ŘS. Do větší hloubky bude probrán ŘS TNC 640 [19].

Tab. 1.6 ŘS společnosti Heidenhain [19].

Frézování	Soustružení	Univerzální
TNC 620	CNC PILOT 640	TNC 640
TNC 320		
TNC 128		
iTNC 530		

#### Heidenhain TNC 640

Nový model - TNC 640 je funkční jak pro operace frézování tak soustružení. Jak je z tabulky 1.6 vidět, jedná se o jediný univerzální systém. Jako u většiny ŘS Heidenhain tvorba NC programu probíhá pomocí dialogu, tedy v dílenském rozhraní s velkou podporou technologických cyklů. ŘS umožňuje zpracování programu z postprocesoru CAD/CAM technologie. Jedná se o ucelený koncept, který zvládne jak základní operace, tak výkonově složitější operace. Další možnosti jak dále zdokonalit tento ŘS může být pomocí opcí jako adaptivní řízení rychlosti (AFC) nebo například aktivní útlum vibrací (ACD) [19,20].



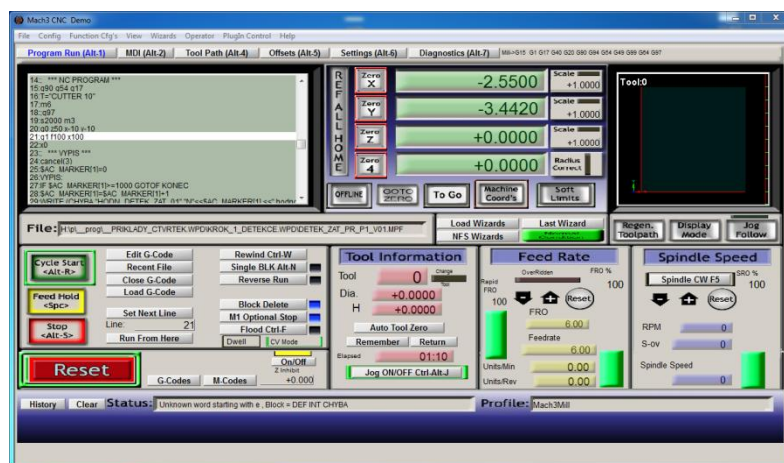
Obr. 1.7 Řídicí panel Heidenhain [20].

## 1.4 Mach

S velmi rychlým vývojem světa výpočetní techniky je možné snímat a řídit i velmi rychlé procesy pomocí běžného PC. Při použití jednoduchého hardwaru pro snazší připojení počítače ke stroji (oddělovací deska) už v dnešní době není neobvyklé vidět jednoduché stroje takto řízené. Po doplnění systému o jednoduchý hardwarový interpolátor se omezí vliv možných chyb a časových prodlev z PC, zásadně se zvýší pracovní bezpečnost a spolehlivost a vznikne takřka plnohodnotný ŘS. Další komponenty systému mohou zůstat identické – snímače, drivery a pohony atd. Tyto komponenty včetně potřebného softwaru lze pořídit v řádu jednotek až desítek tisíc, tedy řádově levněji [21,23].

Zásadním rozdílem jsou pak omezené možnosti sofistikovaného řízení pohybů nástroje a maximální rychlost systému je závislá na použitém hardwaru – výpočty jsou prováděny softwarově na univerzálním hardwaru, nikoliv za podpory specializovaného hardwaru jako v případě vyspělých ŘS [22,23].

Na trhu s řídicími systémy se tak objevuje nová skupina ŘS, které jsou cenově dostupné např. pro výrobce malých jednoduchých strojů a nadšence v oblasti CNC strojů. Tyto systémy bezpochyby nedokážou svými parametry konkurovat ŘS jako Sinumerik nebo Fanuc, avšak pro svoji snadnost implementace, nízkou cenu a nenáročnost tvoří narůstající část segmentu s řízením CNC strojů [22,23].



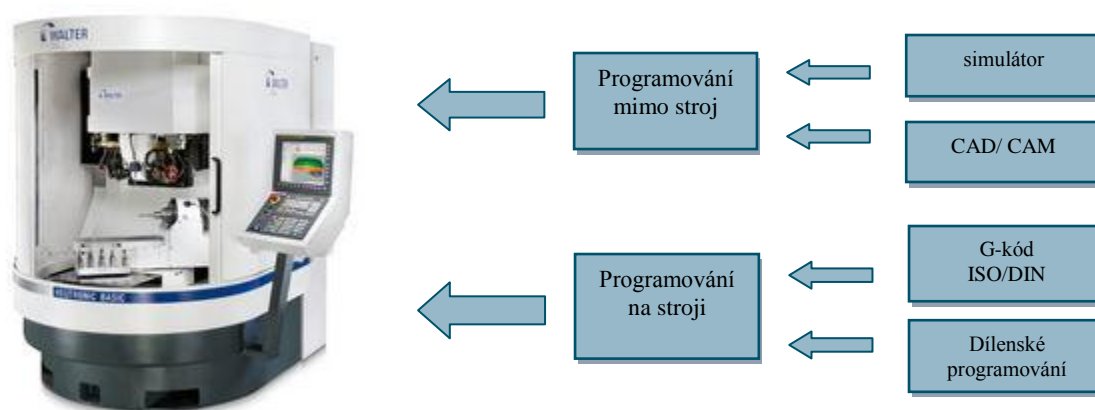
Obr. 1.8 Ukázka řídicího systému Mach3 [22].

Jedním z mnoha je řídicí systém Mach 3 – jedná se o program pro běžné PC. Jeho demo verze je ke stažení zdarma a náklady na pořízení plné verze nejsou nikterak vysoké (cca 5000 Kč) v porovnání s dlouhodobě zavedenými značkami. Dynamicky se vyvíjející situaci dokresluje novinka Mach 4, která vyniká mnoha vylepšeními v oblasti vlastní funkčnosti, rychlosti, bezpečnosti, podporou novějšího hardwaru apod. Zásadním nedostatkem zamezujícím rozšíření systému do profesionální sféry je velmi omezená softwarová podpora [22].



## 2 METODY PROGRAMOVÁNÍ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Proto, abychom mohli vyrobit požadovanou součást v požadovaných tolerancích, je důležité volit správně postup technologické přípravy výroby. Základní dělení ukazuje (viz obr. 2.1), že variant vytvoření NC programu je více. První možností je přímo ve stroji přes ovládací panel nebo lze program vytvořit mimo něj. Ve většině případů o tom rozhoduje několik faktorů, jako složitost součásti, velikost série, požadavky na přesnost součásti.



Obr. 2.1 Možnosti tvorby programu pro CNC stroje.

### 2.1 Programování v ISO

Programování ISO kódu je tou nejzákladnější formou, která je standardizována a je využitelná napříč řídicími systémy. Prakticky to znamená, že programátor vytváří dráhy nástroje v G-kódu, tedy v programovacím jazyku, kterým se obráběcí stroje přímo řídí.

Tato varianta není v průmyslu příliš užívaná vzhledem k časové náročnosti. Je však velice užitečné mít znalosti alespoň minimálních základů. Čím více programátor ovládá programování pomocí ISO dialektu, tím lépe může provádět korekce programů vzniklých dalšími způsoby tvorby programu a odhalit případné chyby [2].

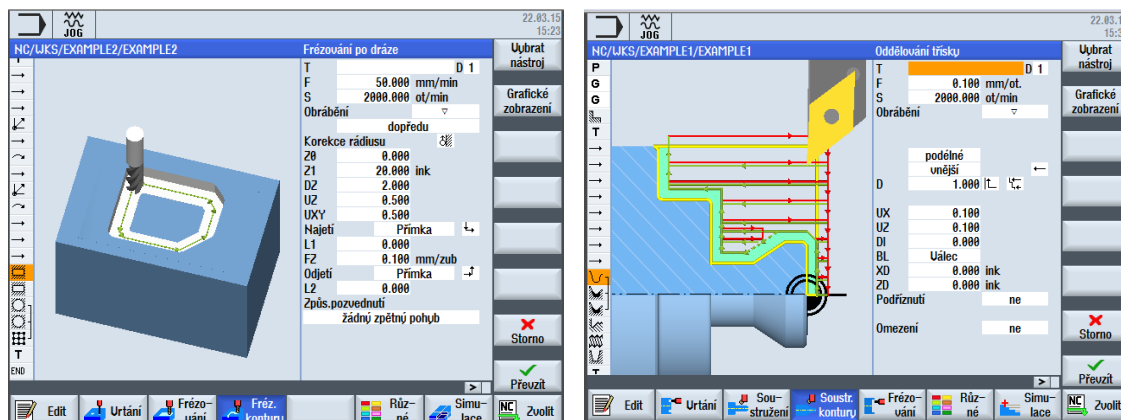
Tab. 2.1 Výhody a nevýhody ISO programování.

Výhody	Nevýhody
+ jednoznačné	- vyšší nároky na znalosti programátora
+ platný pro všechny ŘS	- pracné
+ NC program je možné psát v poznámkovém bloku	- větší riziko tvorby lidské chyby

## 2.2 Dílenské programování

Dílenské programování je zjednodušenou formou programování ISO kódu. Uživatelské rozhraní napomáhá sestavit program pomocí grafického znázornění a tak programátor nebo obsluha stroje dokáže naprogramovat jednoduché až středně složité součásti přímo na stroji a nemusí vytvářet program samostatně [2, 24].

V řídicím systému Sinumerik je toto dílenské programování zastoupeno rozhraním ShopMill pro frézování a ShopTurn pro oblast soustružení [25].



Obr. 2.2 Ukázka grafického rozhraní ShopMill a ShopTurn [26]

Pro jednoduché obráběcí technologie je to nejčastější způsob sestavení programu a s pomocí technologických cyklů vhodně volených na danou technologickou operaci je to často dostačující. Operátor nebo programátor si může, ještě než zahájí samostatný proces obrábění, odzkoušet program pomocí simulace a zmenšit tak riziko kolize nebo špatně obrobene součásti.

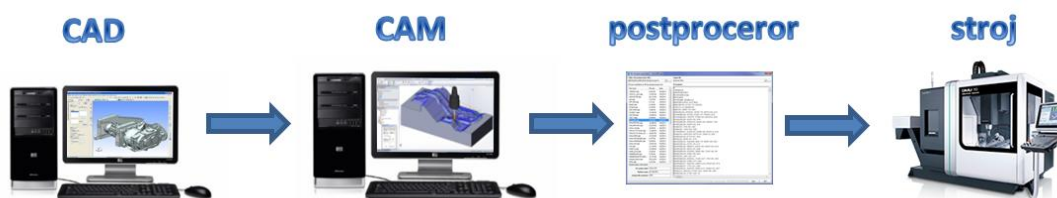
Tab. 2.2 Výhody a nevýhody dílenského programování

Výhody	Nevýhody
+ graficky názorné	- pro každý ŘS jiné ovládání
+ relativně snadné	- omezené pro pokročilé programování
+ možnost simulace	- vysoká odpovědnost pro obsluhu stroje

### 2.3 CAD/CAM technologie

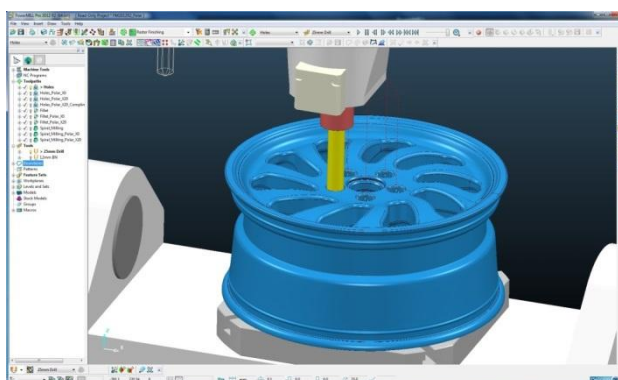
V dnešní době je počítačová technika nezbytnou výbavou převážné většiny strojírenských podniků a tím se navyšuje jejich softwarová vybavenost. Trend dnešní doby je co nejvíce činností automatizovat a pomocí CAx modulů seskupit do jednoho celku Product Lifecycle Management (PLM) [2].

Jednou z poměrně významných částí CNC programování je CAD/CAM technologie. Její využití prochází více fázemi životního cyklu výrobku (PLM). Výstupem z oddělení konstrukce je výkresová dokumentace nebo přímo 3D model (oblast CAD) a programátor CNC strojů vytvoří pomocí CAM softwaru vlastní technologii obrábění včetně dílčích obráběcích strategií. Daná obráběcí strategie je dále pomocí postprocesoru převedena do ISO kódu pro požadovaný ŘS a obráběcí stroj [2, 24].



Obr. 2.3 Postup výroby CAD/CAM technologií.

Pro výrobu komplexních dílců je tato technologie v současnosti bezpochyby nejvíce se rozrůstající postup tvorby CNC programu. Konstruktéři mají na starost volbu polotovaru a jeho vlastnosti, dále volí funkční rozměry a tolerance pro následnou montáž, ale také by měli dbát na vyrobitelnost součásti dostupnými prostředky. Technolog navrhne obráběcí strategie v závislosti na možnostech stroje, nástrojového „portfolia“ a způsobu upínání. Všechny tyto aspekty mají markantní vliv na dosažené výrobní tolerance strukturu povrchu a jeho integritu.

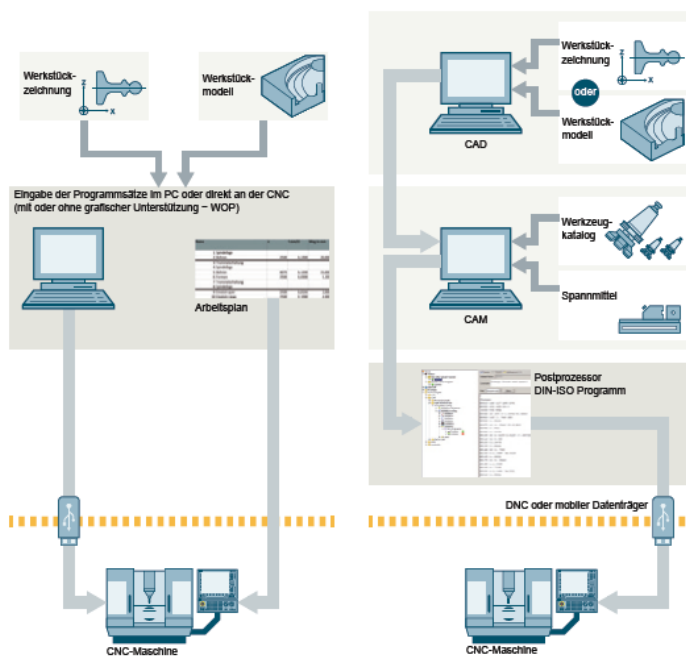


Obr. 2.4 Ukázka CAM software PowerMill firmy Delcam [27].

Nespornou výhodou CAD/CAM technologií je možnost kompletního návrhu mimo stroj a možnost optimalizovat obráběcí časy vypočtené počítačem již před začátkem obrábění. Možnosti těchto systémů se stále vyvíjí a pomocí dalších softwarových metod dokáže systém vypočítat silová zatížení a další parametry napomáhající co nejlépe řídicí kód obrábění naprogramovat [2].

Tab. 2.3 Výhody a nevýhody CAD/CAM technologie

Výhody	Nevýhody
+ tvorba NC programu přímo z 3D modelu	- vysoké náklady na CAM software, školení a výpočetní techniku
+ možnost vizualizace a následné simulace k odladění mimo stroj	- vysoké nároky na zaškolení programátora
+ lepší možnosti při optimalizaci obráběcích strategií a strojních časů	- potřeba správného postprocesoru k danému stroji
	- postprocesory mohou tvořit chyby, které pak programátor musí být schopen opravit



Obr. 2.5 Možnosti CAD/CAM systému [24].

### 3 VYBRANÉ STATĚ CNC PROGRAMOVÁNÍ

Jelikož problematika CNC programování je velmi rozsáhlá a v této práci ji nelze z hlediska rozsahu popsat celou, budou zde popsány pouze některé pasáže, které souvisí s programováním synchronních akcí (dále jen SA) nebo slouží jako nadstavba základního programovacího jazyka. Tyto informace mohou pomoci k vytvoření jakési představy, jakým způsobem lze zvýšit úroveň programování.

#### 3.1 Struktura programu

Základním stavebním prvkem programu je blok (v některých literaturách můžeme najít větu). Na příkladu programu je ukázána základní jedna z možností jak může takový program vypadat. Jsou zde naznačeny SA s modální platností, tedy platné na celý chod programu:

```
%_N_UKAZKA_MPF
; $PATH = /_N_WKS_DIR/_N_UKAZKA_WPD
N10 DEF INT promennal
N15 $AC_TIMER[1]=0
;*** synch akce ***
N20 ID=1 WHEN $AA_IM[X1]- $AA_IM[X2]<20 DO $AC_OVR[X2]=0
N25 ID=2 WHENEVER $AA_LOAD[SP1]>20 DO GOTOF MARK1
N30 ID=3 WHENEVER $A_INA[2]>5000 DO RDISABLE
N35 ID=4 WHEN $AA_S [1]<>0 DO $AC_TIMER[1]=1
;*** NC program ***
N40 g90 g54 g95 g71 DIAMON
N45 G0 X140 Z10
N50 T5 D1
N55 G0 X85 Z5
N60 G96 S200 M4 M8
N65 LIMS=1800
N70 G0 X81 Z0.1
N80 G1 X-1.6 F0.2
...

;*** vypis uzivatelske promenne ***
N180 $AC_TIMER=0
N185 WRITE (promennal, "_N_PROTFILE", "<<"CAS"<<$AC_TIMER[1])
N190 M30
```

### 3.2 Trajektorie dráhy nástrojů

V dnešní době při víceosém obrábění na multifunkčních centrech využívat složitějších a složených pohybů pomocí spline křivek. Poskytuje prostor pro optimalizaci procesu a vytváření co nehladšího povrchu s co nejkvalitnějším napojením ploch. Zde je pár příkladů pro možnosti dráhy nástrojů [28,29].

- lineární interpolace
- kruhová interpolace
- spirálová (šroubová) interpolace
- evolventní interpolace
- splinová interpolace
  - A-spline
  - B-spline
  - C-spline
- polynomičká interpolace

#### Kompresce NC bloku

Složité trajektorie tvořené CAD/CAM systémy produkují velké množství dat, které jsou pro stroj obtížně zpracovatelné. Kompresory mají za funkci dráhu aproximovat, a tím tak snížit počet potřebných bloků. Výsledkem takové komprese dat může dojít k lepšímu spojení přechodů mezi bloky a zvýšení plynulosti pohybu po dráze [29].

### 3.3 Interpolátor a IPO takt

Interpolátor je součástí řídicí jednotky (NCU), kde pomocí procesoru (NCK) se obstará numerické řízení procesu. Zjednodušeně řečeno zde dochází k rozdělení trajektorie na jednotlivé inkrementy a převedeny na elektrické impulzy, které jsou dále poslány do jednotlivých pohonných jednotek (servopohony, lineární motory, motory vřeten). S jakou frekvencí je dráha interpolována řídí IPO takt. IPO takt je v oblasti SA velmi podstatnou proměnnou, která určuje vzorkovací frekvenci pro vyhodnocení podmínky [1,2].

### 3.4 Nástroj

Díky různým vlivům, jako jsou nepřesnosti v sestavě nástroje nebo vysoká míra opotřebení, nemá nástroj jmenovité rozměry, a proto je důležité používat korekce nástroje. Korekce tak slouží k vyrovnání nedokonalosti a k dosažení požadovaného tvaru obrobku v požadovaných tolerancích. Některé aplikace takové korekce měnit i v průběhu obrábění pomocí SA [29].

TOFF – efektivní délka nástroje

FTOC – korekce rádiusu (offset nástroje)

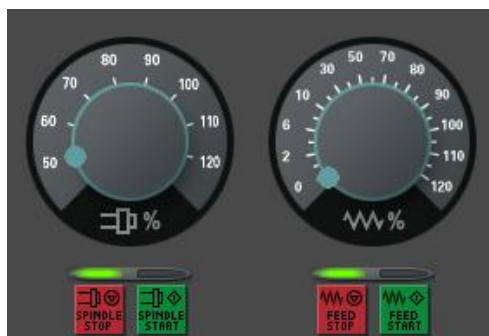
\$AA\_OFF – superponovaný pohyb

### 3.5 Volba řezných podmínek a řezných parametrů

Pro volbu technologie obrábění máme různé možnosti definování řezných podmínek, jako posuv a otáčky. Snižování nebo zvyšování těchto technologických parametrů lze provádět manuálně pomocí korekčních ovladačů (viz obr. 3.1) na ovládacím panelu. Druhý způsob může být pomocí proměnných hlavního zpracování v závislosti na určité události. To může být realizováno pomocí SA bez zásahu operátora. [30, 31]

#### Otáčky

`$AA_OVR[SP1]=80` - provedení korekce otáček na 80 %



Obr. 3.1 Korekce (override) řezných parametrů [26].

#### Posuv

Hodnoty posuvů jednoznačně přispívají jak ke kvalitě obrobenej plochy, tak k délce strojního času. Pro dosažení optimální kvality je rozhodující stanovení správných hodnot. Nadstavbou stanovení posuvu je například využití různých variant nabývání maximálních hodnot posuvu [29].

- konstantní posuv FNORM
- lineární nárůst FLIN
- kubický nárůst FCUB
- polynomický nárůst FPO

Posuv a jeho korekce lze také adaptivně řídit pomocí SA. V praktické části této práce, je uvedeno několik příkladů [30].

`$AA_OVR[X]=50` - provedení korekce 50 % pouze na ose x

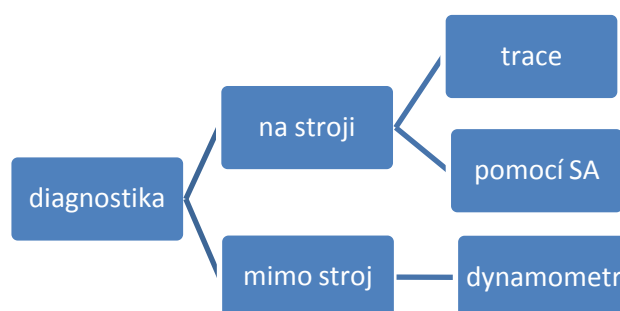
`$AA_OVR[Y]=70` - provedení korekce 70 % pouze na ose y

`$AC_OVR=80` - celková korekce dráhy 80 %

### 3.6 Záznam procesu obrábění

Diagnostika je pro synchronní akce důležitou složkou. V této práci byla využita například pro snímání zátěžových hodnot servopohonů a vřetena (zatížení, kroučící moment). Dalším využitím, kde by se mohlo využít diagnostiky systému, je při analýze geometrie stroje, stanovení kompenzací stroje vlivem opotřebení stroje, kompenzace při různých teplotách, kompenzace odměřovacích systémů. Při obrábění dochází k mnoho odchylkám od ideálního stavu, a čím lépe jsou chyby eliminovány, tím přesněji může být součást vyrobena [31, 30].

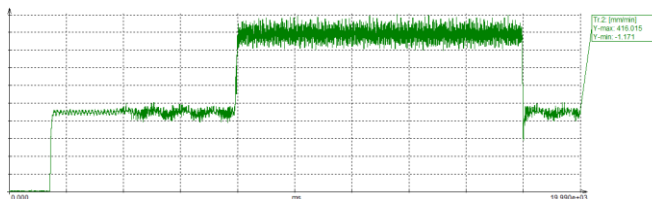
V obrázku 3.2 jsou prezentovány 3 varianty snímání reálných hodnot obrábění, které byly použity i v této práci.



Obr. 3.2 Rozdělení variant diagnostiky

#### TRACE

Funkce Trace slouží k diagnostice procesu. Lze tak například snímat hodnoty signálu z pohonových jednotek. Spouštění probíhá přímo v rámci rozhraní na obrazovce panelu ŘS. Po zaznamenání hodnot lze na obrazovce vidět základní průběh. V případě přesnější analýzy si lze soubor hodnot překopírovat a vyhodnotit například na externím PC. Záznam lze spustit pomocí SA nebo ručně. Nevýhodou však ručního spouštění záznamu, je v rozhraní potřeba přepínat mezi jednotlivými rozhraními a tak snadno může dojít k lidské chybě. Další nevýhodou je exportovaný soubor, který není přímo určený pro vlastní úpravu.

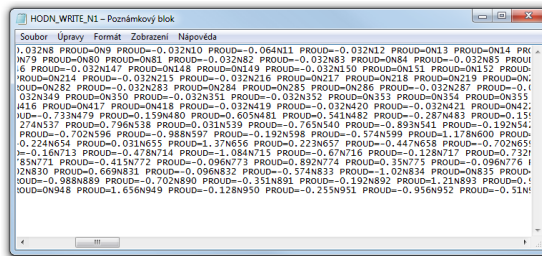


Obr. 3.3 záznam pomocí funkce Trace



### Pomocí Synchronní akce a příkazu WRITE

Podobným příkladem jako je nástroj Trace si lze podobně naprogramovat záznam systémových proměnných sám pomocí SA. Jako jeden z příkladů v praktické části je uveden záznam systémových proměnných pohonů. Výhodou této metody je samostatné spuštění a lze tak vyloučit lidský faktor. Zaznamenané hodnoty se pak pomocí příkazu WRITE vypíší do vlastního souboru. Tím, že lze funkci naprogramovat, je možné pomocí excelu tyto hodnoty separovat a vynést do grafu [30].



Obr. 3.4 Soubor se zaznamenanou proměnnou.

### Dynamometr

Pro snímání výkonových veličin může posloužit dynamometr jako nepřímý nástroj ověření vyhodnocených výsledků. Jedná se tedy o samostatný systém, který může sloužit k porovnání a zpětné vazbě.

### 3.7 Technologické cykly

Technologické cykly se využívají pro známé strojní prvky jako zápichy, drážky, kapsy atd. Dokážou tedy usnadnit práci programátorovi, který nemusí programovat celou pasáž, ale stačí definovat určité parametry.

Pomocí SA lze také vytvořit technologický vlastní technologický cyklus. Tyto cykly jsou volané z podprogramu a dokážou nezávisle na hlavním programu polohovat a pohybovat s osami a vřeteny. Použití takových technologických cyklů může být užitečné u speciálních konstrukcí stroje [30].



Obr. 3.5 Speciální konstrukce stroje EMAG VL2P [32].

### 3.8 Úroveň ochrany

Pro dosažení dostatečné úrovně ochrany obsahuje ŘS různé druhy bezpečnostních prvků. Je definováno 8 stupňů ochrany, které zajišťují bezpečnost, a také zamezují obsluze provést některé nežádoucí operace [33].

Na stroji je několik možností úrovně přístupu pro editaci ŘS. Pomocí systémových proměnných, které mají definovaný stupeň ochrany proti přepisování hodnot. V případě nesprávně nastavených proměnných by mohlo dojít ke kolizi [30].

Úroveň ochrany mají definovány také systémové proměnné. Pokud tyto proměnné jsou definované uživatelem, pak má uživatel možnost úroveň ochrany definovat sám [30].

Tab. 3.1 Stupně ochrany [33].

úroveň ochrany	Způsob ochrany	Oblast
0	heslo	Siemens
1	heslo	výrobce stroje
2	heslo	technik uvádějící stroj do provozu
3	heslo	servisní technik
4	klíč poloha 3	programátor
5	klíč poloha 2	kvalifikovaný operátor
6	klíč poloha 1	vzdělaná operátor
7	klíč poloha 0	zaučený operátor

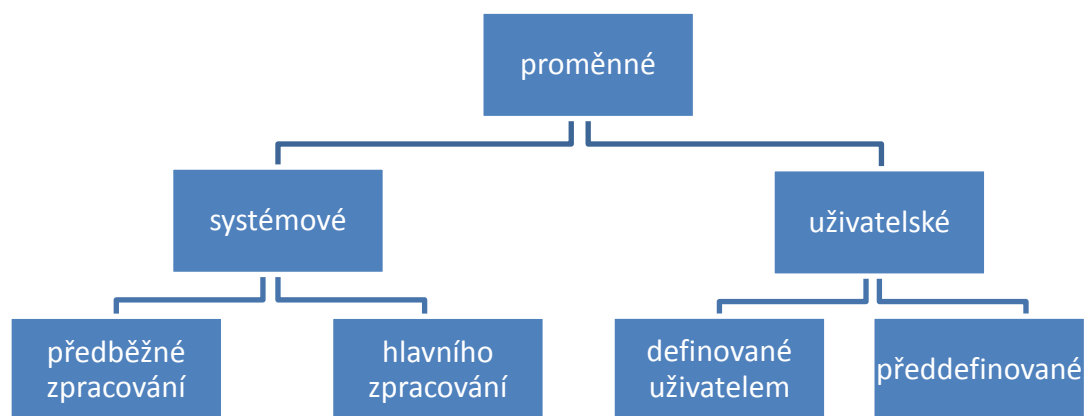
## 4 POKROČILÉ MOŽNOSTI PROGRAMOVÁNÍ

Pokročilými možnostmi vytváření NC programu jsou myšleny převážně příkazy, které mohou kód povýšit na univerzálnější, snadno modifikovatelný nebo adaptivní program.

### 4.1 Proměnné a jejich využití

Aby stroj správně fungoval, má jeho řídicí systém v sobě definovaný nespočet proměnných, dle kterých se vše řídí. K většině z nich se běžný uživatel nedostane a nemůže hodnoty těchto proměnných měnit bez přístupu k vyšší úrovni ochrany (viz kapitola 3.9) [29].

Tyto proměnné bychom mohli rozdělit na systémové a uživatelské. Smyslem systémových proměnných je předem definovat vlastnosti systému. Uživatelské proměnné jsou takové proměnné, které si výlučně definuje uživatel stroje [29].



Obr. 4.1 Proměnné ŘS Sinumerik [29]

#### 4.1.1 Systémové proměnné

Jejich význam je pevně definovaný v systému, umožňují přístup k aktuálnímu nastavení parametrů ŘS a také ke stavovým informacím o stroji a řídicím systému. Tyto systémové proměnné se dále dělí dle působnosti v předběžném nebo hlavním zpracování. Některé systémové proměnné hlavního zpracování lze zapisovat a číst pomocí synchronních akcí [29].

#### 4.1.2 Uživatelské proměnné

##### Předdefinované proměnné

Předdefinované proměnné jsou oproti systémovým proměnným pro uživatele otevřené. Do oblasti předdefinovaných uživatelských proměnných můžeme zařadit početní parametr R, který se využívá hlavně v parametrickém programování (viz kap. 4.2) [29].

Jako další uživatelsky předdefinované proměnné používané v synchronních akcích jsou [30]:

- \$AC\_MARKER
- \$AC\_PARAM
- \$AC\_TIMER

Tyto uživatelské proměnné budou použity v příkladech synchronních akcí.

### Proměnné definované uživatelem

Uživatelské proměnné vytváří uživatel pomocí striktně definované syntaxe. Tyto proměnné mohou být také využitelné při programování synchronních akcí.

Základní kategorie uživatelských proměnných [29]:

- LUD
- PUD
- GUD

Vzhledem k tomu, že v práci není tato kategorie proměnných použita, není detailněji rozepisována.

### Datové typy proměnných

Tab. 4.1 Datové typy proměnných [30]

Datový typ	Význam	Rozsah hodnot
INT	Celočíselné hodnoty se znaménkem	<-2147483648;+2147483647>
REAL	reálné číslo	$\pm(\sim 2,2 \cdot 10^{-308} \dots \sim 1,8 \cdot 10^{+308})$
BOOL	logická hodnota TRUE (1) A FALSE (0)	1
CHAR	znak ASCII	kód ASCII 0 ... 255
STRING	řetězec znaků definované délky	max. 200 znaků (žádné speciální znaky)
AXIS	identifikátor osy/vřetena	identifikátor kanálové osy
FRAME	geometrické údaje pro statické transformace souřadného systému	---

### Operace s proměnnými

Proměnné lze dále upravovat pomocí operátorů, booleovských operací nebo aritmetických funkcí.

#### 4.2 Parametrické programování

Parametrické programování nám může usnadnit práci tím, že některé hodnoty lze definovat pomocí početního R-parametru. Je možno například zvýšit flexibilitu výrobního programu pro více tvarově podobných součástí. Tyto parametry R jsou definované uživatelem stroje. Proměnný parametr R je reálná proměnná, která je zpracována v předběžné zpracování nebo v hlavním v případě využití SA [29].

$$R1 = \cos 60$$

nebo při programování synchronních akcí

$$\$R1 = \$IN\_A[1]$$

### 4.3 Podmíněné a nepodmíněné programové skoky

#### 4.3.1 Nepodmíněné programové skoky

Pomocí programových skoků je možno zajistit odlišnou posloupnost zpracování programu, než jaká je jeho hierarchická struktura.

##### **GOTO**

K tomu, aby bylo možné se vrátit k nějaké pasáži a zpracovat ji ještě jednou nebo naopak určitou pasáž programu přeskočit, slouží příkazy GOTO (GOTOS, GOTOB, GOTOF). Bez zadané podmínky jsou programové skoky určené především k úpravě kódu přímo na stroji popřípadě k použití v synchronních akcích, kde je skok řízen samotnou SA [29].

##### **REPEAT**

Pro opakování části programu existuje více variant, pro názornost však bude stačit pouze základní příkaz REPEAT. Taková smyčka je označena návěštím skoku (label), příkazem REPEAT (REPEAT, REPEATB) a je ukončena číselným parametrem P, který určuje počet opakování smyčky [29].

##### **CASE**

Další možností větvení programu nabízí funkce CASE. Umožňuje na základě různých hodnot porovnávané proměnné skočit v programu na různá místa, čímž lze rozvést program na více jak 2 varianty jedním příkazem [29].

#### 4.3.2 Podmíněné programové skoky

Doplněním nepodmíněných skoků o podmínku je možno větvení kódu řídit pomocí proměnné bez zásahu uživatele. Podmíněné programové skoky jsou funkčně podobné SA, avšak umožňují pouze základní větvení programu a to pouze jako příkaz v části programu. Naopak vyhodnocení SA může probíhat po celou dobu zpracování podmínkou [29].

##### **IF, ELSE, ENDIF**

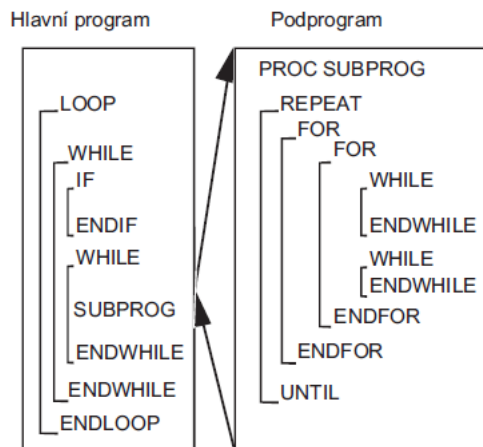
```
IF <podmínka>  
  Programový blok ; Zpracovat, pokud: <podmínka> == TRUE  
ENDIF
```

nebo

```
IF <podmínka>  
  programový blok_1 ; Zpracovat, pokud: <podmínka> == TRUE  
ELSE  
  programový blok_2 ; Zpracovat, pokud: <podmínka> == FALSE  
ENDIF
```

Další příkazy pro podmíněné větvení [29]:

- LOOP, ENLOOP (nekonečná programová smyčka),
- FOR TO , ENDFOR (smyčka s počítadlem),
- WHILE, ENDWHILE (programová smyčka s podmínkou na začátku),
- REPEAT, UNTIL (programová smyčka s podmínkou na konci).



Obr. 4.2 Větvení programu [29].

**Příklad:**

```

. . . . .
N110 G1 F1000 X200
N120 F500 X0
N130 BROUSENI:
N140 IF $AC_MARKER[1]>=50 GOTOF KONEC
N150 $AC_MARKER[1]=$AC_MARKER[1]+1
N160 WRITE (CHYBA,"MANI","X"<<$AC_MARKER[1]<<"ABC"<<$AC_PARAM[1])
N170 IF CHYBA
N180 MSG ("chyba pri vypisu hodnot:"<<CHYBA)
N190 M0
N200 ENDIF
N210 GOTOB BROUSENI
N220 KONEC:
N230 STOPRE
N240 ENDIF
N250 M30

```

#### 4.4 Příkaz WRITE

Příkaz WRITE slouží k výpisu určitého řetězce znaků. Tento příkaz jsem využil pro výpis systémových proměnných zatížení kinematické soustavy stroje. Je to jedna z možností, jak v přesně definovaném čase dokážeme proměnnou zachytit a následně vypsat do souboru/programu. V případě, že jsme u stroje, dokážeme si určitou informaci zaznamenat, aniž bychom k tomu potřebovali další zařízení. V praktické části je sestaven algoritmus pro záznam a následný výpis i pro několik tisíc hodnot.

Výpis hodnot je vždy proveden do statické paměti NC systému. Pro správné provedení je potřeba správně definovat cestu, kam se mají hodnoty vypsat, a také definovat proměnnou pro chybovou hodnotu v případě, že se z určitého důvodu nepovede tento výpis provést [29,34].

Příklad [29]:

```
N10 DEF INT ERROR ; Definice chybové proměnné.  
N20 WRITE (ERROR, "PROT", "PROTOKOLL 25.5.2015")  
N30 IF ERROR ; Vyhodnocování chyby.  
N40 MSG ("Fehler bei WRITE-Befehl:" << ERROR)  
N50 M0  
N60 ENDIF
```

Pomocí příkazu WRITE nelze vypisovat hodnoty do externího adresáře nebo na externí úložiště (flash disk). Tento výpis je však možný pomocí kombinace 3 příkazů (EXTOPEN, WRITE, EXTCLOSE) [34].

## 5 SYNCHRONNÍ AKCE

Synchronní akce jsou jakousi nadstavbou běžného konvenčního programovacího jazyka. Pomocí těchto akcí dokáže stroj adaptivně reagovat v reálném čase na průběh obráběcího procesu. Tyto akce fungují na principu podmínek, které v případě že jsou splněny, jednorázově nebo po stanovenou dobu ovlivňují chod programu. Celý proces probíhá v taktu interpolace a tím dokáže pružně reagovat nebo monitorovat celý obráběcí proces [30].



Obr.6.1 Možné případy použití synchronních akcí [30].

### 5.1 Využití synchronních akcí

Tyto funkce mohou optimalizovat průběh výroby z různých hledisek [30]:

- úspory doby obrábění,
- šetrnějšího zacházení se strojem,
- bezpečnosti stroje,
- diagnostiky obrábění,
- adaptivního řízení řezných podmínek,
- pozastavení chodu stroje na základě určitého faktoru aj.

Synchronní programování není jednoduchou záležitostí, je k nim potřeba pokročilejší znalosti programování:

- pokročilé znalosti programátora
- znalost konfiguraci stroje
- pro některé SA speciální opce ŘS



## 5.2 Základní rozbor skladby synchronní akce

Synchronní akce mají jasně stanovenou základní skladbu. Její definování se provádí vždy v samostatném bloku programu a platí od následujícího zpracovatelného bloku. Ve většině případů se SA s modální platností vkládají na začátek programu, ale nemusí to být pravidlem. Do NC programu lze nadefinovat několik funkcí s podmínkou, které jsou vyhodnocovány nezávisle na konci bloku [30].



Obr.6.2 Základní schéma charakteristických složek synchronní akce [30].

### Názorné ukázky příkladů synchronních akcí:

- Pokaždé, když poloha souřadnice x přesáhne hodnotu 150 v souřadném systému stroje, pak proved' korekci posuvu (override) 30%:

```
ID=1 WHENEVER $AA_IM[X] > 150 DO $AA_OVR[X]=30
```

- Když hodnota do konce bloku bude menší jak 5, proved' spuštění předběžného zpracování:

```
WHEN $AC_DTEB<5 DO STOPREOF
```

- Jestliže hodnota analogového vstupu 1 bude menší jak 5, proved' zastavení zpracování:

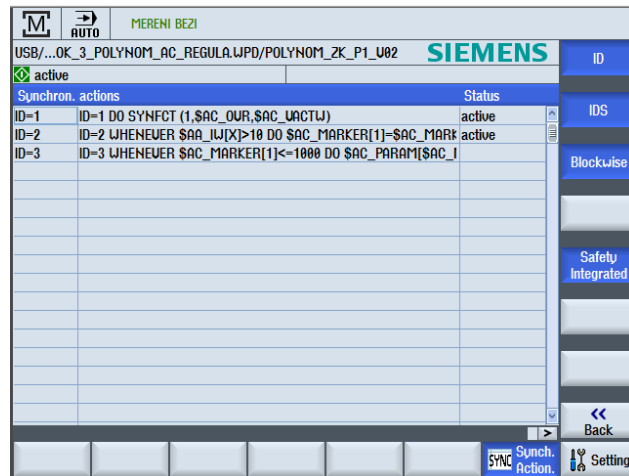
```
WHEN $A_INA[1]<5 DO RDISABLE
```

### 5.2.1 Oblast vyhodnocování synchronní akce

Při definování synchronní akce existuje možnost si vybrat, zda bude platit pouze na následující blok a v tom případě se žádná oblast platnosti nezadává. V případě, že se má podmínka vyhodnocovat po celou dobu chodu programu, tedy modálně, pak je možnost vybrat ze dvou možností [30].

Tab. 5.1 Oblast platnosti synchronní akce [30].

Platnost	Syntaxe	Význam
blokově		podmínka bude spuštěna pouze pro následující blok
modálně	ID=<n>	podmínka platí pro celý NC program avšak pouze v režimu AUTO
	IDS=<n>	statická podmínka platí ve všech režimech zpracování



Obr. 6.3 Synchronních akce konkrétního programu v SINUMERIK Operate 4.5 [26].

### 5.2.2 Doba platnosti

Dalším klíčovou činností je vymezení oblasti platnosti, tedy jak dlouho se bude podmínka vyhodnocovat a kolikrát se provede akce [30].

Tab. 5.2 Doba provedení synchronní akce [30].

Klíčové slovo	Význam
„prázdné“	akce je provedena cyklicky v každém interpolačním cyklu
WHEN	provede akci pouze jedenkrát, když je podmínka splněna
WHENEVER	provede akci pokaždé, když je podmínka splněna
FROM	Vyhodnotí v každém interpolačním taktu, dokud není podmínka jedenkrát splněna. Akce se provádí, dokud je akce aktivní i v případě že podmínka už neplatí.
EVERY	Pokaždé, když je podmínka změněna ze stavu FALSE do stavu TRUE.

### 5.2.3 Podmínky pro provedení akce

Stanovení podmínek může být velice různorodé a není možné zde vypsát všechny možné příklady. Pro představu jsou zde vypsány některé možnosti.

Možné podmínky [30]:

- Porovnávání proměnných hlavního zpracování
  - Analogové vstupy/výstupy - Analogový vstup může být například hodnota ze snímače teploty, tenzometru apod.
  - Digitální vstupy/výstupy - Digitální vstup může být koncový snímač polohy, senzor přítomnosti nástroje apod.
- Výsledek Booleovského porovnání TRUE (1)/FALSE(0)
  - $\$AC\_MARKER[1] == 1$
- Výpočet výrazů v reálném čase

`$AA_IM[X1] - $AA_IM[X2] < 20`

- Čas od začátku bloku

`$AC_TIMER[3] > 20`

- pozice v souřadných systémech

`$AA_IM[X]` – pozice na ose X v souřadném systému obrobku (WCS)

`$AA_IW[Y]` – pozice na ose Y v souřadném systému stroje (MCS)

- Vzdálenost do konce bloku

`AC_DTEB`

- Hodnoty servomechanismů

`AA_LOAD[X]`

`AA_TORQUE[SP1]`

- Změřené hodnoty

- Rychlosti a stavové informace pohyblivých os

#### 5.2.4 Synchronní akce

Při splnění předchozích podmínek následuje vykonání vlastní akce. Na následujících příkladech je presentována široká škála možností větvení a úprav chodu programu, které jsou mnohem rozmanitější, než v případě podmíněného větvení [30]:

- pomocné funkce jsou výstupem do PLC

`DO M120`

- programové skoky

`GOTOF`

- ovlivnění rychlosti posuvu

`$AC_OVR=30`

- zrušit předběh

`STOPREOF`

- set/reset blokování čtení

`RDISABLE`

- přerušení bloku vyhledáním konce

`DELDTG`

- polohování os a vřeten

`POS[X]=200 FA[X]=2000`

- počáteční představení

- digitální nebo analogové CNC výstupy

- realizace technologických cyklů

**Příkazy pro řízení synchronních akcí**

Synchronní akce nemusí platit na celou oblast NC programu. Pomocí příkazů (viz tab. 5.3) můžeme v průběhu programu tuto akci úplně zrušit nebo ji částečně pozastavit. Vzhledem k tomu, že aktivní SA berou část paměti a výkonu systému, čímž se prodlužuje čas potřebný pro zpracování programu, je dobré těchto možností pozastavení využívat [30].

Tab. 5.3 Řízení synchronních akcí [30].

<b>Klíčové slovo</b>	<b>Význam</b>
CANCEL(<n>)	Zrušení synchronní akce
LOCK(<n>)	Blokování synchronní akce
UNLOCK(<n>)	Odblokování synchronní

## 6 PRAKTICKÉ PŘÍKLADY

K ověření synchronního programování v praxi bylo vytvořeno několik krátkých názorných příkladů. Některé z nich byly realizované na strojích Ústavu strojírenské technologie nebo pomocí tréninkového softwaru SinuTrain. Z mnoha důvodů nebylo možné realizovat všechny možné aplikace, a proto je zde zmíněn pouze jejich návrh. Tyto příklady jsou zaměřeny převážně na korekce řezných podmínek (posuv, otáčky), diagnostiku výkonových charakteristik při obrábění a ochranu stroje při obrábění.

### 6.1 Provedení korekce řezných podmínek na základě polohy nástroje

První příklad je ověřením funkčnosti provádění synchronních akcí, v závislosti na poloze nástroje vzhledem k souřadnému systému obrobku. V tomto experimentu jsem navrhl, že při najetí do materiálu a vyjetí z materiálu budou sníženy hodnoty otáček vřetena, tedy nástroje a posuv  $f$  v ose  $x$ . Pro ověření a reálný důkaz správné korekce parametrů byl souběžně s tím spuštěn diagnostický TRACE, který snímal reálné hodnoty otáček vřetena, polohy na ose  $x$  a posuv na ose  $x$ .

Tab. 6.1 Parametry experimentu.

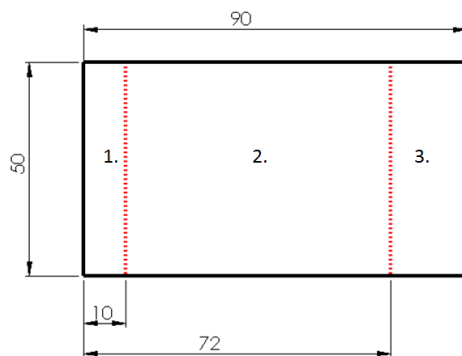
Parametry experimentu	
Stroj	Tajmac ZPS - MVC 1210
nástroj	stopková fréza HSS $\phi 12$
obráběný materiál	slitina hliníku
řezné podmínky	$v_c = 35$ m/min
	$f_z = 0,1$ mm

#### NC program

```
; *** synch actions ***
ID=1 WHENEVER $AA_IW[X]<10 DO $AC_OVR=50
ID=2 WHENEVER $AA_IW[X]>72 DO $AC_OVR=50
ID=3 WHENEVER $AA_IW[X]<10 DO $AA_OVR[SP1]=80
ID=4 WHENEVER $AA_IW[X]>72 DO $AA_OVR[SP1]=80
```

```
; *** NC program ***
```

```
g90 g54 g17
T="FREZA_12"
m6
s928 m3
g1 x-10 y-5 z20 F1000
Z-5 f371
g1 x100
x-10
m30
```

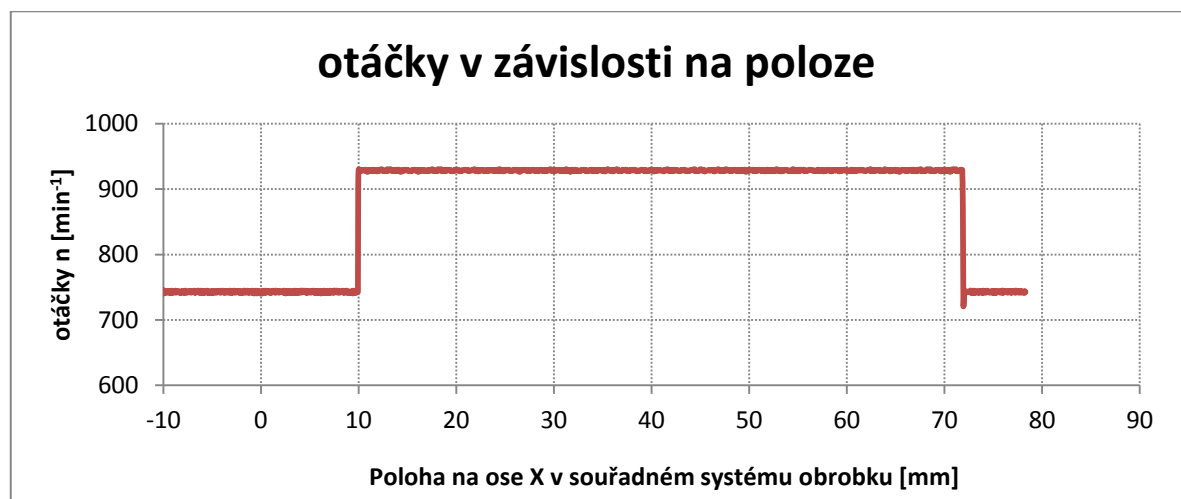
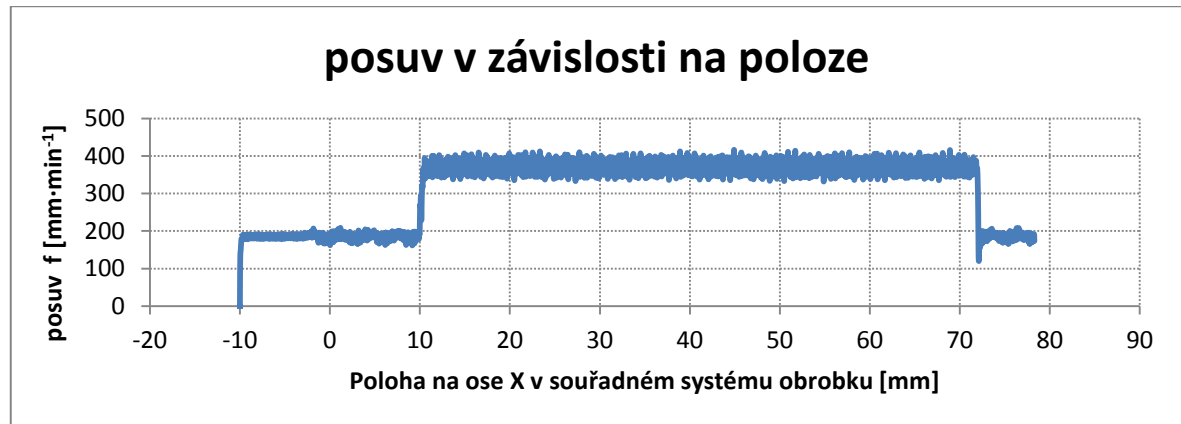


Oblast 1,3 - korekce posuvu(50%) a otáček(80%)  
Oblast 2 - posuv 100% otáčky 100%

Obr. 6.1 Korekce posuvu a otáček v závislosti na poloze.

## Vyhodnocení

Hodnoty, které byly vyhodnoceny a následně převedeny do grafů dokazují správnost sepnutí synchronních akcí.



## Návrh praktického použití v praxi

Při obrábění odlitků, především z pískových forem, je možno využít podobné funkce ke zpomalení vnikání a výjezdu nástroje z řezu, čímž je sníženo namáhání nástroje. V řezu je možno naopak rychlost navýšit, čímž výsledný čas zůstane přibližně zachován, avšak sníží se riziko poškození nástroje, stroje a zvýší se životnost. Celkový finanční efekt je pro kusovou výrobu malý, při aplikování na velkou komplikovanou součást, popřípadě sériovou výrobu již může být přínos značný.

## 6.2 Zázpis hodnot do souboru

Další praktický příklad je abychom nemuseli ručně spouštět TRACE, a pak složitě dostávali hodnoty do grafu. Tento příklad spočívá v tom, že pomocí synchronních funkcí reálné proměnné načtíme do pomocných proměnných (\$AC\_PARAM) a pomocí příkazu WRITE zapíšeme do vlastního samostatného souboru. Tyto hodnoty můžeme vyhodnotit pomocí software, například Excel.

### 6.2.1 NC program

```
DEF INT CHYBA
$AC_MARKER[1]=0
GO X0
WHENEVER $AA_IW[X]>10 DO $AC_MARKER[1]=$AC_MARKER[1]+1
WHENEVER $AC_MARKER[1]<=50 DO $AC_PARAM[1]=$AA_IM[X]
MSG ("MERENI BEZI")
G1 F1000 X200
F500 X0
$AC_MARKER[1]=0
BROUSENI:
MSG ("ZAPIS BEZI POLOHA:"<<$AC_MARKER[1])
IF $AC_MARKER[1]>=50 GOTOF KONEC
$AC_MARKER[1]=$AC_MARKER[1]+1
WRITE (CHYBA,"MANI","X"<<$AC_MARKER[1]<<"ABC"<<$AC_PARAM[1])
IF CHYBA
MSG ("chyba pri vypisu hodnot:"<<CHYBA)
M0
ENDIF
GOTOB BROUSENI
KONEC:
STOPRE
ENDIF
M30
```

### 6.3 Výkonové charakteristiky pohonů a vřetene

Na základě poznatků z minulého příkladu výpis systémové proměnné pomocí příkazu WRITE byly použity k dalšímu experimentálnímu příkladu. V tomto experimentu bylo cílem zjistit, zda výkonové parametry pohonů, dokážou alespoň z části nahradit přímé měření zatížení a řezných sil pomocí dynamometru. Toto přímé stanovení řezných sil je časově náročné a také je k tomu potřeba speciální aparatura - dynamometr, zesilovač, PC aj. Problematiku přímého měření zpracoval diplomant Mikel [35].

Již od počátku bylo jasné, že tyto hodnoty nemohou být totožné, protože mezi motorem pohonu a nástrojem je mnoho členů, ve kterých se energie ztrácí/tlumí. Hlavním rozdílem je tedy umístění měřícího zařízení. Dynamometr je umístěn u nástroje, zatímco motory, ze kterých je snímán krouticí moment, jsou umístěny na počátku kinematického řetězce posuvu osy. Hodnoty snímávané z pohonu jsou tedy ovlivněny, dynamikou kuličkového šroubu a posuvných hmot, pasivními odpory a tlumením vedení, ale také silovou elektronikou servopohonu a vlastním způsobem řízení a snímání. Úkolem tedy bylo zjistit, zda při porovnání hodnot z vytížení motoru a zatížení na dynamometru je možné pozorovat určitý podobný trend. V případě že ano, pak zkusit zjistit, zda je možné aplikovat určitý přepočet.



Obr. 6.2 Aparatura s dynamometrem [35].

Pro tento experiment byl speciálně vybrán tupý nástroj - stopková fréza průměru 20, za účelem navýšení řezných sil.

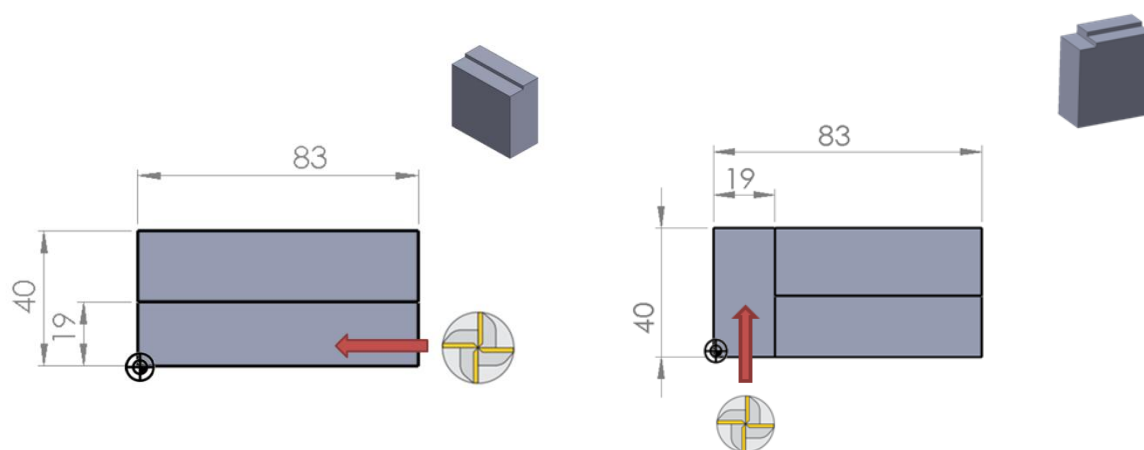
Tab. 6.2 Parametry nástroje

Parametry nástroje	
Nástroj	stopková fréza
Průměr nástroje	20mm
Počet zubů	4
Řezný materiál	HSS



Tab. 6.3 Podmínky experimentu

Podmínky experimentu	
stroj	Tajmac ZPS - MVC 1210
nástroj	stopková fréza HSS $\phi 20$
obráběný materiál	slitina hliníku
rozměry obrobku	83x40x83
řezné podmínky	$v_c = 35 \text{ m/min}$ $f_z = 0,1 \text{ mm}$ $a_{p1} = 2$ $a_{p2} = 4$ $a_e = 19$



a) frézování podél osy X (krok 1)

b) frézování podél osy Y (krok 2)

Obr. 6.3 Provedení pokusu snímání výkonových hodnot pohonů



Obr. 6.4 Ukázka experimentu měření vytížení motorů

### Popis experimentu

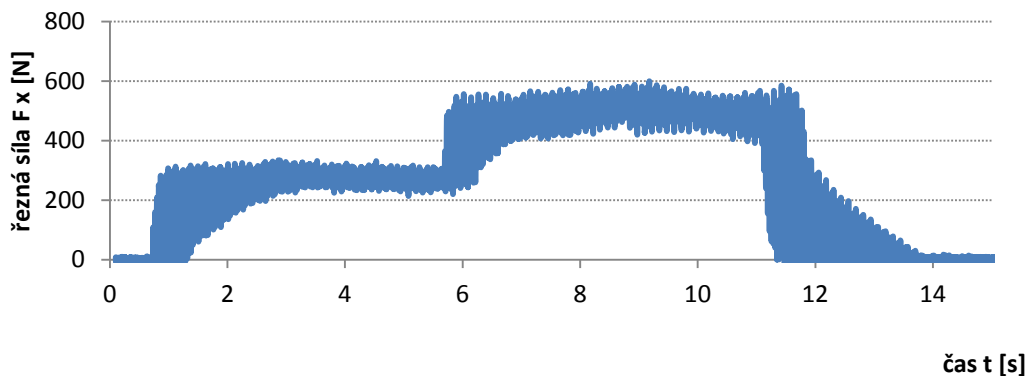
Experiment byl plánován ve dvou krocích. Nejprve frézování ve směru X, který byl zvolen jako příprava schodu pro rozdílné hloubky záběru  $a_p$ . Při této aplikaci bylo vyzkoušeno více proměnných pro zatížení os x, y a vřetene:

- \$AA\_LOAD[X]
- \$AA\_LOAD[Y]
- \$AA\_TORQUE[SP1]

Druhým krokem bylo frézování podél osy y, kde již z předešlého experimentu byl vytvořen schodek pro skokovou změnu hloubky záběru  $a_p$ . Šířka záběru zůstala stejná tedy 19 mm.

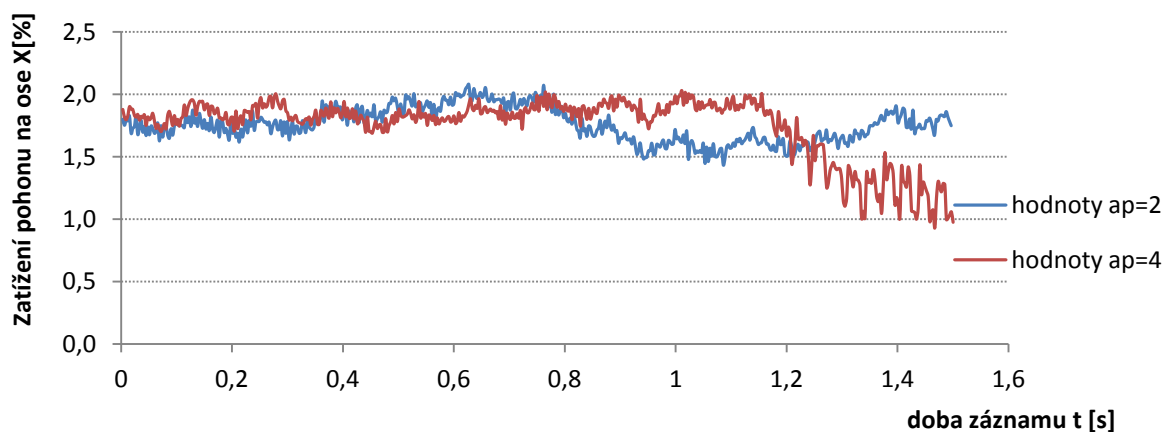
Pomocí záznamu přes příkaz WRITE byly proměnné vytížení zaznamenány s předpokladem, že bude vidět určitá skoková změna.

### Měření řezné síly pomocí dynamometru



Protože v rámci pokusu přes příkaz nebylo možné zaznamenat celou dobu obrábění s tím, že pro každé  $a_p$  bylo uloženo 500 hodnot. Při IPO taktu 0,003s to znamenalo 1,5s.

### Záznam hodnot pomocí WRITE



### Výsledek experimentu

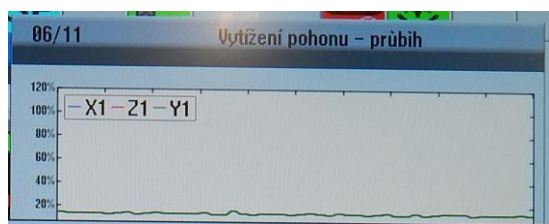
Jak bylo očekáváno, hodnoty z dynamometru potvrdili prakticky skokovou změnu zatížení. To se však nepotvrdilo ani po několika pokusech pomocí záznamu WRITE. Z grafu je vidět, že hodnoty pro  $a_{p2}$  téměř kopírují hodnoty  $a_{p1}$ . Záznamu tedy nelze přikládat velkou váhu a nelze z něj vyvodit jasné závěry.

Zde je prezentováno pár návrhů chyb, k jakým v průběhu experimentu mohlo dojít a proč nebylo potvrzeno tvrzení i ze záznamu proměnných:

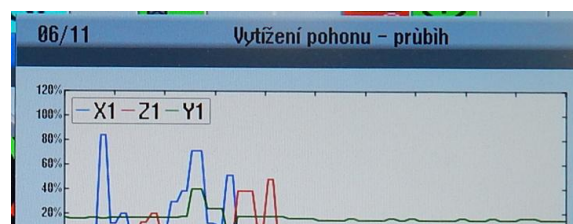
- špatný postup při sestavení NC programu,
- ŘS systém nedokázal v relativně krátkém časovém intervalu správně proměnné zpracovat,
- špatné vyhodnocení naměřených hodnot,
- moc malé zatížení pro viditelné navýšení zatížená pohonu

### Poznatky z vytížení pohonů:

Při další analýze chování pohonu byly sledovány pohony na stroji DMG DMC 100h s ŘS SINUMERIK 840D sl. Stroj DMG umožňuje v rámci softwarové opce přímo na ovládacím panelu vidět průběh takového zatížení, bez toho aniž bychom ho museli snímat. Jak je vidět ze záznamu na obrázku 6.5 při přesunu pohybových os rychloposuvem jsou jednotlivé pohony zatíženy mnohem více než při frézování pracovním posuvem. Pohony snesou nárazově několika násobně vyšší zatížení než při kontinuálním zatížení. To je dáno stavbou těchto pohonů a jejich momentovými charakteristikami. Tento fakt dokazuje, že je důležité se v problematice dobře orientovat a vhodně volit při použití adaptivním řízení.



a) frézování v ose Y pracovním posuvem



b) pohony při rychloposuvu

Obr.6.5 Analýza zatížení posuvů

## 6.4 Adaptivní regulace

Adaptivní regulace je asi nejnázornější a podle mého názoru nejdůležitější ukázka synchronního programování. Pod tímto pojmem se rozumí korekce pohybu os a vřeten na základě reálných hodnot zatížení.

### Multiplikativní regulace definovaná polynomem

Na základě definování polynomu až 3. řádu řídicí systém v reálném čase upravuje parametry override. V našem případě se jedná o nadefinování přímkové závislosti podle [30].

#### definice polynomu

Funkce FCTDEF slouží k definici polynomu 3. stupně v implicitní formě tedy.

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 \quad (1.1.)$$

#### Syntaxe:

FCTDEF (č. polynomu, LLIMIT, ULIMIT, a0,a1,a2,a3)

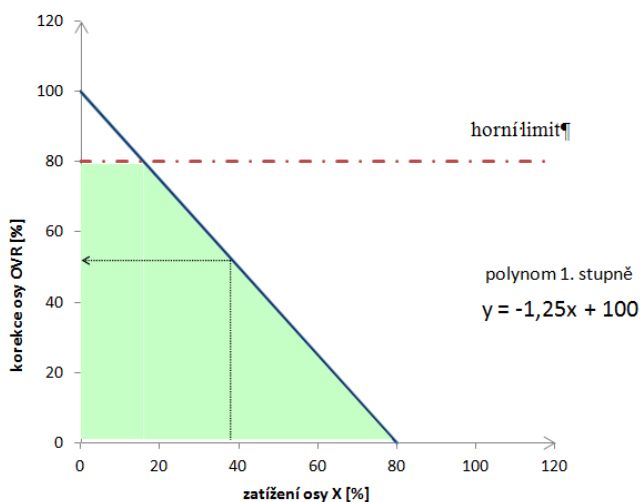
#### Význam:

č. polynomu	číslo polynomu
LLIMIT	dolní mez pro hodnotu funkce
ULIMIT	horní mez pro hodnotu funkce
a0, a1, a2, a3	koeficienty polynomu

#### synchronní akce

Samostatná SA je pak definovaná pomocí čísla polynomu a proměnných na osách.

ID=1 DO SYNFACT (1,\$AC\_OVR,\$AA\_LOAD[X])



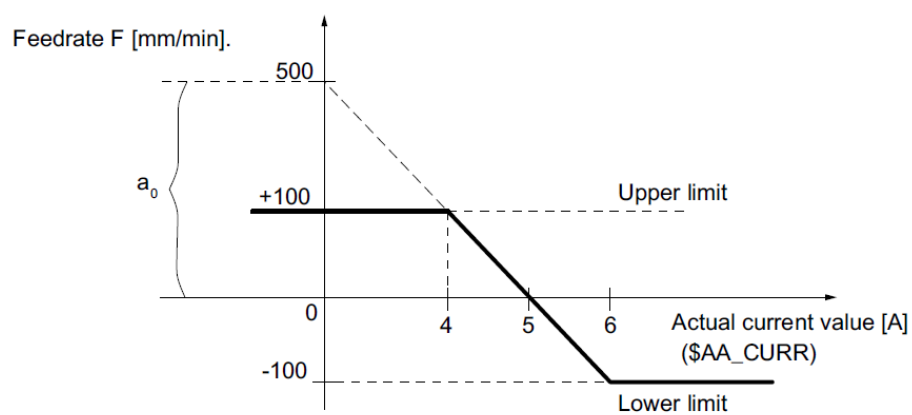
Obr.6.6 regulace posuvu polynomem 1. řádu

Tento příklad byl simulován pouze v tréninkovém programu SinuTrain. Pro funkčnost tohoto příkladu řízení polynomem byla zavedena systémová proměnná pro hodnotu otáček vřetene a na základě těchto hodnot byla provedena korekce posuvů.

### NC kód

```
DEF INT CHYBA
FCTDEF(1,0,100,100,-0.5,0,0)
$AC_MARKER[1]=0
ID=1 DO SYNFACT (1,$AC_OVR,$AC_VACTW)
;   *** NC program ***
g90 g54 g17
T="CUTTER 10"
m6
s1000 m3
g1 x200 F100
x0 F80
m30
```

Další podobnou aplikací může být regulace posuvu v závislosti na zatížení pohybových os měřeného na základě skutečné hodnoty proudu tekoucího pohonem. Velikost proudu je totiž ekvivalentní krouticímu momentu na pohonu, tedy zatížení.



Obr. 7.7 Korekce posuvu v závislosti na aktuálním průtoku proudu do motoru pohonu[30].

## 6.5 Snímání časového údaje

Aplikace, která využívá uživatelsky předdefinovanou proměnnou pro snímání času \$AC\_TIMER. Využití této uživatelské proměnné je ukázáno na příkladu, kde v závislosti na poloze osy x v souřadném systému obrobku se spustí proměnná. Po 30 sekundách kdy je se plněna druhá modální SA je provedena korekce posuvu na 80 %.

### NC program

```
ID=1 WHEN $AA_IW[X]>0 DO $AC_TIMER[1]=0
ID=2 WHENEVER $AC_TIMER[1]>30 DO $AC_OVR=80 ;
g90 g54 g17
T="CUTTER 10"
m6
s2000 m3
g1 f1000 x500
MSG ("HODNOTA:"<<$AC_TIMER[1])
x0
m30
```

### Návrh využití

Snímání časové proměnné může být využitelné například ke snímání času obrábění. Dále může sloužit například jako stanovená určitá prodlevy programu nebo spuštění určité funkce v požadovaném sledu.

## 6.6 Přerušování nebo zastavení zpracování programu

Na základě určité podmínky může dojít k pozastavení zpracování programu. Tato akce funguje přes příkaz RDISABLE. U tohoto příkladu je zmíněna pouze synchronní akce. proměnná \$A\_INA[2] vyjadřuje hodnotu analogové proměnné snímanou pomocí PLC. Může se například jednat o hodnotu napětí, kdy 1000 hodnot může odpovídat hodnotě 1V[30].

```
; *** synch actions ***
```

```
WHEN $A_INA[2]<7000 DO RDIABLE
```

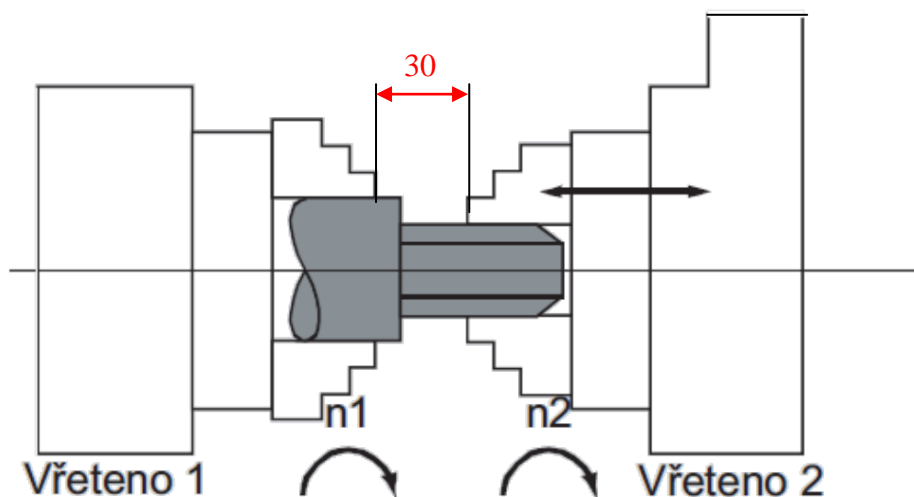
### 6.7 Bezpečná vzdálenost mezi 2 vřeteny

Na základě informací o poloze snímaných snímači z jednotlivých os je poměrně jednoduché spojit určité osy vazbou a tím tak zajistit, aby nemohlo dojít například ke kolizi. Praktickým příkladem může být dvouvřetenový soustruh a bezpečná vzdálenost mezi vřeteny [30].

#### NC program

```
ID=1 WHENEVER $AA_IM[X2] - $AA_IM[X1] < 30 DO $AA_OVR[X2]=0 ; safety barrier
```

```
ID=2 EVERY $AA_IM[X2] - $AA_IM[X1] < 15 DO POS[X1]=0 ; safe position
```



Obr. 6.9 Bezpečná vzdálenost mezi vřeteny [30].

### 6.8 Spuštění synchronní akce na základě hodnot vstupů a výstupů PLC

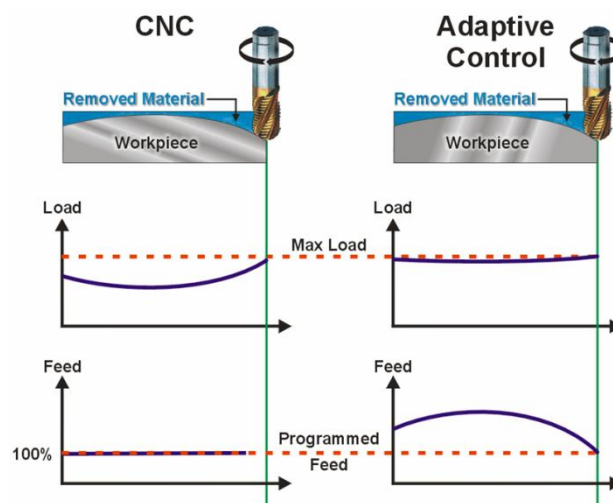
Programování PLC je však samostatnou kapitolou patřící spíše do automatizace. PLC jako programovatelný logický počítač dokáže pracovat jak s digitálními tak analogovými vstupními a výstupními signály. Také na základě těchto hodnot mohou být řízeny SA. Jedná se především o externí snímače všech typů – poloha, pozice, vzdálenost, teplota, poloha spínače (TRUE/FALSE) a mnoho dalších [30].

## 7 INTEGROVANÉ SYSTÉMY

Dosáhnout úrovně pokročilého programování může být v praxi velmi složité a také velmi časově náročné. Mnohdy na ně není čas, respektive není to pro konkrétní aplikaci ekonomicky rentabilní. Na těchto prezentovaných základech SA je však možné přímo integrovat do ŘS speciální opce, které mohou jednotlivé aplikace řešit za nás. Jejich hlavními nevýhodami jsou však další náklady na jejich pořízení, navíc nedokážou řešit komplexní adaptivitu stroje, ale pouze jednotlivé aplikace. Pro představu je vybrán jeden příklad [35].

### OMATIVE Systems

Společnost OMATIVE systems, jako partner SIEMENS nabízí řešení v oblasti adaptivního řízení posuvu jako funkci Adaptive control monitor (ACM) a také kontrolu vibrací nástroje Vibration Control Monitor (VCM) [34].



Obr. 7.1 Speciální rozšíření[34].

### Adaptive control monitor (ACM)

Podobně jako SA je založen na snímání reálných proměnných a následně podle toho upravuje hodnoty posuvu. Tento systém dokáže detekovat kritické podmínky, kdy by mohlo dojít k poškození nástroje, upínek a dalších částí stroje [34].

### Vibration Control Monitor (VCM)

Tento systém dokáže detekovat vibrace, a zabraňuje tak potížím, které by mohli zapříčinit výpadek stroje z provozu [34].



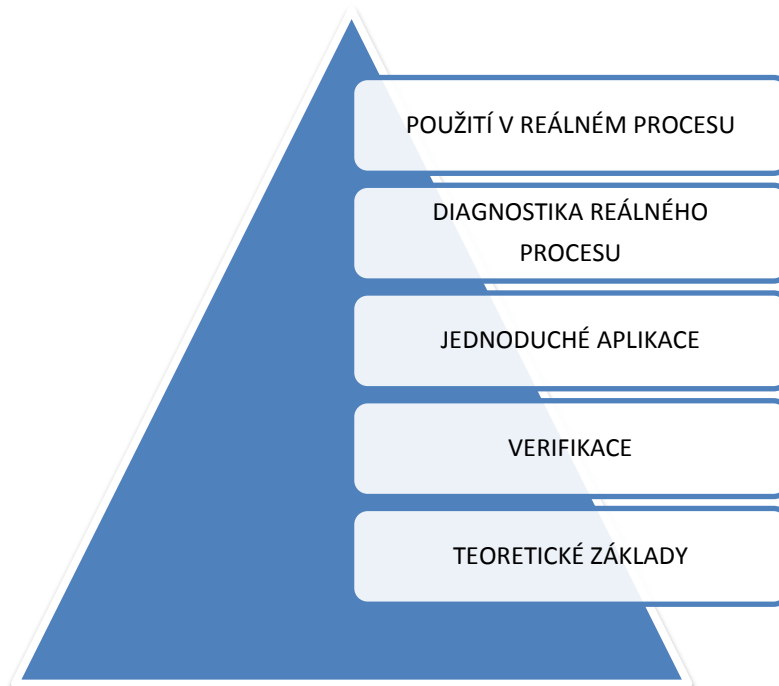
## 8 DISKUZE

Problematika synchronních akcí bezesporu nepatří k základům CNC programování. S ohledem na okolnosti, že dochází k zásahu a ke změně systémových parametrů, je bezpodmínečně nutné této problematice dostatečně porozumět a pokud možno ji řešit se specialisty z oblastí konstrukce stroje, pohonů, automatizace, hardwarové a softwarové podpory ŘS.

Prvotním cílem této práce bylo vytvořit jednotlivé aplikace, které mohou být použitelné v praxi nebo porovnat přínos SA oproti konvenční metodě programování.

S ohledem na složitost a širokost tohoto problému byly tyto cíle přehodnoceny a spíše byl kladen důraz na vysvětlení problematiky a potencionální možnosti využití v praxi.

Ke správnému efektivnímu použití SA v reálném procesu je nutno mít široké teoretické znalosti, aby bylo možné vůbec navrhnout nějaké řešení. Toto řešení je pak nutno sestavit a verifikovat, popřípadě aplikovat na jednoduchém příkladu pro ověření funkčnosti na konkrétním stroji. Provedením diagnostiky a zavedením korekcí použitých parametrů SA je teprve připraven konkrétní kód, pro konkrétní stroj a aplikaci.



### 8.1 Návrhy pokračování řešení

Problematika SA je bezesporu velmi zajímavá, také SW opce jako OMATIVE SYSTEMS dokazují, že jedním z trendů moderních CNC strojů je snaha o pokročilé adaptivní řízení (umělou inteligenci). Zajímavé by bylo pokračovat dále a pokusit se vytvořit další konkrétní aplikace včetně porovnání výsledku, především efektivity, s běžným způsobem programování.

## ZÁVĚR

V této práci je rozebrána problematika pokročilého programování, konkrétně programových skoků a synchronních funkcí jako možností nadstavby programovacího jazyka systému Sinumerik.

V úvodu jsou rozebrány základní typy řídicích systémů a programování CNC. Dále jsou v práci ukázány některé pokročilé možnosti programování, jako jsou programové skoky, parametrické programování a synchronní akce, které mohou NC program a celý proces obrábění povýšit z mnoha hledisek:

- optimalizace procesu,
- zkrácení strojních časů,
- zvýšení přesnosti,
- bezpečnosti a dalších.

Na základě nastudovaných materiálů byly dále vytvořeny praktické ukázky NC programů se synchronními akcemi. Některé z nich byly odzkoušeny na reálném stroji, jiné v závislosti na různých faktorech odladěny nebyly. Na simulátoru nelze odladit většinu SA využívajících reálné hodnoty stroje (snímání výkonu pohonů apod.) a je proto nutné veškeré úpravy a ladění provádět přímo na konkrétním stroji.

V průběhu zpracování práce jsem našel několik objektivních překážek, které dle mého názoru znesnadňují zavedení SA do praxe. Jedná se převážně o vysoké nároky na znalosti programátora a nutný čas na diagnostiku a odladění NC kódu přímo na daném stroji. Z toho plyne ekonomická nevýhodnost pro kusové a malosériové výroby jednodušších výrobků. V takových případech doporučuji využít speciálních opcí jako Omative Systems. Naopak pro sériovou výrobu, výrobu komplikovaných součástí a forem vykazuje používání SA velký potenciál.

I přesto, že práce neobsahuje konkrétní data v podobě úspory času a peněz, mohou tyto materiály sloužit k prohloubení znalostí problematiky programování CNC strojů a také jako ukázka jedné z možností zdokonalování procesu obrábění.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

- [1] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014, 684 s. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [2] ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 80-7300-207-8.
- [3] Řídicí systémy SINUMERIK [online]. [vid. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=3c76394997&ctxp=home>
- [4] Motion World: 50 Years of Experience and Innovation [online]. [vid. 2015-04-04]. Dostupné z: [https://www.industry.siemens.com/topics/global/en/magazines/special-editions/Documents/motionworld\\_50%20Jahre\\_SINUMERIK-en.pdf](https://www.industry.siemens.com/topics/global/en/magazines/special-editions/Documents/motionworld_50%20Jahre_SINUMERIK-en.pdf)
- [5] KRÁTKÝ, Lukáš. Řídicí systém Sinumerik 808D [online]. [vid. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.numco.cz/informace/8-ridici-system-sinumerik-808d/?return=/informace/>
- [6] Řídicí systémy SINUMERIK 808: [online]. [vid. 2015-05-03]. Dostupné také z: <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=ade03435f6&ctxp=home>
- [7] CNC controls: SINUMERIK 828D BASIC T/BASIC M [online]. [vid. 2015-05-04]. Dostupné také z: <http://siemens71.ru/new/?fn=10078797>
- [8] Řídicí systémy SINUMERIK 808 [online]. [vid. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=ade03435f6&ctxp=home>
- [9] Sinumerik 840D sl: Brochure [online]. [vid. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.industry.usa.siemens.com/drives/us/en/cnc/systems-and-products/Documents/Brochure-SINUMERIK-840D-sl.pdf>
- [10] SIEMENS.COM. DOConWEB [online]. 2010 [vid. 2015-05-28]. Dostupné z: <https://www.automation.siemens.com/doconweb/>
- [11] Řídicí systémy pro každou technologii [online]. In: . MM Spektrum, 2002 [vid. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/ridici-systemy-pro-kazdou-technologie.html>
- [12] Difference between PowerLine a SolutionLine: Forum [online]. [vid. 2015-05-25]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/tf/ww/en/posts/what-is-the-difference-between-power-line-products-solution-products-in-sinumerik/74799/?page=0&pageSize=10>
- [13] SINUMERIK 840D: product cancellation [online]. [vid. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://w3.siemens.com/mcms/mc-systems/en/automation-systems/cnc-sinumerik/sinumerik-controls/sinumerik-840/sinumerik-840d/pages/sinumerik-840d.aspx>

- [14] SINUMERIK Solution Line [online]. [vid. 2015-05-10]. Dostupné také z: [http://siemens.h4h.pl/\\_13%20A13%20SINUMERIK%20solution%20line.pdf](http://siemens.h4h.pl/_13%20A13%20SINUMERIK%20solution%20line.pdf)
- [15] FANUC: About FANUC [online]. [vid. 2015-04-05]. Dostupné z: <http://www.fanuc.co.jp/eindex.htm>
- [16] FANUC. Flexible CNC systems and solutions [online]. [vid. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/uk/en/cnc>
- [17] Fanuc CNC Europe: přednáška ČVUT [online]. 2010 [vid. 2015-05-25]. Dostupné z: [web.rcmt.cvut.cz/users/cerny/NCR\\_dopl/FANUC\\_CVUT\\_2010\\_04.pdf](http://web.rcmt.cvut.cz/users/cerny/NCR_dopl/FANUC_CVUT_2010_04.pdf)
- [18] CNC Controls: Product overview [online]. [vid. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/~media/files/products/cnc/cnc%20controls%20product%20overview.pdf>
- [19] HEIDENHAIN. [online]. 2015 [vid. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.heidenhain.cz/>
- [20] CNC řízení: TNC 640 [online]. [vid. 2015-05-03]. Dostupné z: [http://www.heidenhain.cz/cs\\_CZ/produkty-a-pouziti/cnc-řízení/tnc-640/](http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty-a-pouziti/cnc-řízení/tnc-640/)
- [21] CNC & automatizace [online]. [vid. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/>
- [22] MACH: Software & Downloads [online]. [vid. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.machsupport.com/software/mach3/>
- [23] Sysel CNC: Mach3 CNC Controller [online]. [vid. 2015-04-05]. Dostupné z: <http://cnc.usysla.eu/index.php?go=mach3>
- [24] KIEF, Hans B., Helmut A. ROCHI WAL a Karsten SCHWARZ. CNC-Handbuch: 2015/2016. München: Carl Hanser Fachbuchverlag, 2015 [vid. 2015-03-26]. ISBN 978-3-446-44356-3.
- [25] SIEMENS. SINUMERIK CNC4you [online]. 2015 [vid. 2015-05-03]. Dostupné z: [www.cnc4you.com](http://www.cnc4you.com)
- [26] SIEMENS. SinuTrain for SINUMERIK Operate v4.5 ED.2.[software].[vid.2015-04-15].Dostupné z: [http://www.industry.siemens.com/topics/global/en/cnc4you/cnc\\_downloads/sinustrain\\_downloads/Pages/download-trial-version-sinustrain-for-sinumerik-operate-v45-ed-2.aspx](http://www.industry.siemens.com/topics/global/en/cnc4you/cnc_downloads/sinustrain_downloads/Pages/download-trial-version-sinustrain-for-sinumerik-operate-v45-ed-2.aspx)
- [27] Manufacturing ENGINEERING [online]. [vid. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.sme.org/MEMagazine/Article.aspx?id=71137>
- [28] Sinumerik 840D sl/828D Základy: Programovací příručka [online]. [vid. 2015-03-26]. Dostupné z: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/554/74475554/att\\_56803/v1/PGsl\\_0313\\_cz\\_cs-CZ.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/554/74475554/att_56803/v1/PGsl_0313_cz_cs-CZ.pdf)
- [29] SINUMERIK 840D sl / 828D Pro pokročilé: Programovací příručka [online]. [vid. 2015-03-26]. Dostupné z: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/038/70265038/att\\_80029/v1/PGAsl\\_0313\\_cz\\_cs-CZ.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/038/70265038/att_80029/v1/PGAsl_0313_cz_cs-CZ.pdf)

- [30] SINUMERIK 840D sl Synchronized actions: Function Manual [online]. Siemens AG [vid. 2015-03-26]. Dostupné z:  
[https://www.automation.siemens.com/doconweb/pdf/SINUMERIK\\_SINAMICS\\_03\\_2013\\_E/FBSYsl.pdf?p=1](https://www.automation.siemens.com/doconweb/pdf/SINUMERIK_SINAMICS_03_2013_E/FBSYsl.pdf?p=1)
- [31] Universal: Příručka pro obsluhu [online]. [vid. 2015-05-03]. Dostupné z:  
[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/659/74433659/att\\_101967/v1/BHUs1\\_0313\\_sk\\_sk-SK.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/659/74433659/att_101967/v1/BHUs1_0313_sk_sk-SK.pdf)
- [32] EMAG: Maschine VL 2 P [online]. [vid. 2015-05-03]. Dostupné z:  
<http://www.emag.com/de/novelty/vl-2p.html>
- [33] PÍŠKA, M. POLZER, A. Popis poloautomatického soustruhu SPN12 CNC s řídicím systémem 810 D. [online]. [vid. 2015-05-04]. Dostupné z:  
[http://cadcam.fme.vutbr.cz/sinutrain/SPN12CNC\\_Sinumerik810D.pdf](http://cadcam.fme.vutbr.cz/sinutrain/SPN12CNC_Sinumerik810D.pdf)
- [34] WRITE high-level language element [online]. [vid. 2015-05-11]. Dostupné také z:  
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/85090492?dti=0&lc=en-WW>
- [35] MIKEL, Pavel. Predikce sil a kvality opracování při frézování s vysokými posuvy. Brno2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 59 s. příloh 5. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Píška, Csc.
- [36] OMATIVE systems [online]. [vid. 2015-05-25]. Dostupné z  
<http://www.omotive.com/>
- [37] SINUMERIK Solution Partners [online]. [vid. 2015-05-25]. Dostupné z:  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Products/10035414?tree=CatalogTree>
- [38] MCV1210 FA: obrázek stroje [online]. [cit. 2015-04-06]. Dostupné z:  
<http://www.tajmac-zps.cz/cs/node/221>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CAD/CAM	[-]	Computer aided design /computer aided manufacturing
CAx	[-]	Computer aided technologies
CNC	[-]	computer numeric control
HMI	[-]	rozhraní mezi uživatelem a strojem Human-Machine Interface
HSS	[-]	High Speed Steel (rychlořezná ocel)
HW	[-]	Hardware
NC	[-]	Numerical Control
NCU	[-]	Numerical Control Unit
PCU	[-]	Programmable central unit (průmyslový počítač)
PLC	[-]	Programmable Logic Controller (Programovatelný logický automat)
PLM	[-]	Product Lifecycle Management (výrobní cyklus výrobku)
ŘS	[-]	řídící systém
SA	[-]	synchronní akce

Symbol	Jednotka	Popis
M	[Nm]	kroučící moment
P	[kW]	výkon
$a_e$	[mm]	šířka řezu
$a_p$	[mm]	hloubka řezu
$f_z$	[mm]	posuv na zub
n	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky
$v_c$	[m · min <sup>-1</sup> ]	řezná rychlost

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1      Specifikace stroje TAJMAC-ZPS MVC 1210  
Příloha 2      NC program čtení zatížení – nepřímá metoda stanovení řezných sil

## PŘÍLOHA 1 – NC KÓD MĚŘENÍ ZATÍŽENÍ POMOCÍ

```
DEF INT CHYBA
$AC_MARKER[1]=0
$AC_MARKER[2]=0
;   *** SYNC ACTIONS ***
ID=1 WHENEVER $AA_IW[Y]>20 DO $AC_MARKER[1]=$AC_MARKER[1]+1
ID=2 WHENEVER $AC_MARKER[1]<=499 DO $AC_PARAM[$AC_MARKER[1]]=$AA_LOAD[Y]
ID=3 WHENEVER $AA_IW[Y]>30 DO $AC_MARKER[2]=$AC_MARKER[2]+1
ID=4 WHENEVER $AC_MARKER[2]<=499 DO
$AC_PARAM[$AC_MARKER[2]+499]=$AA_LOAD[X]
;   *** NC PROGRAM ***
G90 G54 G17
T="CUTTER20"
M6
S478 M3 M8
G1 Z50 X9 Y-20 F1000
G1 F300 Z-10
G1 F230 Y60

;   *** VYPIS ***
CANCEL(1)
CANCEL(2)
CANCEL(3)
CANCEL(4)
$AC_MARKER[1]=0
$AC_MARKER[2]=0
VYPIS1:
IF $AC_MARKER[1]>=499 GOTOF KONEC1
$AC_MARKER[1]=$AC_MARKER[1]+1
WRITE (CHYBA,"HODN_WRITE_N5","N"<<$AC_MARKER[1] <<" PROUD="
<<$AC_PARAM[$AC_MARKER[1]])
IF CHYBA
MSG ("CHYBA INDIKATOR:"<<CHYBA)
M0
ENDIF
GOTOB VYPIS1
KONEC1:
VYPIS2:
```



```
IF $AC_MARKER[2]>=499 GOTOF KONEC2
$AC_MARKER[2]=$AC_MARKER[2]+1
WRITE (CHYBA,"HODN_WRITE_N5","N"<<$AC_MARKER[2] <<" HODN="
<<$AC_PARAM[$AC_MARKER[2]+499])
IF CHYBA
MSG ("CHYBA INDIKATOR:"<<CHYBA)
M0
ENDIF
GOTOB VYPIS2
KONEC2:
STOPRE
ENDIF
M5 M9
M30
```

## PŘÍLOHA 2



Obr. Stroj pro 5osé obrábění[01]

# MCV 1210 – technická data

## Parametry otočného stolu

- upínací plocha stolu	
- rozměr upínací plochy stolu	ø600 mm
- rozměry stolu	1 280x860x520 mm
- 8 T-drážek	14 H8
- vzdálenost mezi T-drážkami	62,5 mm
- hmotnost obrobku při rotaci osy A $\pm 15^\circ$	max. 700 kg
- hmotnost obrobku při rotaci osy větší než A $\pm 15^\circ$	max. 500 kg
- osa A	
- rozsah osy A	+30 – 90°
- rychlost otáčení osy A	max. 25 min <sup>-1</sup>
- výkon	max. 5,2 kW
- krouticí moment	max. 888 Nm
- osa C	
- rozsah osy C	360°
- rychlost otáčení osy C	max. 100 min <sup>-1</sup>
- výkon	max. 6,6 kW
- krouticí moment	max. 628/1000 Nm

## Posuv v osách X, Y, Z

- max. pracovní posuv	20 m/min
- rychloposuv	40 m/min
- maximální zrychlení os	5 m/s <sup>-2</sup>
- přesnost polohování	0,010 mm
- opakovaná přesnost	0,006 mm

## Vřetenová jednotka Weiss 176

- max. otáčky	18 000 min <sup>-1</sup>
- upínací kužel	HSK-A63
- výkon S1/S4-60%	30/32 kW
- krouticí moment S1/S4-60%	79,6/89,6 Nm

## Automatický zásobník nástrojů

- počet nástrojů v zásobníku	30
- čas výměny nástroje	3,5 s
- max. průměr nástroje	
- při obsazených sousedních místech v zásobníku	80 mm
- při neobsazených sousedních místech v zásobníku	115 mm
- max. délka nástroje	250 mm
- max. hmotnost nástroje včetně držáku	6,5 kg

## Pneumatický agregát

- tlak vzduchu na vstupu	0,6 – 0,8 MPa
- spotřeba vzduchu (přibližně)	6 m <sup>3</sup> /hod
- provozní tlak	0,55 MPa

### Požadavky na elektrickou energii

- přípojovací napětí	3x400V/50Hz
- provozní příkon	45 kVA
- proud při plném zatížení stroje	125 A

### Nádrž chladicí kapaliny

- čerpadlo vnějšího chlazení nástroje	50 l/min
- čerpadlo oplachu pracovního prostoru (volitelné vybavení)	100 l/min
- čerpadlo přečerpávání chladicí kapaliny do filtrační stanice (volitelné vybavení)	35 l/min
- čerpadlo chlazení nástroje osou vřetena (volitelné vybavení)	20 l/min

### Hmotnosti

- stroj (včetně zásobníku nástrojů)	11 500 kg
- dopravník třísek článkový včetně nádrže chladicí kapaliny s čerpadly	800 kg

### Doplňkové údaje

- půdorysná plocha stroje	
- bez dopravníku třísek a panelu ŘS	3 140x2 850 mm
- půdorysná plocha stroje při otevřených dveřích (včetně panelu řídicího systému)	4 500x3 600 mm
- šířka otvoru v krytech při otevřených dveřích	1 300 mm

### Výrobce

TAJMAC-ZPS, a.s.  
Třída 3. května 1180  
764 87 Zlín, Malenovice  
Česká republika  
[www.tajmac-zps.cz](http://www.tajmac-zps.cz)