

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

**Studijní program: N0715A270011 – Obrábění, aditivní  
technologie a zabezpečování kvality**

**Studijní specializace: Bez specializace**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Využití obrobkové sondy pro inprocesní měření na NC stroji**

**Autor: Bc. Lukáš SLAVÍČEK**

**Vedoucí práce: Ing. Jan Hnátík, Ph.D.**

**Akademický rok 2023/2024**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš SLAVÍČEK**  
Osobní číslo: **S22N0038P**  
Studijní program: **N0715A270011 Obrábění, aditivní technologie a zabezpečování kvality**  
Téma práce: **Využití obrobkové sondy pro inprocesní měření na NC stroji**  
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

## Zásady pro vypracování

- Úvod
- Definice cílů
- Rozbor současného stavu
- Návrh řešení
- Hodnocení zvoleného řešení
- Závěr

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

Seznam doporučené literatury:

- STANĚK, Jiří. Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005. ISBN 80-7043-363-9.
- Programovací příručka: Měřicí cykly Sinumerik 840D sl / 828D. Siemens, 08/2018.
- JANDEČKA, Karel. Postprocesory a programování NC strojů. Ústí nad Labem: Fakulta výrobních technologií a managementu UJEP, 2007. Knižnice strojírenské technologie. ISBN 978-80-7044-870-0.
- JANDEČKA, Karel, Pavel KOŽMÍN a Jiří ČESÁNEK. Programování NC strojů. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-692-4.
- ŠTULPA, Miloslav. CNC: Programování obráběcích strojů. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.

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

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

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2023**  
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2024**

L.S.

---

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

---

**Doc. Ing. Miroslav Zetek, 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**

Rád bych vyjádřil své upřímné díky všem, kteří mi pomohli při tvorbě této diplomové práce. Nejprve bych rád poděkoval vedoucímu mé práce, Ing. Janu Hnátíkovi, Ph.D., za jeho cenné rady, odborné vedení a podporu v celém průběhu. Dále děkuji za spolupráci kolektivu pracovníků ze společnosti Streicher, spol. s r.o. Plzeň, jmenovitě pak Ing. Zbyňku Vajnerovi a Ing. Janu Randovi za konzultaci nezbytných informací. Nemohu zapomenout ani na mou rodinu a přátele, kteří mi poskytovali nezbytnou morální podporu a pochopení během mého studia.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Slavíček	<b>Jméno</b> Lukáš	
<b>STUDIJNÍ PROGRAM</b>	N0715A270011 - Obrábění, aditivní technologie a zabezpečování kvality		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Ing. Hnátík, Ph.D.	<b>Jméno</b> Jan	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Využití obrobkové sondy pro inprocesní měření na NC stroji		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2024
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	71	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	51	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	20
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Diplomová práce je zaměřena na návrhy řešení pro inprocesní měření obrobkovou sondou na NC stroji pro společnost Streicher, spol. s r.o. Plzeň. Návrhy se týkají dvou odlišných součástí. Pro každou součást je provedena jedna realizace návrhu pro řídicí systém Sinumerik. NC programy jsou zhotoveny ručním programováním a jeden i s pomocí CAM softwaru.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	NC programování, CAM software, CNC stroje, Sinumerik, obrobková sonda, inprocesní měření

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Slavíček	<b>Name</b> Lukáš
<b>STUDY PROGRAMME</b>	N0715A270011 - Machining, Additive Technology and Quality Assurance	
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Ing. Hnátík, Ph.D.	<b>Name</b> Jan
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KTO	
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b> Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Using a workpiece probe for in-process measurement on an NC machine	

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KTO	<b>SUBMITTED IN</b>	2024
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

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

<b>TOTALLY</b>	71	<b>TEXT PART</b>	51	<b>GRAPHICAL PART</b>	20
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The diploma thesis is focused on the design of solutions for in-process measurement with a workpiece probe on an NC machine for Streicher, spol. s r.o. Plzeň. The proposals concern two different components. For each part one implementation of the design for the Sinumerik control system is made. NC programs are made by manual programming and one with the help of CAM software.
<b>KEY WORDS</b>	NC programming, CAM software, CNC machines, Sinumerik, workpiece probe, in-process measurement

## Obsah

1	Úvod.....	12
2	Definice cílů .....	13
3	Rozbor současného stavu .....	14
3.1	Používané CNC stroje .....	14
3.1.1	Soraluce SLP8000 .....	14
3.1.2	Soraluce FL12000 .....	15
3.1.3	Soraluce FS10000 .....	16
3.1.4	Univerzální hlava Soraluce .....	17
3.1.5	Řídicí systém Sinumerik .....	18
3.2	Obrobková sonda.....	19
3.2.1	Renishaw RMP60.....	19
3.3	CAM software .....	21
3.4	Postprocesor .....	22
3.4.1	Měřicí cyklus v postprocesoru .....	23
3.5	Proměnné a parametry.....	24
3.6	Měřicí cykly .....	26
3.6.1	Zjištění hrany CYCLE978 .....	28
3.7	Typová součást 1 .....	30
3.7.1	Polotovar .....	30
3.7.2	Současný stav součásti 1 .....	31
3.7.3	Závěr.....	33
3.8	Typová součást 2.....	33
3.8.1	Polotovar .....	34
3.8.2	Současný stav součásti 2 .....	35
3.8.3	Shrnutí .....	38
4	Návrh řešení .....	39
4.1	Typová součást 1 .....	39
4.1.1	Návrh řešení 1 .....	39
4.1.2	Návrh řešení 2 .....	47
4.2	Typová součást 2 .....	48
4.2.1	Návrh řešení 1 .....	48
4.2.2	Návrh řešení 2 .....	48
5	Hodnocení zvoleného řešení .....	60



5.1	Součást 1 .....	60
5.2	Součást 2 .....	60
6	Závěr.....	61
7	Seznam použitých zdrojů .....	63

## **Přehled použitých zkratk a symbolů**

PLC	Programovatelný logický automat
FHSS	Frekvenční spektrum přepínání frekvence
CNC	Počítačově číslicové řízení
NC	Číslicové řízení
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
CAM	Počítačová podpora obrábění
CAD	Počítačem podporované projektování
ŘS	Řídicí systém
DIN	Německá národní norma
ČSN	Česká technická norma

## Seznam obrázků

Obr. 1: Strojní divize společnosti Streicher, spol. s r.o. Plzeň [1] .....	12
Obr. 2: Soraluce SLP 8000.....	14
Obr. 3: Soraluce FL12000.....	15
Obr. 4: Soraluce FS10000 .....	16
Obr. 5: Univerzální hlava Soraluce [7] .....	17
Obr. 6: Sinumerik 840D sl a Sinamics S120 [8].....	18
Obr. 7: Sonda RMP60 [10] .....	19
Obr. 8: Funkce sondy RMP60 [6] .....	20
Obr. 9: Kinematický mechanismus obrobkové sondy [16].....	20
Obr. 10: Logo SolidCAMu.....	21
Obr. 11: Operace měřicí sondy – popis technologií) .....	22
Obr. 12: Operace měřicí sondy – popis technologií.....	22
Obr. 13: Postprocesor ve schématu pracovního postupu [17].....	22
Obr. 14: Tabulka R-parametrů v ŘS Sinumerik [18].....	24
Obr. 15: Sinutrain – struktura výběru varianty měření [20].....	26
Obr. 16: Sinutrain měření hrany.....	28
Obr. 17: Klenuté dno podle DIN 28011 [13] .....	30
Obr. 18: Polotovary klenutého dna .....	31
Obr. 19: Kótovaný prvek kruhové kapsy .....	32
Obr. 20: Vzorová součást s vyznačeným prvkem .....	32
Obr. 21: Parametr R19 v NC programu .....	33
Obr. 22: Hliníkový plech.....	34
Obr. 23: Polotovar hliníkového plechu .....	35
Obr. 24: Zvolená součást s nulovým bodem obrobku.....	35
Obr. 25: Kótovaný prvek tvarové drážky .....	36
Obr. 26: Měřicí cyklus 987 - Sinumerik .....	36
Obr. 27: Tabulka R parametrů křivosti plochy v NC programu .....	37
Obr. 28: Ukázka části parametrického podprogramu tvarové drážky.....	37
Obr. 29: Umístění posunutí nulových bodů na jedné roztečné kružnici na součásti 1 .....	40
Obr. 30: Pokus v CAM softwaru na jednoduché součásti.....	40
Obr. 31: Nulové body na dvou polovinách součásti 1 .....	42
Obr. 32: Simulace měřicího cyklu.....	43
Obr. 33: Alarm při simulaci NC programu pro součásti 1 .....	47

Obr. 34: Oranžové pevně zvolené body měření pro součásti 2.....	49
Obr. 35: Schéma měřených bodů pro velikost XY do 900 mm .....	52
Obr. 36: Schéma měřených bodů pro velikost X do 1800 mm a Y do 900 mm .....	53
Obr. 37: Schéma měřených bodů pro velikost XY do 1800 mm .....	53
Obr. 38: Schéma měřených bodů pro velikost X do 2700 mm a Y do 900 mm .....	54
Obr. 39: Schéma měřených bodů pro velikost X do 2700 mm a Y do 1800 mm .....	54
Obr. 40: Simulace měřicího cyklu se správnými zadanými hodnotami.....	58
Obr. 41: Simulace měřicího cyklu se špatně zadanými hodnotami .....	58
Obr. 42: Simulace podprogramu dráhy nástroje s výrazně odlišnou hodnotou R-parametrů ..	59

## Seznam tabulek

Tab. 1: Technické specifikace SLP8000 [2] .....	15
Tab. 2: Technické specifikace FL12000 [3].....	16
Tab. 3: Technické specifikace FS10000 [4].....	17
Tab. 4: Technické specifikace Univerzální hlavy Soraluce [7] .....	18
Tab. 5: Příklad přiřazení hodnoty a použití R-parametrů v matematických funkcích [18] .....	25
Tab. 6: Základní matematické funkce [19] .....	25
Tab. 7: Měřicí cykly [20] .....	27
Tab. 8: Výsledné parametry funkce "Zjištění hrany" [20].....	29
Tab. 9: Tolerance celkové výšky pro klenuté dno dle DIN 28011 [11].....	30
Tab. 10: Všeobecné tolerance přímosti a rovinnosti dle ČSN ISO 2768 [14] .....	34
Tab. 11: Počet a vzdálenosti měřených bodů na délku strany .....	49

## 1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá inprocesním měřením na NC strojích s využitím obrobkových sond. Jde o způsob zahrnutí měření a zpracování naměřených dat v rámci NC programu bez nutnosti zásahu obsluhy stroje. Tento způsob inprocesního měření, který může usnadnit výrobní proces, nevyužívá mnoho firem a je svým způsobem programově náročnější.

Téma bylo vytvořeno ve spolupráci se společností Streicher, spol. s r.o. Plzeň, která má zájem o komplexnější využití obrobkových sond na NC strojích. Ve společnosti Streicher zabývající se výrobou vakuových zařízení a zařízení do chemického, potravinářského a polovodičového průmyslu je výroba zakázková neboli kusová. Jednotlivé montážní díly, kterými jsou svařence, obvykle dosahují významných rozměrů, a to zhruba od jednoho metru až přes dvanáctimetrové délky. [1]



**Obr. 1: Strojní divize společnosti Streicher, spol. s r.o. Plzeň [1]**

Diplomová práce se zabývá dvěma vybranými typovými výrobky, konkrétně dvěma představiteli, které jsou určeny jako vzor a jejich rozbor, návrhy řešení a vyhodnocení lze aplikovat i na ostatní typové nebo také odlišné součásti s obdobnou problematikou.

## 2 Definice cílů

Cílem diplomové práce je vytvoření návrhů pro využití inprocesního měření obrobkovou sondou na NC stroji. Návrhy využití jsou vytvářeny pro dvě rozdílné typové součásti a měly by zohledňovat více variant. NC programy jsou pro řídicí systém Sinumerik s možností využití CAM systému. Předpoklad je zahrnutí měření přímo v NC programu a současně navržení procesu měření tak, aby bylo s co nejmenší nutností zásahu obsluhy stroje, které souvisí s omezením chyb vlivem lidského faktoru. Dalším předpokladem je snížení času na NC stroji při využívání obrobkové sondy nebo použití sondy při takových operacích, jejichž měření by redukovalo čas. Pokud je to vhodné tak je požadavkem zahrnutí kontroly naměřených nebo případně vstupních dat v NC programu.

### 3 Rozbor současného stavu

Pro navržení vhodných řešení je potřebný rozbor současného stavu, kterým se zabývá tato kapitola. Zde jsou popsány používané obráběcí CNC stroje, jejich vlastnosti a příslušenství včetně obrobkové sondy. Dále pak jednotlivě vybrané součásti z hlediska výchozího stavu polotovaru, potřebného měření a opracování, zpracování naměřených dat a nedostatků spojených se současným řešením.

#### 3.1 Používané CNC stroje

Pro zvolené typy součástí, které jsou popsány v kapitole 2.3 a 2.4, jsou ve firmě výhradně používané dva typy obráběcích CNC strojů. Jedná se o horizontální CNC frézky od společnosti Soraluce. Jejich parametry a možnosti jsou výhodné pro opracování zvolených součástí vzhledem k dostupným obráběcím strojům ve společnosti Streicher.

##### 3.1.1 Soraluce SLP8000

Obráběcí stroj Soraluce SLP8000 má pojízdný sloup a pevný pracovní stůl, na kterém je umístěn i otočný stůl. Tento velkokapacitní stroj nabízí velkou flexibilitu a vysoce přesné dokončovací práce. Základní technické parametry tohoto stroje jsou popsány v následující tabulce č.1. SLP8000 je vhodný pro aplikaci v několika odvětvích, jako jsou průmyslová vozidla, formy a zápustky a středně velké přesné strojírenství. [2]



Obr. 2: Soraluce SLP 8000

Tab. 1: Technické specifikace SLP8000 [2]

Technické specifikace SLP8000		
Technické specifikace	Hodnota	Jednotka
Podélný rozjezd osy „X“	6500	mm
Vertikální rozjezd osy „Y“	1800	mm
Příčný rozjezd osy „Z“	1300	mm
Výkon motoru	43	kW
Maximální otáčky vřetene	5000	min <sup>-1</sup>
Posuvová rychlost	35000	mm/min
Ostatní specifikace		
Řídicí systém	Sinumerik 840D sl	
Frézovací hlava	Univerzální hlava Soraluce	

### 3.1.2 Soraluce FL12000

Obráběcí stroj Soraluce FL12000 je víceúčelová frézovací vyvrtávačka podlahového typu, která má pojízdný sloup a pevný pracovní stůl. Tento stroj nabízí všestrannost a produktivitu práce. Je vhodný pro aplikaci v několika odvětvích, jako jsou průmyslová vozidla, formy a zápustky a středně velké strojírenství. Základní technické parametry tohoto stroje jsou popsány v následující tabulce č.2. [3]



Obr. 3: Soraluce FL12000



Tab. 2: Technické specifikace FL12000 [3]

Technické specifikace FL12000		
Technické specifikace	Hodnota	Jednotka
Podélný rozjezd osy „X“	12000	mm
Vertikální rozjezd osy „Y“	2200	mm
Příčný rozjezd osy „Z“	1300	mm
Výkon motoru	43	kW
Maximální otáčky vřetene	5000	min <sup>-1</sup>
Posuvová rychlost	35000	mm/min
Ostatní specifikace		
Řídicí systém	Sinumerik 840D sl	
Frézovací hlava	Univerzální hlava Soraluce	

### 3.1.3 Soraluce FS10000

Podlahová frézovací vyvrtávačka s označením FS10000 má pojízdný sloup, pevný pracovní stůl a pojízdný otočný stůl, který má vlastní prostor pro posunutí v mechanické ose W. Tento stroj disponuje z uvedených obráběcích strojů největšími pracovními prostory (viz. Tab.3) a největší flexibilitou právě díky pojízdnému otočnému stolu. Je vhodný pro složité a velké obrobky.



Obr. 4: Soraluce FS10000

Tab. 3: Technické specifikace FS10000 [4]

Technické specifikace FS10000		
Technické specifikace	Hodnota	Jednotka
Podélný rozjezd osy „X“	10000	mm
Vertikální rozjezd osy „Y“	4000	mm
Příčný rozjezd osy „Z“	1600	mm
Výkon motoru	43	kW
Maximální otáčky vřetene	5000	min <sup>-1</sup>
Posuvová rychlost	35000	mm/min
Ostatní specifikace		
Řídicí systém	Sinumerik ONE	
Frézovací hlava	Univerzální hlava Soraluce	

#### 3.1.4 Univerzální hlava Soraluce

Všechny tři obráběcí stroje používají Univerzální hlavu Soraluce, která se z konstrukčního hlediska skládá z vertikálního a diagonálního otočného kloubu. Tyto klouby jsou automaticky indexovány. Hlava umožňuje vnitřní i vnější chlazení nástroje a upínání strmého kužele ISO 50 se stahovací stopkou. Další technické parametry mohou být odlišné. V tabulce č.3 jsou popsány parametry Univerzálních hlav používaných ve společnosti Streicher Plzeň.



Obr. 5: Univerzální hlava Soraluce [7]

Tab. 4: Technické specifikace Univerzální hlavy Soraluce [7]

Technické specifikace Univerzální hlavy Soraluce			
Technické specifikace	Obráběcí stroj		
	SLP8000	FL12000	FS10000
Výkon	37 kW	37 kW	37 kW
Úhly natočení kloubů	0,001° x 0,001°	1° x 2,5°	0,001° x 0,001°
Otáčky	5000 min <sup>-1</sup>	5000 min <sup>-1</sup>	5000 min <sup>-1</sup>
Upínací kužel	ISO 50	ISO 50	ISO 50

### 3.1.5 Řídicí systém Sinumerik

Řídicí systémy CNC strojů řídí pohyby a ovládají funkce těchto strojů. Děje se tak na základě informací v rámci NC programu, které jsou řídicímu systému dodávány ve formě ISO kódu.

Řízení již zmíněných CNC strojů zabezpečují řídicí systémy Sinumerik 840D sl a Sinumerik ONE vyvinuté společností Siemens. Tyto systémy podporují vícekanálové řízení, vysokorychlostní obrábění a integraci jiných zařízení a systémů. PLC systémy spolu s pohonnými systémy od společnosti Siemens, které řídí elektrické pohony, jsou určeny pro náročné aplikace jako je řízení CNC obráběcích strojů. Systémy nabízí vysoký výkon, otevřenost a flexibilitu pro pokročilé obráběcí aplikace. Uživatelsky přívětivé dílenské programování řídicího systému umožňuje operátorům snadno programovat obráběcí operace přímo na CNC stroji. [8] [9]



Obr. 6: Sinumerik 840D sl a Sinamics S120 [8]

## 3.2 Obrobková sonda

Ruční nastavování, měření a kontrola obrobků za pomoci číselníkových úchylkoměrů je v současném průmyslu nahrazována obrobkovými sondami. Snímání moderními sondami je velmi rychlé, spolehlivé a případné nesrovnalosti při usazení velkých obrobků lze snadno kompenzovat.

Ke kontaktu dotykové obrobkové sondy s obrobkem dochází přes dotyk na sondě, který má nejčastěji tvar kuličky. Hlavními vlastnostmi dotyku jsou mechanická tuhost, tvrdost, chemická a rozměrová stálost a minimální tvarová úchylka. Při kontaktu s měřeným objektem se měřicí mechanismus spíná a generuje signál, který je následně odeslán do řídicího systému stroje.

Dle konstrukce sondy se rozlišuje princip vnitřního spínacího mechanismu na:

- a) Kinematický
- b) Tenzometrický
- c) Piezoelektrický
- d) Optický

Způsob přenosu dat sondy se rozlišuje na:

- a) Kabelem
- b) Optickým (infračerveným) signálem
- c) Rádiovým signálem

Řídicí systémy strojů mají standardně předem naprogramované měřicí cykly, které s použitím obrobkových sond dokážou velmi efektivně měřit, dopočítávat hodnoty tvarových prvků nebo určit nulové body obrobku. [5]

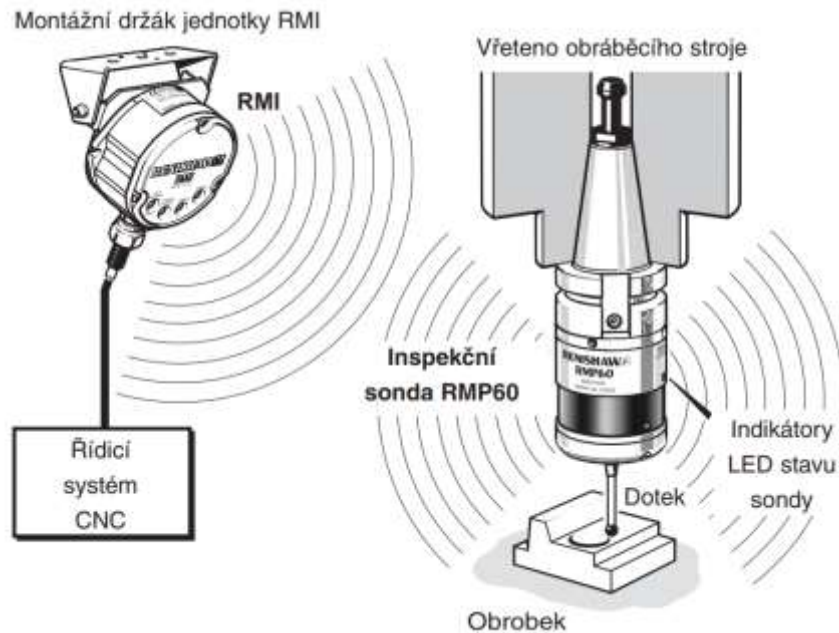
### 3.2.1 Renishaw RMP60

Ve společnosti Streicher Plzeň se na strojích Solaruce SLP8000, FL12000 a FS10000 používá sonda RMP60 od společnosti Renishaw. Podle výrobce je řazena mezi sondy se standardní přesností.



Obr. 7: Sonda RMP60 [10]

Tato sonda využívá pro přenos dat rádiové signály, které jsou vysílány do všech směrů v dosahu až 15 metrů. Frekvenční pásmo signálu 2,4 GHz splňuje radiokomunikační řády většiny států světa včetně států Evropské unie. Rádiové sondy společnosti Renishaw používají technologii frekvenčního spektra přepínáním frekvence (FHSS), která umožňuje přenos dat i s vysoce hustým rádiovým provozem. [6]



Obr. 8: Funkce sondy RMP60 [6]

Snímací neboli spínací technologie je v této sondě využita na principu kinematického mechanismu pro 2D měření. Při vychýlení doteku se váleček umístěný v kontaktu s kuličkami nadzvedne a tím se mezi nimi přeruší kontakt. To má za následek zvýšení odporu a sonda vyšle signál do řídicí jednotky. [16]



Obr. 9: Kinematický mechanismus obrobkové sondy [16]

Opakovatelná přesnost najetí sondy 1,0  $\mu\text{m}$  byla certifikována s použitím doteku o délce 50 mm. Sondy jsou vybaveny vyměnitelným střížným kolíkem, jehož funkcí je zabezpečit ochranu sondy před nadměrným vychýlením doteku. [6]

### 3.3 CAM software

Ve strojní výrobě s CNC stroji jsou v dnešní době nedílnou součástí počítačové softwaru CAM. Jedná se o počítačovou podporu obrábění pracující na CAD softwaru, která využívá geometrii součásti z 3D modelu.

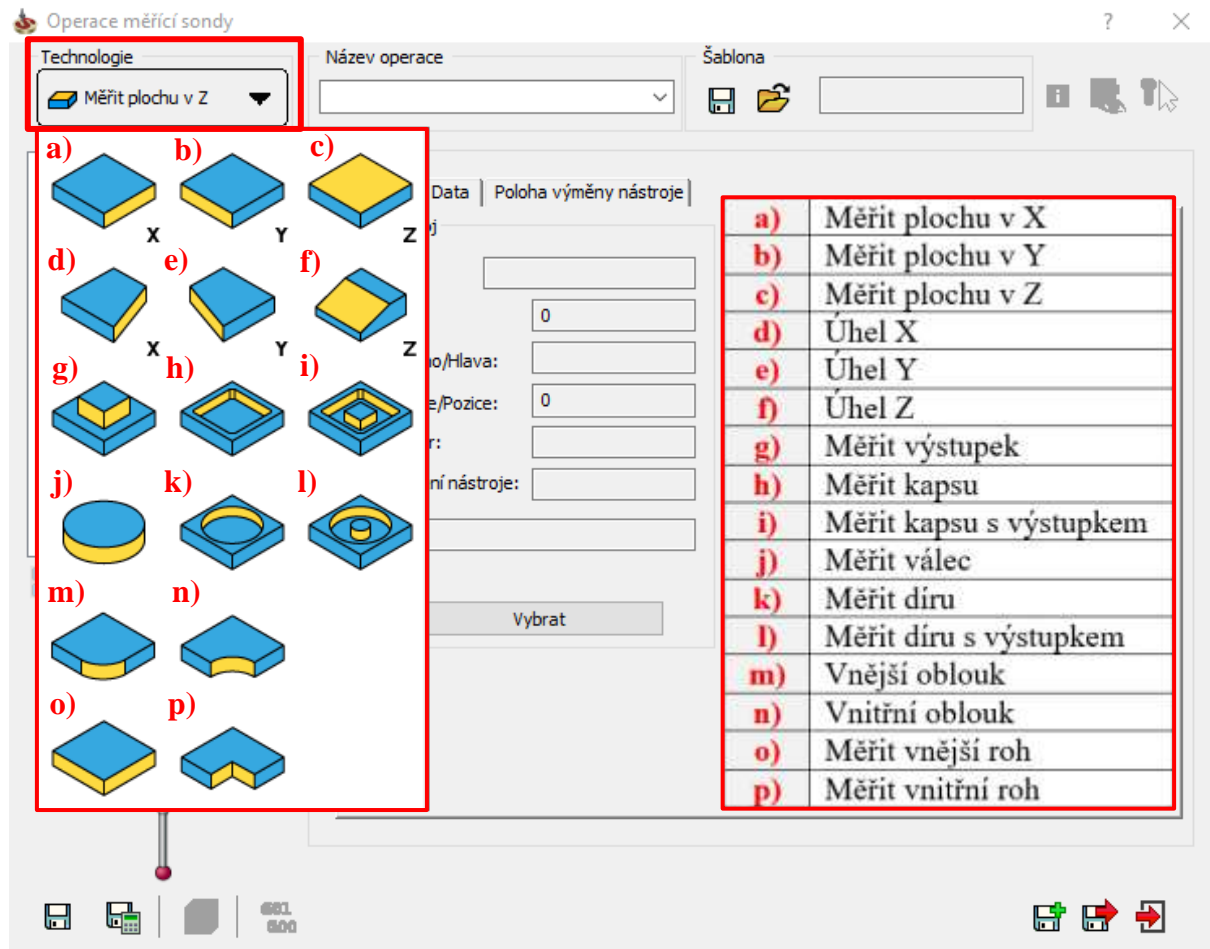
CAM software umožňuje návrh dráhy nástroje pro obráběcí operace při zvolení technologie obrábění. V CAM prostředí lze vytvořit i měřicí cykly s obrobkovou sondou, které jsou zahrnuty ve výsledném NC programu. S pomocí CAD/CAM systémů lze dosáhnout velmi efektivní a rychlé výroby. V určitých případech je použití těchto systémů nezbytné. V dnešní době existuje velké množství těchto softwarů.



Obr. 10: Logo SolidCAMu

Kromě ručního programování v textovém souboru se pro tvorbu NC programu ve společnosti Streicher využívá i InventorCAM software od SolidCAMu. Tento InventorCAM je integrovaný do CAD softwaru Inventor. 2D a 3D geometrie používané pro operace obrábění a měřicí operace sondou jsou asociovány s modely CAD a při provedení změny modelu se CAM operace automaticky aktualizují. Verze softwarů se v současné době ve firmě používají InventorCAM 2021 v Inventoru 2022.

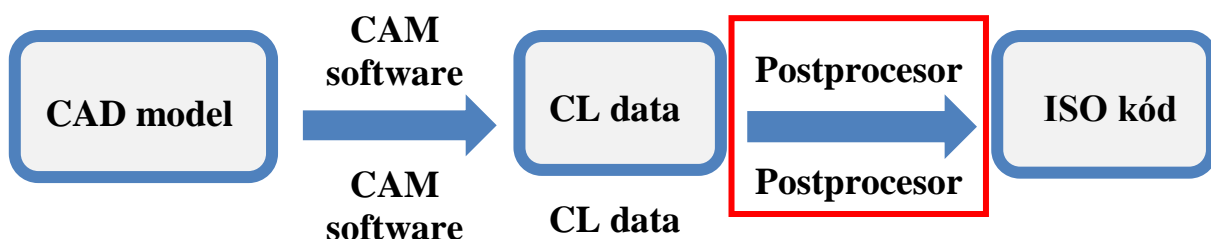
Operace pro měření sondou se v InventorCAMu nastavují jako běžné operace výběrem Nastavení => Měřicí sonda. Poté se zobrazí okno Operace měřicí sondy, kde se nastavují potřebná vstupní data o nástroji, technologii a dalších. Nabídka z „Technologie“ umožňuje široký výběr druhů měření. Od měření ploch v různých směrech, přes měření úhlů, oblouků až po kapsy a díry s vnitřními výstupky. Podle vybrané technologie je nutné vybrat vhodnou geometrii na součásti. Popis technologií je v následujícím obrázku okna z InventorCAMu.



Obr. 12: Operace měřicí sondy – popis technologií

### 3.4 Postprocessor

Postprocessor je nedílnou součástí pro využití CAM softwarů v praxi. Jedná se o softwarový převodník dat z CAM systému do srozumitelného datového jazyka pro daný CNC stroj. Přesněji zpracovává CL data a vytváří z nich vhodný ISO kód. Každý postprocessor je naprogramovaný zvlášť pro každý stroj, jelikož nelze vytvořit univerzální postprocessor. CNC stroje mají obvykle odlišné specifikace, funkce a příslušenství. [17]



Obr. 13: Postprocessor ve schématu pracovního postupu [17]

Při použití CAM softwaru je postprocessor v pracovním postupu až na posledním místě, kdy je již vytvořen program v podobě CL dat a pouze se jedná o převod těchto dat. Nejprve se ale vychází z CAD modelu, na kterém se v CAM systému vytvoří potřebné obráběcí, měřicí operace a další potřebné operace v rámci možností CNC stroje. Tyto operace jsou v podobě CL dat.

Pro tvorbu postprocesoru je nezbytná znalost CL dat konkrétního CAM systému. Dodavatelé postprocesorů komunikují se zákazníky jejich požadavky na formátování výstupu NC programu a popřípadě další funkce postprocesoru. Postprocessor je pak možné doladit po vyzkoušení zákazníkem, případně ho vylepšovat v průběhu následujících let v závislosti na domluvě s dodavatelem. V rámci základních postprocesorů CNC strojů obvykle nejsou zahrnuty měřicí cykly, pokud si je zákazník nevyžádal.

### 3.4.1 Měřicí cyklus v postprocesoru

V rámci této diplomové práce bylo zjištěno, že používané postprocesory nemají zahrnuty měřicí cykly, takže generovaný NC kód neobsahuje potřebné cykly a souřadnice. Nelze tedy využít pro kompletní měření. Ukázka podstatné části vygenerovaného nepoužitelného NC kódu je na následujících řádcích.

```
N40 G0 G17 G40 G90
N50 CYCLE800()
N60 STOPRE
N70 TRANS
N80 ROT
N90 FFWOF
N100 LBL0:
N110 M5
N120 ;
N130 CYCLE800()
N140 STOPRE
N150 TRANS
N160 ROT
N170 FFWOF
N180 ODJETI_H
N190 G0 G53 D0 X=R186 Y=R60
N200 T0
N210 L6
N220 MSG ( )
N230 M30
```

Pokud by se měřicí cykly v CAM systému využívaly vyplatilo by se doplnit již hotové postprocesory o tyto funkce. Pro tuto diplomovou práci se s plným využitím CAM systémů pro měření dále nepočítá. A to i z důvodu, že kdyby byl dodavatel postprocesoru předán požadavek, tak vytvoření nové části postprocesoru trvá nějaký čas.



### 3.5 Proměnné a parametry

Pro zjednodušení a zuniverzálnění programů, podprogramů nebo k tvorbě cyklů se používá parametrizace. Ta se doporučuje u opakovaných velmi obdobných součástek. Proměnné a parametry mají uložené hodnoty v paměti počítače a lze je v průběhu NC programu nebo jejich výpočtu měnit. Při změně vstupního parametru se přizpůsobí výsledky všech vzorců, ve kterých je změněný parametr zahrnut. [18]

V této práci je zahrnut pouze řídicí systém Sinumerik, který je specifický svými předdefinovanými uživatelskými R-parametry.

SIEMENS		SINUMERIK OPERATE		02.04.22	12:23	JOG
R-parametry						
R 0	0	R 25	0	R 50	0	Globální R param.
R 1	0	R 26	0	R 51	0	
R 2	0	R 27	0	R 52	0	
R 3	0	R 28	0	R 53	0	R-parametry
R 4	0	R 29	0	R 54	0	
R 5	0	R 30	0	R 55	0	
R 6	0	R 31	0	R 56	0	Globální GUD
R 7	0	R 32	0	R 57	0	
R 8	0	R 33	0	R 58	0	
R 9	0	R 34	0	R 59	0	
R 10	0	R 35	0	R 60	0	GUD kanálu
R 11	0	R 36	0	R 61	0	
R 12	0	R 37	0	R 62	0	
R 13	0	R 38	0	R 63	0	Lokální LUD
R 14	0	R 39	0	R 64	0	
R 15	0	R 40	0	R 65	0	
R 16	0	R 41	0	R 66	0	
R 17	0	R 42	0	R 67	0	
R 18	0	R 43	0	R 68	0	
R 19	0	R 44	0	R 69	0	
R 20	0	R 45	0	R 70	0	
R 21	0	R 46	0	R 71	0	Hledat
R 22	0	R 47	0	R 72	0	
R 23	0	R 48	0	R 73	0	
R 24	0	R 49	0	R 74	0	

Obr. 14: Tabulka R-parametrů v ŘS Sinumerik [18]

Počet těchto uživatelských předdefinovaných proměnných závisí na verzi řídicího systému. Pro Sinumerik 840D sl je to 2000 a pro Sinumerik ONE 1500 R-parametrů, což je dohledatelné například v tabulce R-parametrů počítače stroje.

Hodnoty proměnných R v paměti počítače zůstávají uložené i přes spuštění jiného hlavního programu nebo vypnutí stroje. To neplatí pro ostatní uživatelské proměnné, které jsou definované v konkrétním NC programu a platí pouze v něm samotném. Hodnoty R proměnných se mění až ve chvíli, kdy je jim přiřazena jiná hodnota nebo jsou přepsané přímo v tabulce počítače. [18]

Hodnoty R-parametrů mohou být přímo přiřazeny nebo vypočteny za pomoci matematických funkcí. Ukázka přiřazení hodnoty a použití parametrů ve vzorcích je v následující tabulce. [18]

Tab. 5: Příklad přiřazení hodnoty a použití R-parametrů v matematických funkcích [18]

Programový kód	Komentář
R0=-3.268	Přiřazení hodnoty -3.268
R[3]=SIN(15)	Přiřazení hodnoty z funkce sin(15)
X=(R1+R2)	Přiřazená hodnota ose X ze součtu R1 a R2
R7=(R6/10)	Přiřazení hodnoty z podílu R6 ku 10
Z=SQRT(R1*R1+R2*R2)	Přiřazená hodnota osy Z z funkce $\sqrt{(R1^2 + R2^2)}$

Řídicí systém Sinumerik je pro uživatele programově velmi otevřený v rámci velké varianty druhů proměnných a také možných matematických funkcí. Základní matematické funkce se nacházejí v další tabulce.

Tab. 6: Základní matematické funkce [19]

Operátory / matematické funkce	Význam
+	Sčítání
-	Odečítání
*	Násobení
/	Dělení
DIV	celočíslné dělení, pro typ proměnných INT a REAL
MOD	zbytek po dělení, pouze pro typ INT
:	řetězcový operátor (u proměnných typu FRAME)
SIN ( )	Sinus
COS ( )	Kosinus
TAN ( )	Tangens
ASIN ( )	arkus sinus
ACOS ( )	arkus kosinus
ATAN2 ( , )	arkus tangens na druhou
SQRT ( )	druhá odmocnina
ABS ( )	absolutní hodnota
POT ( )	2. druhá mocnina
TRUNC ( )	celočíslná část
ROUND ( )	zaokrouhlování na celá čísla
LN ( )	přirozený logaritmus
EXP ( )	exponenciální funkce
MINVAL ( )	menší hodnota ze dvou proměnných
MAXVAL ( )	větší hodnota ze dvou proměnných

### 3.6 Měřicí cykly

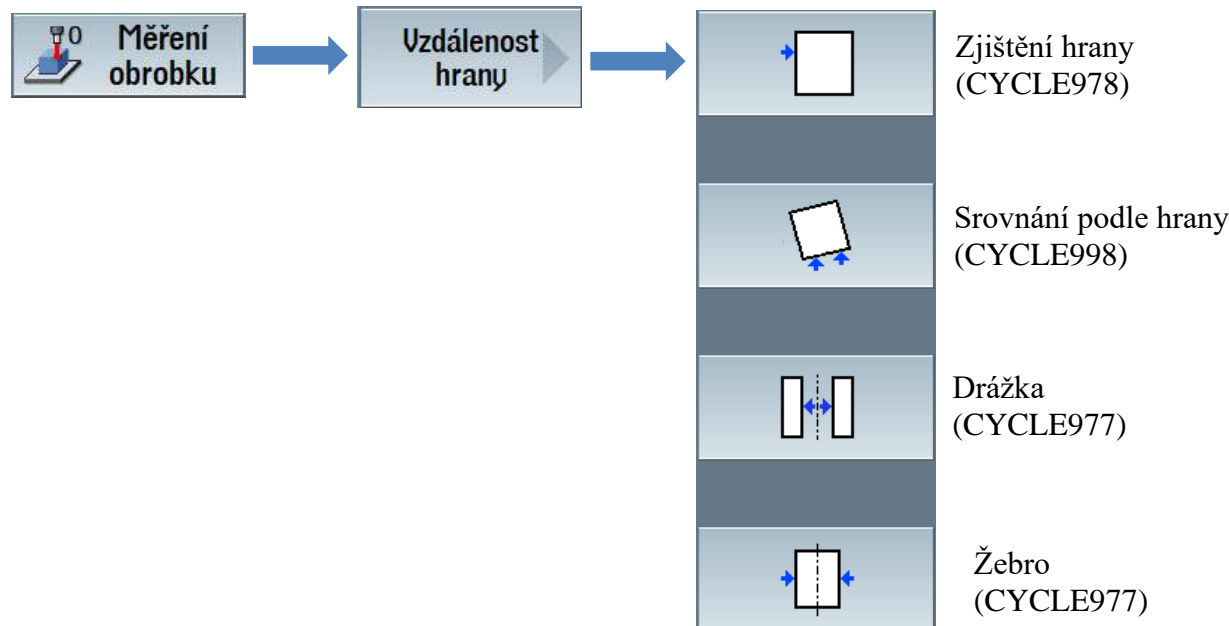
Zjednodušeně jsou měřicími cykly všeobecné podprogramy, které zpracovávají měřicí úkoly. Za pomoci vstupních parametrů je lze přizpůsobit pro dané úlohy. Měřicí cykly řídicího systému Sinumerik jsou obecně rozděleny na měření nástrojů a měření obrobků. [20]

Výsledek měření obrobku může být zpracován těmito třemi variantami:

- Korekce v posunutí počátku
- Automatická korekce nástroje
- Měření bez korekce [20]

V následující tabulce (Tab. 7) jsou popsány všechny měřicí cykly, které Sinumerik nabízí. Jedná se o cykly pro kalibraci měřicích sond, pro měření nástrojů, pro technologii soustružení a pro technologii frézování. Diplomová práce se zaměřuje pouze na frézovací CNC stroje, takže následující podkapitola detailněji zmiňuje pouze jeden měřicí cyklus pro technologii frézování, se kterým se bude pracovat v návrzích. [20]

Některé měřicí cykly mají variantu měření, která rozlišuje druh nebo prvek k měření. Variantu lze určovat pomocí čísel proměnných přímo v bloku daného cyklu nebo ji lze nastavit výběrem v editoru Sinutrain na panelu stroje nebo v softwaru. Při volbě varianty v Sinutrainu jsou graficky znázorněny jednotlivé možnosti. Výsledky měření jsou vždy uloženy ve výsledných parametrech, které se ale mohou lišit v závislosti na variantě měření. [20]



Obr. 15: Sinutrain – struktura výběru varianty měření [20]

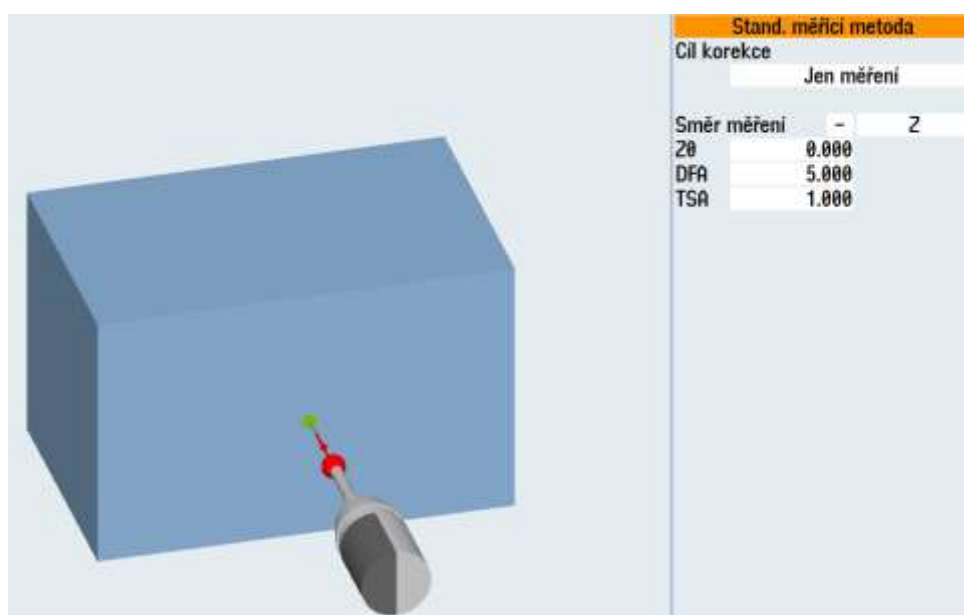
Tab. 7: Měřicí cykly [20]

Měřicí cyklus	Popis	Varianty měření
CYCLE973	Pomocí tohoto měřicího cyklu může být prováděna kalibrace obrobkové měřicí sondy na ploše na obrobku nebo v drážce.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Kalibrace měřicí sondy – délka</li> <li>● Kalibrace měřicí sondy – rádius na ploše</li> <li>● Kalibrace měřicí sondy – sonda v drážce</li> </ul>
CYCLE974	Pomocí tohoto měřicího cyklu je možné stanovit počátek souřadného systému obrobku ve zvolené měřicí ose nebo korekci nástroje pomocí měření 1 bodu.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Měření (Soustružení) - Přední hrana</li> <li>● Měření (Soustružení) - Vnitřní průměr</li> <li>● Měření (Soustružení) - Vnější průměr</li> </ul>
CYCLE994	Pomocí tohoto měřicího cyklu je možné stanovit počátek souřadného systému obrobku ve zvolené měřicí ose pomocí měření 2 bodů. Za tím účelem se postupně automaticky najíždí na dva proti sobě ležící měřicí body na průměru.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Měření (Soustružení) - Vnitřní průměr</li> <li>● Měření (Soustružení) - Vnější průměr</li> </ul>
CYCLE976	Pomocí tohoto měřicího cyklu je možné uskutečnit kalibraci obrobkové měřicí sondy v kalibračním kruhu, příp. na kalibrační kuličce, úplně celkově v pracovní rovině nebo na hraně pro určitou osu a směr.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Kalibrace měřicí sondy – délka na ploše</li> <li>● Kalibrace měřicí sondy – rádius v kruhu</li> <li>● Kalibrace měřicí sondy – rádius na hraně</li> <li>● Kalibrace měřicí sondy – kalibrace na kuličce</li> </ul>
CYCLE961	Pomocí tohoto měřicího cyklu může být určována poloha rohu obrobku (vnitřního nebo vnějšího) a ta potom může být dosazena jako posunutí počátku.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Roh – pravoúhlý roh</li> <li>● Roh – libovolný roh</li> </ul>
CYCLE977	Pomocí tohoto měřicího cyklu je možné stanovit střed v rovině, jakož i šířku, příp. průměr objektu.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Vzdálenost hrany – drážka</li> <li>● Vzdálenost hrany – drážka</li> <li>● Díra – pravoúhlá kapsa</li> <li>● Díra – 1 díra</li> <li>● Čep – pravoúhlý čep</li> <li>● Čep – 1 kruhový čep</li> </ul>
CYCLE978	Pomocí tohoto měřicího cyklu je možné změřit polohu hrany v souřadném systému obrobku.	Vzdálenost hrany – Zjištění hrany
CYCLE979	Pomocí tohoto měřicího cyklu je možné změřit střed a rádius kruhového segmentu v rovině.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Díra – Vnitřní kruhový segment</li> <li>● Čep – Vnější kruhový segment</li> </ul>
CYCLE995	Pomocí tohoto měřicího cyklu je možné změřit úhlovou chybu vřetena na obráběcím stroji.	3D – úhlová odchylka vřetena

Měřicí cyklus	Popis	Varianty měření
CYCLE996	Pomocí tohoto měřicího cyklu mohou být určovány důležité parametry pro kinematické transformace, na kterých se podílejí kruhové osy	3D – Kinematika
CYCLE997	Pomocí tohoto měřicího cyklu je možné zjišťovat střed a průměr kuličky. Kromě toho mohou být měřeny středy tří libovolně umístěných koulí. Dále je zjištěna úhlová poloha roviny, která je těmito třemi středy koulí definována, vzhledem k pracovní rovině v souřadném systému obrobku.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 3D – koule</li> <li>● 3D – 3 koule</li> </ul>
CYCLE998	Pomocí tohoto měřicího cyklu je možné stanovit úhlovou polohu plochy (roviny) vzhledem k pracovní rovině a úhel hran v souřadném systému obrobku.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Vzdálenost hrany – Srovnání podle hrany</li> <li>● 3D – Polohové srovnání podle roviny</li> </ul>
CYCLE971	Pomocí tohoto měřicího cyklu může být uskutečňována kalibrace nástrojové měřicí sondy a měření délky a/nebo radiusu pro frézovací nástroje.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Kalibrace měřicí sondy</li> <li>● Měření nástroje</li> </ul>
CYCLE982	Pomocí tohoto měřicího cyklu může být uskutečňována kalibrace nástrojové měřicí sondy a měření soustružnických, vrtacích a frézovacích nástrojů na soustruzích.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Kalibrace měřicí sondy</li> <li>● Soustružnický nůž</li> <li>● Fréza</li> <li>● Vrták</li> </ul>

### 3.6.1 Zjištění hrany CYCLE978

V této diplomové práci bude použit měřicí cyklus pro měření vzdálenosti hrany na obrobku pro technologii frézování s názvem a označením: Zjištění hrany CYCLE978. Funkcí tohoto měřicího cyklu je zjištění polohy hrany obrobku prostřednictvím měření pouze jednoho bodu vztaženého k počátku souřadného systému obrobku. [20]



Obr. 16: Sinutrain měření hrany

Na Obr. 16: Sinutrain měření hrany je zobrazeno nastavení měřicího cyklu CYCLE978 v dílenském programování nebo v simulátoru Sinutrain. Po nastavení cyklu je do NC programu vložen nový blok, který se zobrazuje následovně:

```
N20 CYCLE978 (0, , , 1, 0, 25, 10, 3, 2, 1, " ", , 0, 1.01, 1.01, -1.01, , , , 1, 1)
```

Jednotlivé pozice v závorkách obsahují data pro měřicí cyklus a jsou propojeny se systémovými parametry, které dále zpracovává všeobecný podprogram. Hodnoty je možné přepisovat přímo v NC bloku. Po provedeném měření na stroji jsou naměřená data uložena v systémových proměnných, dokud nebudou přepsané například jiným měřením. Tyto proměnné lze použít a pracovat s nimi v NC programu. [20]

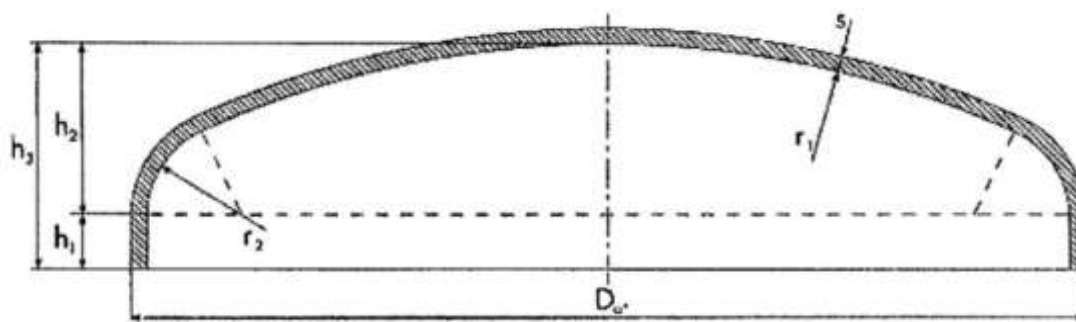
Tab. 8: Výsledné parametry funkce "Zjištění hrany" [20]

Parametr	Popis	Jednotka
_OVR [0]	Požadovaná hodnota pro měřicí osu	mm
_OVR [1]	Požadovaná hodnota v 1. ose v rovině --> pouze v případě S_MA=1	mm
_OVR [2]	Požadovaná hodnota v 2. ose v rovině --> pouze v případě S_MA=2	mm
_OVR [3]	Požadovaná hodnota v 3. ose v rovině --> pouze v případě S_MA=3	mm
_OVR [4]	Skutečná hodnota pro měřicí osu	mm
_OVR [5]	Skutečná hodnota v 1. ose v rovině --> pouze v případě S_MA=1	mm
_OVR [6]	Skutečná hodnota v 2. ose v rovině --> pouze v případě S_MA=2	mm
_OVR [7]	Skutečná hodnota v 3. ose v rovině --> pouze v případě S_MA=3	mm
_OVR [16]	Diference pro měřicí osu	mm
_OVR [17]	Rozdíl v 1. ose v rovině --> pouze v případě S_MA=1	mm
_OVR [18]	Rozdíl v 2. ose v rovině --> pouze v případě S_MA=2	mm
_OVR [19]	Rozdíl v 3. ose v rovině --> pouze v případě S_MA=3	mm
_OVR [21]	Střední hodnota	mm
_OVI [0]	D-číslo, příp. číslo posunutí počátku	-
_OVI [2]	Číslo měřicího cyklu	-
_OVI [3]	Varianta měření	-
_OVS_TNAME	Název nástroje	-

Zeleně označený řádek zvýrazňuje parametr, který obsahuje skutečný naměřený výsledek vůči počátku souřadného systému obrobku. V této diplomové práci se s tímto parametrem dále bude pracovat v rámci návrhu řešení v následující kapitole.

### 3.7 Typová součást 1

Typovou součástí 1 je tzv. dýnko nebo také klenuté dno, jehož hlavní funkcí je zaslepení a ukončení trubky. Nejčastěji používaná klenutá dna pro společnost Streicher jsou normalizovaná dle DIN 28011 a DIN 28013, kde je norma velmi benevolentní ve výškové a rádiusové toleranci (Tab. 9). Materiály dýnek vhodné pro vakuová zařízení musí mít svoji certifikaci. V kusové výrobě společnosti Streicher se velmi často objevují v odlišných velikostech a s odlišnými požadavky na obrábění, které je nutné pro zhotovení vstupních a výstupních otvorů nebo dalších přídavných komponent pro dané zařízení. [11] [12]



Obr. 17: Klenuté dno podle DIN 28011 [13]

#### 3.7.1 Polotovary

Polotovary klenutých dnů jsou zhotoveny tvářením za studena, konkrétně vytlačováním na vytlačovacích lisech. Na těchto polotovarech standardně probíhá předpracování na výše zmíněných CNC strojích, poté následuje svařování a jako svařenec může být nadále opracováván. Materiálem je nejčastěji korozivzdorná ocel DIN EN 1.4401.

Ve výrobě společnosti Streicher se používané rozměry velkých průměrů dýnek pohybují přibližně od 500 mm do 2500 mm. Tolerance podle norem jsou pro výšku klenutého dna poměrně velké. Společně s tolerancí pro rádius vytvářejí nepravidelný a nepřesný povrch, který může mít vliv na výrobu. Tolerance celkové výšky může pro větší rozměry dosahovat až  $\pm 20$  mm. Průměrové tolerance pro  $D_a$  jsou znatelně menší. [11]

Tab. 9: Tolerance celkové výšky pro klenuté dno dle DIN 28011 [11]

Průměr $D_a$ [mm]	Tolerance výšky $h$ [mm]
$D_a \leq 300$	$\pm 4$
$300 < D_a \leq 600$	$\pm 5$
$600 < D_a \leq 1000$	$\pm 8$
$1000 < D_a \leq 1400$	$\pm 12$
$1400 < D_a \leq 1800$	$\pm 16$
$1800 < D_a \leq 2200$	$\pm 20$



**Obr. 18: Polotovary klenutého dna**

### **3.7.2 Současný stav součásti 1**

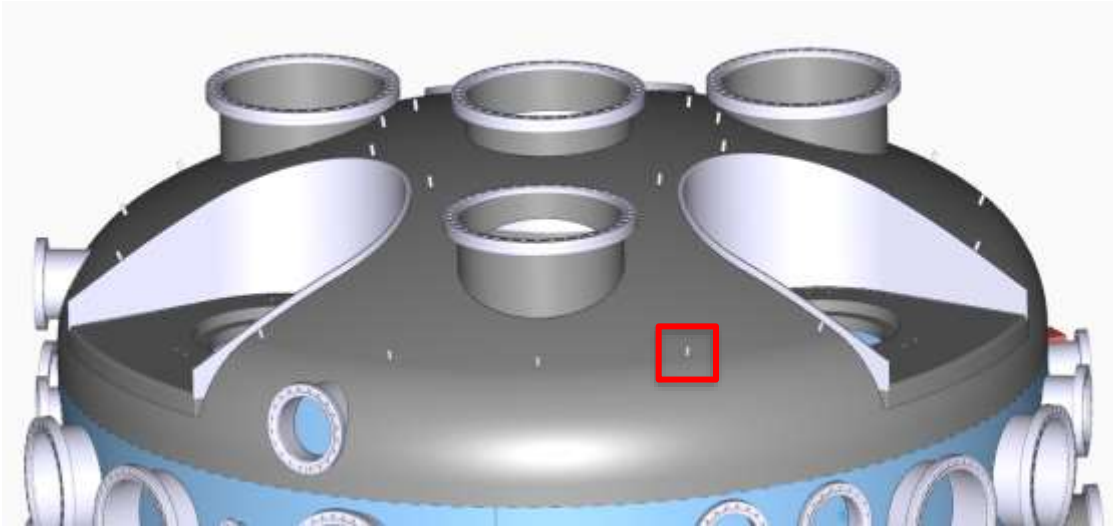
V následujících kapitolách diplomové práce zahrnující součást 1 bude rozebírána pouze jedna konkrétní součást, která se problematikou principiálně neodlišuje od ostatních. To znamená, že následující kapitoly zahrnující rozbor, řešení a vyhodnocení lze aplikovat i na ostatní typové součásti 1, ale následně se bude pracovat pouze s jednou vzorovou součástí.

#### **Popis zvolené součásti a prvku k opracování**

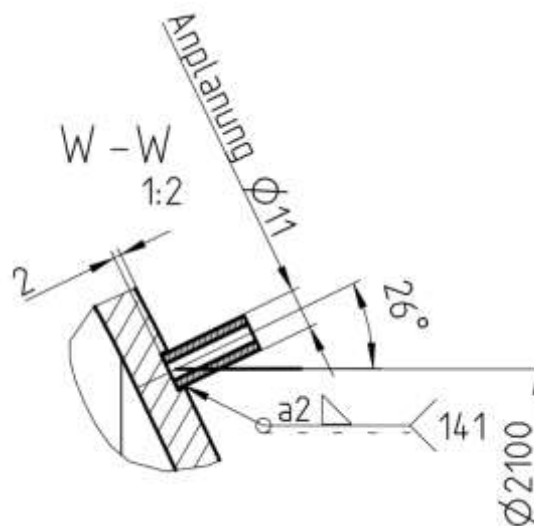
Zvolená vzorová součást lze zařadit mezi objemnější a složitější, kde se provádí více svařovacích prací přímo na klenutém dně. Více svařovaných dílů na dýnku způsobuje velké množství vneseného tepla a tím spojené deformace dílu. Deformace společně s výrobními tolerancemi klenutého dna zvyšují nepřesnost a nepravidelnost zaobleného povrchu svařence.

Na zvolené součásti se na dvou roztečných kružnicích zhotovují malé kruhové kapsy o průměru 11 mm a hloubce 2 mm. Osy těchto kapes jsou na každé kružnici pod jiným úhlem. Jedná se o umístovací pozice pro navaření krátkých tyčí s vnitřním závitem, které jsou určeny k montáži krycího plechu.





Obr. 20: Vzorová součást s vyznačeným prvkem



Obr. 19: Kótovaný prvek kruhové kapsy

### Upnutí a nulový bod obrobku

Svařenec s klenutým dnem se pro opracování na obráběcím stroji upíná na otočný stůl. Konkrétně se součást vystředuje na osu otočného stolu kvůli ručně programovatelnému indexovanému natáčení úhlové hlavy s využitím otáčení stolu. Nulový bod je nastaven na osu součásti neboli na osu otočného stolu a na spodní již opracovanou přírubu.

Natočení úhlové hlavy a posunutí na teoretický povrch součásti pro frézování kapsy je definováno v NC programu. Při samotném frézování musí mít fréza naprogramovanou dostatečně velkou bezpečnou vzdálenost, ze které se pohybuje pracovním posuvem, aby fréza do nepřesně definovaného povrchu nenarazila rychloposuvem.

### Popis současného postupu

Obsluha stroje musí být pozorná a musí sledovat, kdy fréza začne obrábět povrch součásti, pokud v tu chvíli uvidí na obrazovce aktuální hodnotu souřadnice nulového bodu zápornou v řádu jednotek milimetrů, tak NC program přeruší a přepíše parametr „R19“ pro absolutní hloubku frézovacího cyklu v podprogramu.

V případě, kdy fréza jen lehce ubere materiál v řádu desetin milimetru anebo neubere žádný materiál, vlivem propadnutí a nerovnosti povrchu, zatímco dosáhla koncové hodnoty cyklu, tak musí obsluha přerušit NC program a také přepsat parametr „R19“ absolutní hloubky frézovacího cyklu v podprogramu. Jde o to, aby výsledné frézování nebylo příliš hluboké anebo naopak příliš mělké nebo žádné.

```
N10 TRANS Z=-R71 U=R71
N20 G0 B=DC(20)
N30 G0 U0
N40 R19=-2 ; hloubka absolutne
N50 CALL UNT1
;
N60 G0 B=DC(40)
N70 G0 U0
N80 R19=-2 ; hloubka absolutne
N90 CALL UNT1
;
```

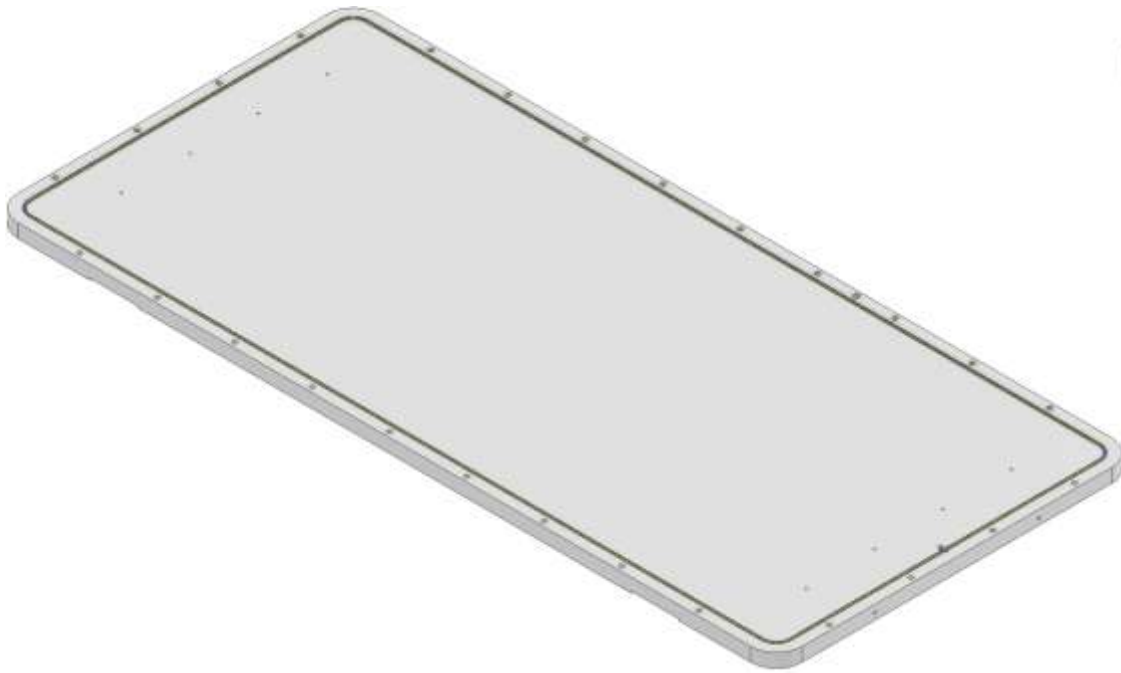
Obr. 21: Parametr R19 v NC programu

### 3.7.3 Závěr

Výše popsaný postup současného stavu frézování kapes na klenutém dně je poměrně náročný pro práci obsluhy stroje, a především časově zdlouhavý vzhledem k opakovanému spouštění NC programu společně s přepisováním podprogramu, kde navíc vstupuje lidský faktor a tím spojené riziko vnesení chyby.

## 3.8 Typová součást 2

Typovou součástí 2 jsou tzv. stěny, jedná se o hliníkový plech, která je součástí vakuové komory S – CUBE vyvinuté společností Streicher. Na součástech 2 se zhotovují tvarové drážky pro těsnění, díry pro šroubové spoje a další prvky jakými jsou například vstupní a výstupní otvory. Jedná se o kusovou výrobu, a proto se ve výrobě vyskytují v odlišných velikostech a s odlišnými dalšími prvky.



Obr. 22: Hliníkový plech

### 3.8.1 Polotovary

Polotovarem typové součásti 2 je plech ze slitiny hliníku. Materiál EN AW 5083 je dobře svařitelný a chemicky odolný. Polotovary mají přídavek na obvod plechu pro opracování a nemá přídavek na tloušťce plechu, která činí 30 mm nebo 40 mm. Tvar plechu může být čtvercový nebo obdélníkový o velikostech stran orientačně od 500 mm až do 2500 mm. Všeobecná geometrická tolerance rovinnosti pro střední třídu přesnosti může být dle ČSN ISO 2768 až 0,8 mm pro rozměr nad 1000 mm. K těmto krajním hodnotám tolerance se polotovary od dodavatele nepřibližují, ale nerovnost může být způsobena i jiným faktorem popsaným na následujících stranách. [14]

Tab. 10: Všeobecné tolerance přímosti a rovinnosti dle ČSN ISO 2768 [14]

Třída přesnosti	do 10	od 10 do 30	od 30 do 100	od 100 do 300	od 300 do 1000	od 1000 do 3000
H	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
K	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
L	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6



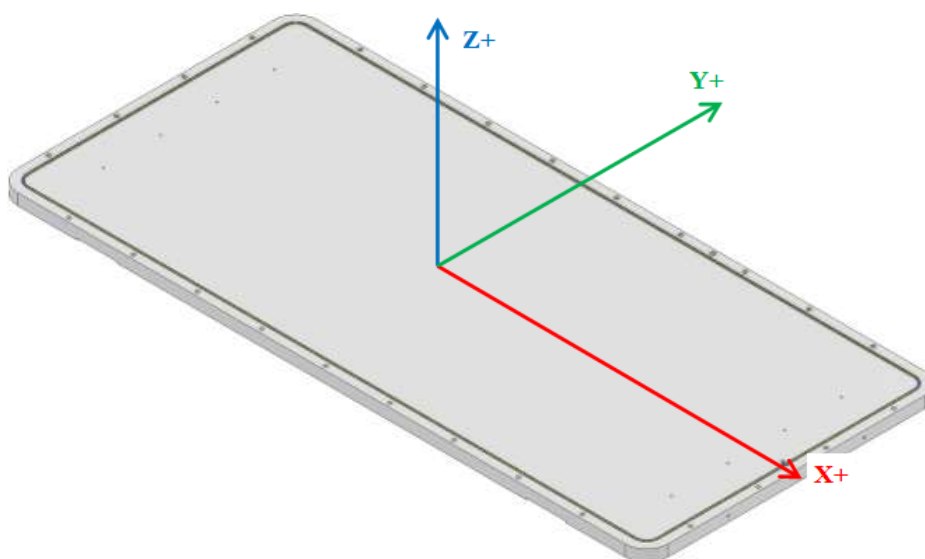
Obr. 23: Polotovary hliníkového plechu

### 3.8.2 Současný stav součásti 2

V následujících kapitolách zahrnujících součást 2 bude práce zaměřena pouze na jednu konkrétní součást, která má stejnou problematiku jako ostatní a lze ji brát za vzorovou. To znamená, že rozbor, řešení a vyhodnocení lze aplikovat i na ostatní typové součásti 2, ale následně se bude pracovat pouze s jednou typovou součástí.

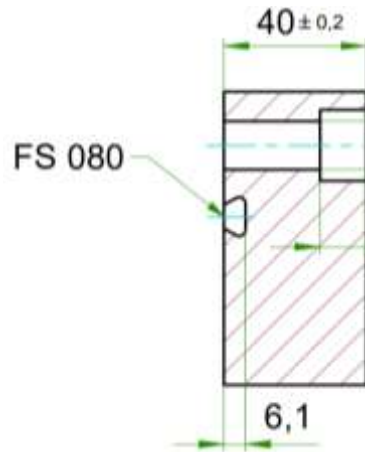
#### Popis, upnutí a měření povrchu zvolené součásti

Zvolenou vzorovou součást lze podle velikosti rozměrů zařadit mezi ty velké oproti ostatním součástem typu 2. Součásti tohoto typu se upínají do upravených svěráků na stůl obráběcího stroje. Nulový bod se standardně umísťuje do středu polotovaru na horní plochu. V závislosti na síle upnutí svěrákovými čelistmi se může polotovary deformovat prohnutím v místě osy „X“. Obsluha stroje je s tímto rizikem seznámena.



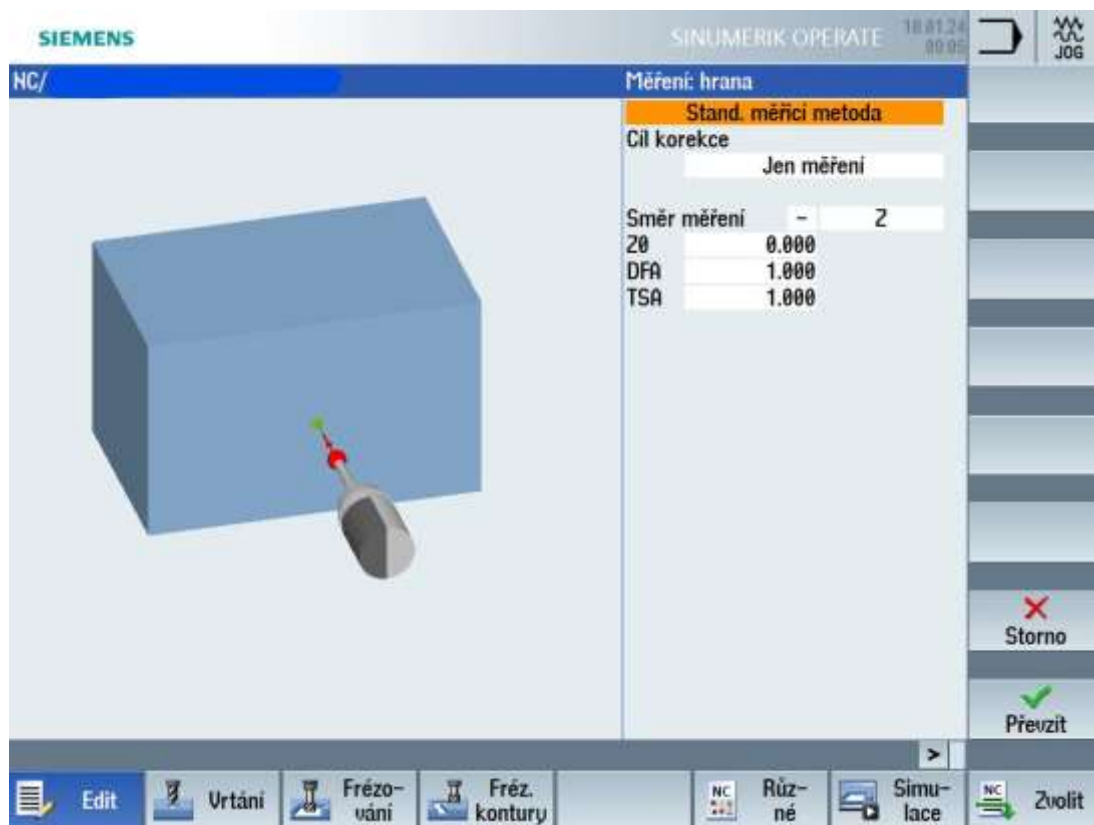
Obr. 24: Zvolená součást s nulovým bodem obrobku

Součást má na šířku 2300 mm, na délku 1064 mm a na výšku 40 mm. Tvarová drážka na neopracované ploše má šířku mezi osami 2220 ± 0,2 mm a na délku 984 ± 0,2 mm. Pro hloubku netolerované drážky 6,1 mm je všeobecná střední tolerance ± 0,2 mm. Pokud bychom brali v potaz dolní a horní mezní rozměry rovinnosti, tak by hloubka drážky byla od 5,3 mm do 6,9 mm. To znamená, že by nebyla splněna všeobecná tolerance pro hloubku tvarové drážky jejíž hodnota je ± 0,2 mm.



Obr. 25: Kótovaný prvek tvarové drážky

Tomuto případu je snaha předejít tím, že má obsluha stroje na začátku NC programu vstupní parametry, do kterých zapisuje naměřenou hodnotu povrchu součásti. Měření probíhá pomocí měřicího cyklu „CYCLE987“ řídicího systému Sinumerik. [15]



Obr. 26: Měřicí cyklus 987 - Sinumerik

## Popis současného postupu

Po umístění nulového bodu obrobku probíhá měření obrobkovou sondou tak, že obsluha stroje ručně najíždí jednotlivé souřadnice dle NC programu, na kterých si následně spouští měřicí cykly. Naměřené hodnoty z cyklu obsluha ručně přepisuje na papír a po naměření a přepsání všech hodnot se obsluha vrací do NC programu a ručně zapisuje hodnoty z papíru k určenému parametru na daných souřadnicích. Pro naši konkrétní součást se jedná o 12 hodnot měřeného povrchu.

```
; *** PARAMETRY KŘIVOSTI PLOCHY ***  
N10 R71=0 ; ODCHYLKA PLOCHY U X+1110 Y0  
N20 R72=0 ; ODCHYLKA PLOCHY U X+1070 Y-492  
N30 R73=0 ; ODCHYLKA PLOCHY U X+535 Y-492  
N40 R74=0 ; ODCHYLKA PLOCHY U X0 Y-492  
N50 R75=0 ; ODCHYLKA PLOCHY U X-535 Y-492  
N60 R76=0 ; ODCHYLKA PLOCHY U X-1070 Y-492  
N70 R77=0 ; ODCHYLKA PLOCHY U X-1110 Y0  
N80 R78=0 ; ODCHYLKA PLOCHY U X-1070 Y+492  
N90 R79=0 ; ODCHYLKA PLOCHY U X-535 Y+492  
N100 R80=0 ; ODCHYLKA PLOCHY U X0 Y+492  
N110 R81=0 ; ODCHYLKA PLOCHY U X+535 Y+492  
N120 R82=0 ; ODCHYLKA PLOCHY U X+1070 Y+492  
; *** PARAMETRY KŘIVOSTI PLOCHY ***
```

Obr. 27: Tabulka R parametrů křivosti plochy v NC programu

Obr. 27: Tabulka R parametrů křivosti plochy v NC programu zobrazuje tzv. tabulku R parametrů křivosti plochy s dvanácti parametry, ke kterým jsou zapisovány naměřené hodnoty. Každý parametr má určenou konkrétní souřadnici NC programátorem, která je zapsaná na konci řádku za středníkem pouze jako text.

Na Obr. 27: Tabulka R parametrů křivosti plochy v NC programu jsou zobrazeny parametry R na začátku NC programu, které jsou nositeli zadaných hodnot a lze je použít kdekoliv v NC programu. Pro tvarovou drážku na vzorové součásti je vytvořen parametrický podprogram (Obr. 28: Ukázka části parametrického podprogramu tvarové drážky) vykreslující dráhu její osy, kde je proměnná hloubka v ose „Z“ řízena podle již zadaných parametrů R.

```
; (DRAZKA - OSA- KOPIROVANI KŘIVOSTI)  
N10 G0 G40 X=(R53/2) Y0  
N20 Z5  
N30 G1 Z=R19+R71 OUR=10  
N40 G64 X=(R53/2) Y=-(R54/2-R55) Z=R19+R72 OUR=100  
N50 G2 X=(R53/2-R55) Y=-(R54/2) CR=R55  
N60 G1 X=((R53/2-R55)/2) Y=-(R54/2) Z=R19+R73  
N70 G1 X0 Y=-(R54/2) Z=R19+R74  
N80 G1 X=-((R53/2-R55)/2) Y=-(R54/2) Z=R19+R75
```

Obr. 28: Ukázka části parametrického podprogramu tvarové drážky

### 3.8.3 Shrnutí

Nerovnosti polotovarů hliníkových desek od současného dodavatele se v zásadě nepřibližují k mezním hodnotám všeobecných tolerancí rovinnosti popsanych v Tab. 10. Další nerovnost může být způsobena prohnutím vlivem příliš velké upínací síly svěrákovými čelistmi na pracovním stole stroje. Pro zajištění konstantní hloubky tvarové drážky v mezích tolerance je nutné měřit křivost plochy v několika místech, která je dále zahrnuta v podprogramu dráhy nástroje.

Dle popisu současného postupu měření a následného použití naměřených hodnot povrchu je zřejmé, že současný stav vyžaduje značnou činnost samotné obsluhy stroje. Dále je postup časově zdlouhavý a složitý vzhledem ke dvojímu přepisování hodnot se zvýšeným rizikem vzniku chyby vlivem lidského faktoru.

## 4 Návrh řešení

V realizaci návrhů řešení jsou zahrnuty odlišné varianty s ohledem na konstrukční řešení a kótování součástí a možnostem využití CAM softwaru. Návrhy by měly zahrnovat měřicí cykly pro zjištění povrchu součástí v určitých oblastech a měly by zjednodušit, urychlit a zpřesnit výrobu na CNC strojích pro typové součástky.

Návrhy řešení nemohou být plně realizovány v CAM softwaru, protože využívané postprocesory ve firmě nezahrnují měřicí cykly. Předpokládá se, že je možné z části CAM využít pro generování souřadnic a případné napolohování úhlové hlavy nebo natočení stolu. V takovém případě by bylo nutné ručně doplnit do NC programu měřicí cyklus a upravit další části programu pro zachování naměřené hodnoty, takže by se jednalo o variantu, která je kombinací CAM softwaru a ručního programování.

Další možností řešení může být ruční programování s pomocí proměnných a parametrů nebo s využitím většího počtu nulových bodů obrobku. Obecně se jedná o náročnější formu tvorby NC programu, ale výhodou může být jejich univerzálnost.

Popisované nebo důležité části kódu pro návrh řešení v rámci diplomové práce jsou vždy zvýrazněné. Ostatní části kódu nejsou předmětem této práce a buď jsou převzaty z praxe ve firmě, nebo vytvořeny obecně známým způsobem.

### 4.1 Typová součást 1

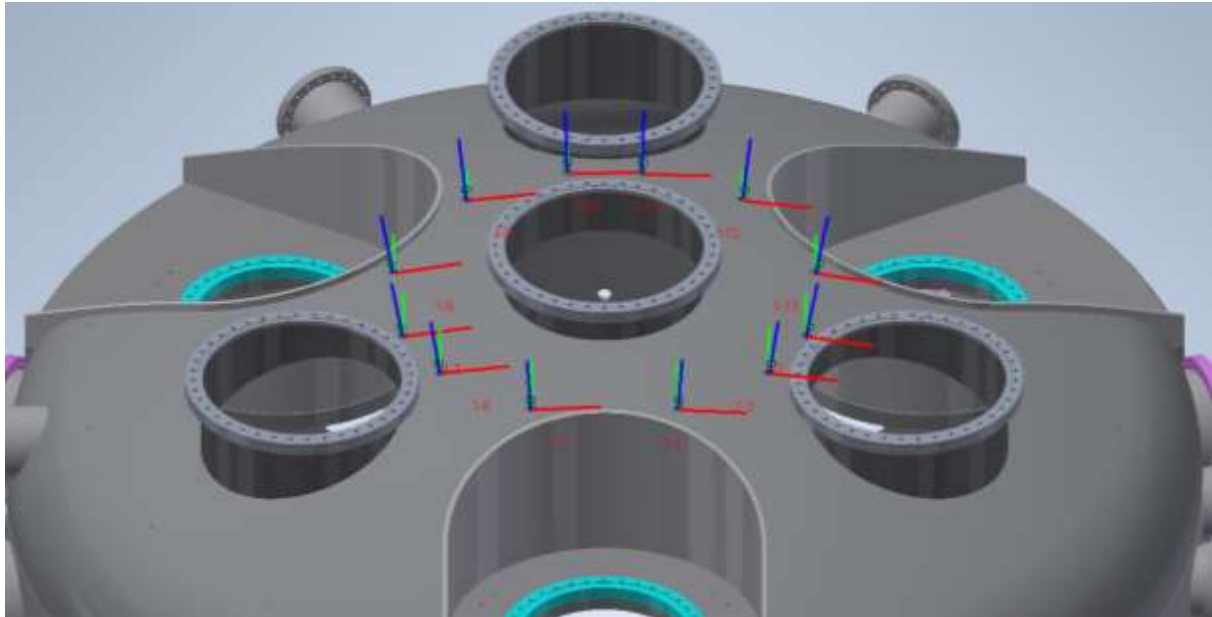
#### 4.1.1 Návrh řešení 1

Tento návrh řešení pro součást klenutého dna bude realizován kombinací InventorCAMu a ručního programování. Předpokladem je, že se součást umístí na otočný stůl, který pomůže dostat se úhlové hlavě na pozici, na které by se sama nedokázala napolohovat. A to z důvodu, že úhlová hlava neumožňuje otočit osu vřetena směrem ke stroji. Kruhové kapsy k opracování jsou umístěny na obvodu klenutého dna, a tudíž mají některé osu směrem ke stroji.

Z CAM softwaru budou generované úhly pro natočení stolu a pro napolohování úhlové hlavy tak, že se místo měřicího cyklu, který nemohou firmou dostupné postprocesory zpracovat, použije například vrtací cyklus. Tento cyklus bude následně vyjmut z NC programu a bude místo něj dosazen cyklus pro měření.

Každá kruhová kapsa musí mít svůj posunutý a natočený nulový bod vůči výchozímu bodu obrobku, jak je zobrazeno na následujícím obrázku, které provádí cyklus 800.

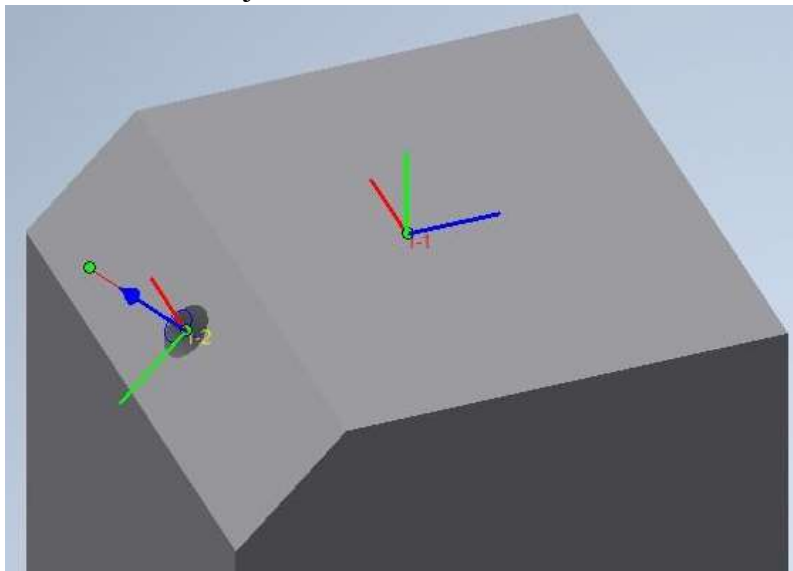




Obr. 29: Umístění posunutí nulových bodů na jedné roztečné kružnici na součásti 1

### Varianta 1

Po přípravě jednotlivých pozic na součásti v CAM softwaru, jak je zobrazeno na Obr. 29: Umístění posunutí nulových bodů na jedné roztečné kružnici na součásti 1, byl postprocesorem generován chybný kód. Při dalším přezkoumání, byl proveden pokus na jednoduché součásti s umístěným nulovým bodem, tak aby představoval požadovanou osu bodu k opracování směrem od stroje s nutností otočení stolu.



Obr. 30: Pokus v CAM softwaru na jednoduché součásti

Generováním NC kódu dle zvolených CL dat bylo získáno opět nepoužitelné řešení. Natočení stolu se v NC programu vyskytovalo pouze formou poznámky. Navíc v cyklu 800 je generováno takové řešení, které obrací osu vřeten směrem ke stroji. Obě zmíněné informace jsou vyznačeny v následujícím NC kódu.

```
N120 ; Pod stroj: BA ROTACNI STUL
N130 ; Natoceni_stolu: +114.47°
N140 ;
N150 G54 B=DC(0)
N160 ;
N170 ; (D_vrtání <1> - NB1.2)
N180 CALL BLOCK "START_HLAVICKA" TO "LBL0"
N190 M5 M9
N200 ODJETI_H
N210 G0 G53 D0 X=R186 Y=R60
N220 T=WKZ[1] ; (VRTAK DIA=6.0 , H=35. , HCELK=35.)
N230 L6
N240 D1
N250 CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,0,-10,-40,0,-135,0,0,0,0,-1,100,1)
N260 AROT RPL=-114.47 ;Dev.
N270 S3500 M3 F300
N280 POZICE_Z(+25)
N290 G0 X+0 Y+0 Z+25
N300 R10=25 R12=-0 R2=2 R3=-10
N310 BCY="CYC81"
N320 L_A1_1001
```

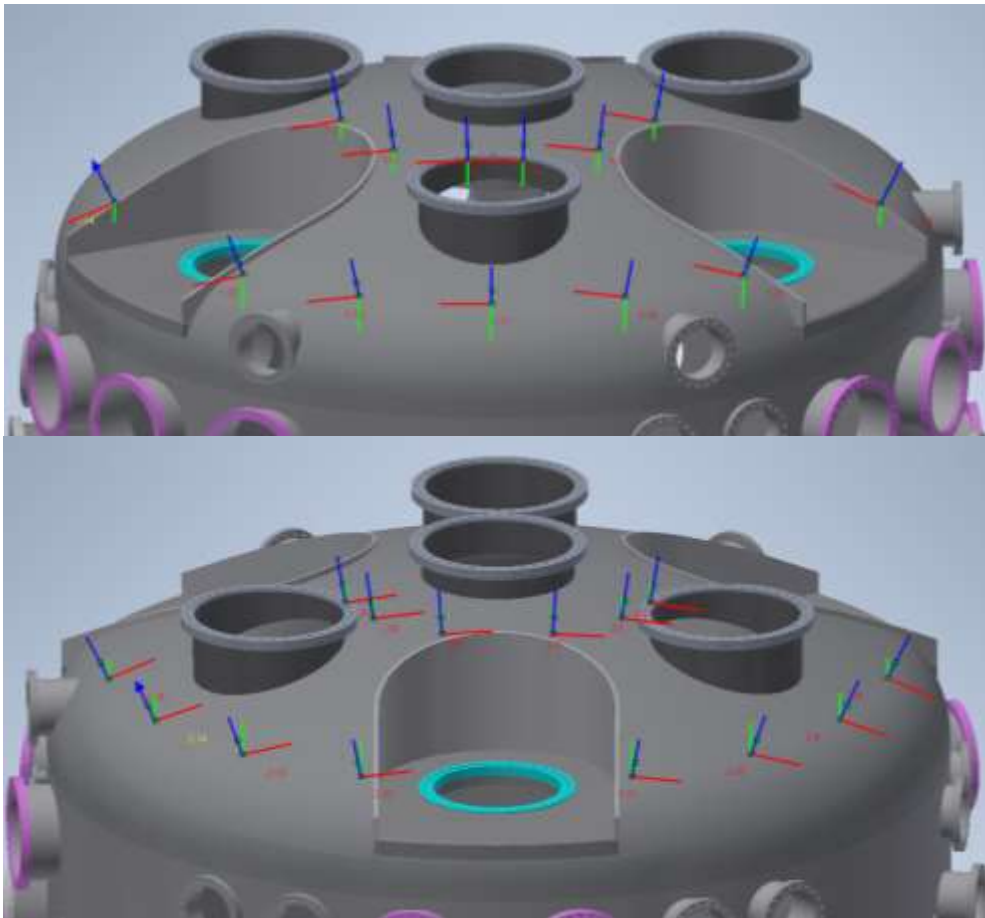
Změna smyslu otáčení v nastavení řízení pohybu pro kinematické dvojice nepřinesla příznivější výsledek. Těmito zjištěními společně s konzultacemi se dospělo k závěru, že postprocesor není schopný pracovat s natočením otočného stolu a je tedy nutné hledat jiné řešení návrhu. V minulosti pravděpodobně nebyl požadavek firmy na takové využití CAM softwaru a výrobcem postprocesoru nebyl realizován. O případném doplnění a změnách v postprocesoru se dále bude jednat s jeho dodavatelem.

## Varianta 2

Řešení je nutné přizpůsobit možnostem postprocesoru, a proto bude návrh realizován, tak aby se eliminovalo generování takových bodů, které nelze najíždět. Součást bude programově rozdělena na dvě poloviny, přičemž otočení stolu o 180° musí být napsané ručně. Vzhledem k dosažení jednoduchého upnutí součásti a její rozdělení na dvě poloviny bude nutné najíždět dva nulové body obrobku, a to oproti stávajícímu způsobu, kdy dělník musí pracně vystředovat obrobek na osu otočného stolu.

Na obrázcích níže jsou zobrazeny posunutí nulových bodů na dvou polovinách součásti, které mají odlišné výchozí nulové body. Pozice jsou generovány postprocesorem jejichž posunutí a natočení obsahuje cyklus 800.





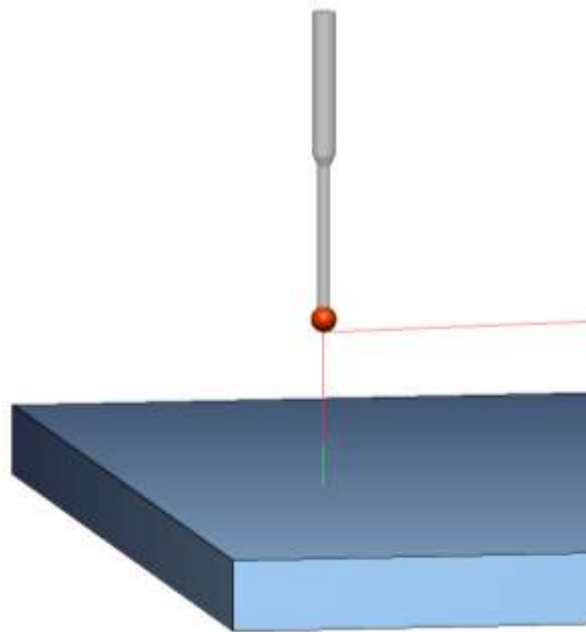
**Obr. 31: Nulové body na dvou polovinách součásti 1**

Tento cyklus bude dále upraven z důvodu, aby obsahoval posunutí dle naměřeného Povrchu. Vzniká tím ale nutnost aplikovat totožný podprogramu s cykly 800 i pro požadované obráběcí operace. Měřicí cykly budou společně s obráběcími cykly v jednom NC programu.

### **Přenos měřených dat**

V další části NC programu bude významným parametrem systémová proměnná „\_OVR[4]“, která nese výslednou hodnotu naměřených dat. Pro kompletní návrh řešení je důležitá kontrola, zda se naměřená data mezi parametry správně přenášejí a zapisují. Z tohoto důvodu bylo nutné vytvořit krátký a jednoduchý NC program. Takový NC kód lze simulovat v softwaru Sinutrain. Problém ale nastává při kontrole, zda se naměřená data ukládají do potřebných parametrů, jelikož ve skutečnosti obrobková sonda v simulátoru nic neměří.

Namísto simulátoru bylo nutné provést kontrolu přenosu naměřených dat přímo na CNC stroji a skutečně změřit plochu. Naměřené hodnoty se při kontrolním měření zapsali do tabulky R-parametrů, tak jak se předpokládalo. Potvrdil se požadovaný přenos dat.



Obr. 32: Simulace měřicího cyklu

Zvýrazněnými kódy jsou R-parametry a systémová proměnná `_OVR` [4], které jsou umístěny za souřadnicemi měřené plochy, kde je cyklus vyvolán. Tyto bloky se nacházejí v podprogramu. Rovnítkem je přiřazená hodnota R proměnné z aktuální hodnoty `_OVR` [4]. Po přiřazení následuje blok s dalšími souřadnicemi pro vyvolání cyklu.

```
%_N_L_A1_01_SPF  
;$PATH=/_N_WKS_DIR/_N_1_MERENI_WPD  
N10 CALL BCY  
N20 GO X0 Y0  
N30 R71=_OVR[4]  
N40 GO X-300 Y-200  
N50 R72=_OVR[4]  
N60 MCALL  
N70 M17
```

Použitím NC programu s výše zvýrazněnými částmi na CNC stroji byl potvrzen přenos dat ze systémových proměnných do uživatelských R-parametrů. V tabulce R-parametrů byla nalezena pozměněná čísla odpovídající předpokládaným naměřeným hodnotám. Potvrzením této zkoušky, která nemohla být v simulaci realizována, se nyní lze zaměřit na kompletní návrh řešení.

## Varianta 2 – realizace

Před začátkem samotného měření je v NC programu jako první spuštěn podprogram, který přiřazuje hodnotu nula R-parametrům využívaných v NC programu. Nulování těchto parametrů zajišťuje správné výchozí posunutí pro cykly 800 v nichž jsou parametry zakomponované. Důvodem vytvoření samostatného podprogramu je především, že kdyby nulování bylo obsaženo společně s cyklem 800, tak by se při opětovném spuštění přepsaly hodnoty. Dalo by se tomu zabránit například vytvořením podmínek, ale jednodušší způsob je nechat nulování parametrů v samotném podprogramu.

```
% N_L_B1_00_SPF
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_DYNKO_UNI_WPD
; (NULOVANI PARAMETRU)
N10 R200=0 R201=0 R202=0 R203=0 R204=0 R205=0 R206=0 R207=0 R208=0 R209=0
N20 R210=0 R211=0 R212=0 R213=0 R214=0 R215=0 R216=0 R217=0 R218=0 R219=0
N30 R220=0 R221=0 R222=0 R223=0 R224=0 R225=0 R226=0
N40 M17
```

Po vynulování parametrů následuje vyvolání dvou podprogramů, které jsou principiálně stejné, ale každý slouží pro odlišnou polovinu součásti neboli pro odlišný nulový bod obrobku G54 a G55. Obsahují cykly 800 pro každou kruhovou kapsu zvlášť, které byly vygenerovány postprocesorem. V těchto cyklech byly nahrazeny parametry posunutí nulového bodu po natočení úhlové hlavy vynulovanými R-parametry (tučně zvýrazněno). V následující části programu jsou zvýrazněny popsané prvky.

```
;
% N_L_B1_01_SPF
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_DYNKO_UNI_01_WPD
; (KRUHOVE KAPSY - POSUNUTI NUL. B. + HLAVA - G54)
N10 ODJETI_H
N20 GO Y=R60
N30 CYCLE800(0, "AUTO_HEAD", 100000, 39, 211.733, 681.378, 37.372, 169.883, 88.22
6, 0, 0, 0, R200, -1, 100, 1)
N40 AROT RPL=-14.185 ;Dev.
N50 GO Z200
N60 L_B1_04
N70 IF R199==0
N80 R200=_OVR[4]
N90 ENDIF
N100 ROT
N110 ODJETI_H
N120 GO Y=R60
N130 WEPU
```

Výše zobrazená část programu je pouze pro jednu kruhovou kapsu. Tato část programu se opakuje pro všechny kruhové kapsy s tím rozdílem, že se mění parametr v posunutí (R200 – R226), hodnoty nastavené v cyklu 800 a hodnota AROT RPL. AROT RPL je generováno společně s cyklem 800 a značí úhel, o který se aditivně otáčí souřadnicový systém (rovina G17, G18 nebo G19). Tento příkaz posunutí musí být rušen příkazem ROT.

```
% N_L_B1_01_SPF
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_DYNKO_UNI_01_WPD
; (KRUHOVE KAPSY - POSUNUTI NUL. B. + HLAVA - G54)
N10 ODJETI_H
N20 GO Y=R60
N30 CYCLE800(0, "AUTO_HEAD", 100000, 39, 211.733, 681.378, 37.372, 169.883, 88.22
6, 0, 0, 0, R200, -1, 100, 1)
N40 AROT RPL=-14.185 ;Dev.
N50 GO Z200
N60 L_B1_04
N70 IF R199==0
N80 R200=_OVR[4]
N90 ENDIF
N100 ROT
N110 ODJETI_H
N120 GO Y=R60
N130 WEPU
```

Ve vyznačeném podprogramu (L\_B1\_04) je vyvolán aktuálně načtený cyklus příkazem CALL BCY na souřadnicích „X0“ a „Y0“, který je dle posloupnosti hlavního NC programu nejprve měřicí a poté následuje obráběcí. Byla zde umístěna i podmínka, která dle hodnoty parametru R198 buďto spustí otáčky nebo tento příkaz ignoruje.

```
;
% N_L_B1_04_SPF
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_DYNKO_UNI_01_WPD
; (VYVOLANÍ BCY + OTÁČKY S PODMÍNKOU)
N10 IF R198==1
N20 S3300 F450 M3
N30 ENDIF
N40 CALL BCY
N50 GO X0 Y0
N60 MCALL
N70 M17
```

Hlavní důvod použití podmínky se spuštěním otáček je především takový, že se sonda nesmí roztáčet, a naopak při použití programu pro obráběcí nástroj je nutnost spuštění otáček. Parametr R198 je umístěn a zadán v hlavním programu u příslušných operací.

Vyvolávaný měřicí cyklus 978 je přednastavený s měřicí dráhou, ale lze ji jednoduše přenastavit na stroji, tak aby nedošlo ke kolizi rychloposuvem do obrobku. Po uskutečnění měření je v systémové proměnné \_OVR[4] uložena výsledná hodnota. Za měřicím cyklem se nachází parametr R199, kterému je přiřazena hodnota nula.

```
;
% N_CYC978_SPF
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_DYNKO_UNI_WPD
N10 PROC CYC978 DISPLÖF
N20 MCALL CYCLE978(0,,,1,0,25,10,3,2,1,"",,0,1.01,1.01,-1.01,,,,,1,1)
N30 R199=0
N40 ODJETI_H
N50 GO Y=R60
N60 M17
;
```

Vynulování parametru R199 je kvůli vytvořené podmínce z předchozího podprogramu. Podmínka je závislá na tomto parametru a pokud je splněna, tedy rovna nule, tak proběhne následující blok, který přiřazuje výslednou hodnotu z měření parametru zapsanému v cyklu 800. Přepisuje tedy příslušný parametr pro danou kapsu.

V případě že by se parametr nerovnal nule a podmínka by nebyla splněna, tak je blok přeskočen a nezmění se jeho hodnota. Takový případ je žádoucí při použití jiných cyklů než měřicích, proto aby nebyla chybně přepsaná hodnota posunutí a zůstala přiřazená ta z měření.

```
;
%_N_L_B1_01_SPF
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_DYNKO_UNI_01_WPD
; (KRUHOVE KAPSY - POSUNUTI NUL. B. + HLAVA - G54)
N10 ODJETI_H
N20 G0 Y=R60
N30 CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,211.733,681.378,37.372,169.883,88.22
6,0,0,0,R200,-1,100,1)
N40 AROT RPL=-14.185 ;Dev.
N50 G0 Z200
N60 L B1 04
N70 IF R199==0
N80 R200=_OVR[4]
N90 ENDIF
N100 ROT
N110 ODJETI_H
N120 G0 Y=R60
N130 WEPU
```

Při použití jiných cyklů, než jsou měřicí je v podprogramu, který jiné cykly vyvolává změněn parametr R199. Tento podprogram je načten v hlavním programu u obráběcích operací.

```
;
%_N_L_B1_03_SPF
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_DYNKO_UNI_WPD
; (VYVOLANI UNT1)
N10 CALL UNT1
N20 R199=1
N30 M17
```

Následuje část hlavního programu týkající se operace měření, kde jsou vyvolávané výše popsané podprogramy, změny nulových bodů obrobku a přiřazení hodnot parametru.

```
;
; (MERIT POVRCH)
N50 T=WKZ[1]
N60 L6 ; (SONDA)
N70 G54 B=DC(0); POLOHA G54
N80 G0 Z200
N90 BCY="CYC978"
N100 L B1_00
N110 R198=0 ; R198=0 - BEZ OTACEK
N120 L B1_01
N130 ODJETI_H
N140 G0 Y=R60
N150 G55 B=DC(0) ; POLOHA G55
N160 L B1_02
N170 ODJETI_H
N180 G0 Y=R60
N190 WEPU
;
```



## Varianta 2 – simulace a zkouška

Při testování vytvořeného NC programu v simulátoru Sinutrain, byl stále zobrazován určitý druh alarmu. Ten se zobrazoval, když měl probíhat měřicí cyklus. Alarm číslo 61326 vypisoval hlášení „Kontrolovat směr měření“ a dle návodu je chybně zadaná proměnná v měřicím cyklu 978 .



Obr. 33: Alarm při simulaci NC programu pro součásti 1

Různými změnami měřicího cyklu se nepodařilo alarm odstranit. Simulace bez měření probíhala správně s natočením úhlové hlavy a posunutím nulového bodu obrobku. V takovém případě bylo na místě vyzkoušení NC programu na stroji s předpokladem, že simulátor neumí měření při složitějším zadání cyklu 800.

Při zkoušení programu se stroj zachoval totožně jako simulace. Měření neprobíhalo a samostatné obrábění fungovalo. Dalším krokem bylo zjistit, co by mohlo měřicí sondě nebo měřicímu cyklu překážet v NC programu. Příkaz pro otáčení souřadnicového systému AROT RPL, který si generuje CAM software při posunutí a natočení nulového bodu, se ve firmě standardně nepoužívá, tak bylo vhodné zkusit, zda nepřekáží měřicímu cyklu.

V provozním režimu MDA, kde mohou být zadávány a ihned zpracovávány příkazy blok po bloku, bylo provedeno naklopení úhlové hlavy odlišné od základních poloh a spuštění měřicího cyklu s obrobkovou sondou na stroji. Měření proběhlo a žádné komplikace ve formě alarmů se nezobrazily. Poté bylo provedeno to samé s tím rozdílem, že před měření byl vložen příkaz AROT RPL s libovolným úhlem. Měření se nespustilo a na panelu stroje se opět zobrazil alarm.

## Varianta 2 – shrnutí

Výsledek zkoušení NC programu na stroji ukázal, že měřicí cyklus je narušen příkazem pro natočení souřadnicového systému AROT RPL, což znemožňuje provádět měření. Struktura vytvořeného NC programu je jinak správná. V této situaci je vhodné zjistit, zda lze příkaz AROT RPL nahradit jiným příkazem nebo proč je nutný při generování cyklu 800 postprocesorem a zda lze tento problém řešit jiným způsobem. Tuto problematiku je vhodné konzultovat s dodavatelem postprocesoru pro CAM systém. Celý NC program je k dispozici v příloze č.1.

### 4.1.2 Návrh řešení 2

Jako další návrh je vytvoření NC měřicího programu pouze ručním programováním. Vhodnější varianta je součást umísťovat pouze na střed otočného stolu, což eliminuje potřebu pracného vystředování na osu stolu, zejména s ohledem na odlišné rozměry z kusové výroby a nerovnosti svařovaného polotovaru. Tento návrh je realizovatelný, ale kvůli potřebě provádět mnoho výpočtů a odměřování z CAD výkresu nebo modelu byl pro realizaci upřednostněn předchozí návrh s kombinací CAM softwaru a ručního programování.

## 4.2 Typová součást 2

### 4.2.1 Návrh řešení 1

Návrh řešení s využitím CAM systému a ručním doplněním měřicího cyklu včetně převzetí naměřených hodnot je proveditelný pro tuto součást. Především kvůli nepotřebě otáčet stůl a naklápět úhlovou hlavu, které by jinak mohly způsobovat problémy kvůli nedostatkům v postprocesoru (kapitola 4.1.). Řešení v CAM systému by muselo obsahovat přibližné polohy měřených bodů nebo pozice vytvořené v modelu součásti. Oproti návrhu řešení 2 by musel být NC program vytvářen pro každý specifický díl jednotlivě.

### 4.2.2 Návrh řešení 2

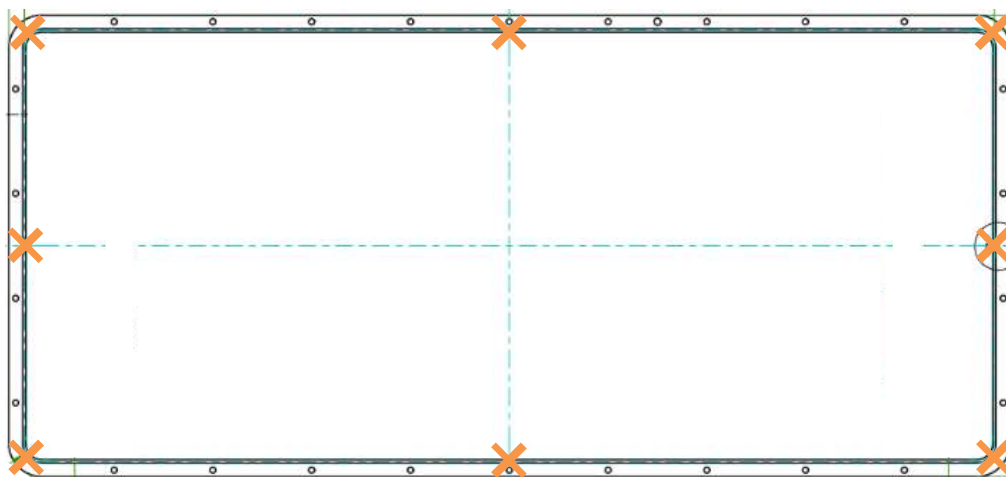
Tento návrh řešení je zhotovený za pomoci proměnných a parametrů. Především proto, že v průběhu posuvu dráhy nástroje v NC programu nelze aplikovat odlišné nulové body obrobku. Určitým způsobem je možné za pomoci systémových proměnných získat hodnotu posunutí počátku a dál s ní pracovat, ale snadnějším a zřetelnějším způsobem zůstává varianta s použitím systémových proměnných, které jsou využity přímo měřicími cykly. Systémové proměnné mají přiřazenou hodnotu výsledku měření a dále je možné převzetí nebo tzv. uložení těchto hodnot do zvolených uživatelských proměnných jako jsou R-parametry. Varianta s použitím více nulových bodů pro naměření křivosti povrchu je tedy vyřazena.

Významnou roli bude mít systémová proměnná `_OVR` [4], která uchovává skutečná naměřená data. Dále R-parametry do nichž budou data uložena a se kterými se bude moci dál pracovat.

## Realizace

Pro vytvoření NC měřicího programu je nutné si určit kolik a jaké body na povrchu součásti budou měřeny. Součást 2 je čtvercového nebo obdélníkového tvaru a vzhledem ke kusové výrobě má odlišné rozměry, takže má i odlišné rozměry tvarové drážky pro kterou je NC program vytvářen.

Vzhledem k velikosti odchylek a dosavadních používaných vzdálenostech na rozměrově odlišných součástech byla za maximální měřenou vzdálenost zvolena hodnota 450 mm. Minimální měřená vzdálenost se odvíjí od počtu měřených bodů, přičemž nesmí být překročena ta maximální. Další podmínkou je, že měření vždy probíhá v rozích součásti a uprostřed každé strany to znamená v „X0“ a „Y0“ viz. oranžové body v Obr. 34: Oranžové pevně zvolené body měření pro součásti 2. Jeden z důvodů je, že v ose u stroje „X0“ a „-Y“ si obsluha najíždí nulový bod povrchu „Z“ a zároveň zde začíná frézování tvarové drážky. Vzniká tam tak zvaný vpich od tvarového nástroje.



Obr. 34: Oranžové pevně zvolené body měření pro součásti 2

V následující tabulce je popsán počet měřených bodů pro odlišené rozměry stran součásti. Uvažuje se, že kratší strana nepřesáhne rozměr 1800 mm a delší 2700 mm. Maximální hodnota vzdálenosti měření je 450 mm. Popis součásti 2 včetně používaných rozměrů je v kapitole 3.8.

Tab. 11: Počet a vzdálenosti měřených bodů na délku strany

Rozměr strany [mm]	Počet měřených bodů na stranu	$L_{Mmax}$ [mm]	$L_{Mmin}$ [mm]
$L_{xy} \leq 900$	3	450	-
$900 > L_{xy} \leq 1800$	5	450	226
$1800 > L_x \leq 2700$	7	450	300

Pro větší univerzálnost NC měřicího programu bylo nutné zavést možnost zadání vstupních parametrů jakými jsou rozměry drážky v ose „X“ a v ose „Y“. Zadávání probíhá na začátku hlavního programu. Čísla R-parametrů byla převzata z jiných programů, kde se používají také pro zadání rozměru drážky. A to z důvodu sjednocení a případného zvyku obsluhy na tyto parametry.

```
; (-----PARAMETRY NAJIZDENI-----)
R53=750 ; ROZMER DRAZKY V OSE X
R54=400 ; ROZMER DRAZKY V OSE Y
```

Následuje podprogram, ve kterém jsou rozhodovací podmínky a skoky do příslušné části vzhledem k velikosti součásti. Je tedy závislý na vstupních parametrech popsaných výše. Podprogram začíná přiřazením nuly k parametru R171. Jedná se o výchozí bod, který si obsluha najíždí samostatně při nastavení nulového bodu obrobku.

```
% N_L_B1_00_SPF  
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_1_MERENI_WPD  
; (VYPOCET_POCTU_MERENYCH_BODU)  
N10 R171=0 ; VYCHOZI_BOD (VZDY_NULA)  
;
```

V další části podprogramu se nacházejí rozhodovací podmínky s použitím programové smyčky IF. Ta podle podmínky rozhoduje, zda se uskuteční programový blok na následujícím řádku nebo při nesplnění podmínky se uskutečňují bloky až za ukončením této programové smyčky.

```
IF (R53<=900) AND (R54<=900)  
GOTO XYDO09  
ENDIF  
IF (R53<=1800) AND (R53>900) AND (R54<=900)  
GOTO XDO18YDO09  
ENDIF  
IF (R53<=1800) AND (R53>900) AND (R54<=1800)  
GOTO XYDO18  
ENDIF  
IF (R53<=2700) AND (R53>1800) AND (R54<=900)  
GOTO XDO27YDO09  
ENDIF  
IF (R53<=2700) AND (R53>1800) AND (R54<=1800)  
GOTO XDO27YDO18  
ENDIF
```

Zvýrazněna je pouze první podmínka z pěti. Tato podmínka je splněna, pokud vstupní parametry R53 a R54 mají hodnotu menší nebo rovno 900. Podmínka musí být splněna pro oba parametry jinak je nevyhovující a následuje čtení programu za koncem programové smyčky ENDIF, kde se nachází další podmínka. Pokud je podmínka splněna následuje další programový blok, ve kterém se nachází příkaz s cílem skoku vyhledávání směrem ke konci programu GOTOF. Cíl skoku je v tomto případě XYDO09 a nachází se v další části téhož podprogramu.

Za těmito podmínkami se nachází jedna kontrolní podmínka, která má za cíl kontrolu vstupních dat parametrů R53 a R54. Kontrola je navržena tak, že v případě zadání vstupních hodnot pro osu „X“ větších nebo rovno 2700 nebo zadáním hodnot pro osu „Y“ větších nebo rovno 1800 bude na monitoru stroje vypsáno výstupní hlášení a program se zataví. Při případném dalším pokračování programu neproběhne žádný měřicí cyklus a čtení programu se dostane až na konec s pomocí programového skoku GOTOF KONEC.

```
IF (R53>2700) OR (R54>1800)  
MSG ("ZKONTROLUJ ZADANE ROZMERY, JINAK NUTNO KONZULTOVAT")  
M0  
MSG ()  
GOTOF KONEC  
ENDIF
```

Tato kontrola je navržena proti některým chybně zapsaným vstupním hodnotám, které by přesahovali maximální rozměry navrženého NC programu, a proti použití programu na příliš velké součásti, které se doposud nevyrobili a NC program na ně není navržen.

Při splnění podmínky následuje příkaz výstupního hlášení MSG, který na monitoru stroje vypíše hlášení "ZKONTROLUJ ZADANE ROZMERY, JINAK NUTNO KONZULTOVAT" a zastaví další chod programu pomocí příkazu M0. Poznámka "NUTNO KONZULTOVAT" je napsaná obsluze stroje z důvodu, že není jisté, zda lze použít na případně příliš rozměrově velký kus tento NC program.

Programový skok na návěští KONEC přeskakuje části NC programu, kde probíhá samotné vyvolání měřicího cyklu. Tímto skokem se čtení programu dostane až na úplný konec podprogramu, ze kterého se čtení vrací zpět do hlavního programu a dále se nachází už pouze odjetí nástroje od součásti a nastává ukončení hlavního NC programu.

```
KONEC:  
N1740 G0 Z200  
N1750 M17
```

Jak již bylo zmíněno v podprogramu se nachází pět podmínek, ke kterým přísluší pět cílů skoku neboli návěstí, to znamená že byl program vytvořen pro pět odlišných kombinací velikosti součástek s vlastními částmi v podprogramu. V následujícím kódu je zobrazen jeden cíl skoku pro výše zvýrazněnou první podmínku pro součást s nejmenšími rozměry.

```
XYDO09:  
N20 CALL BCY  
N30 G0 X=- (R53/2) Y=- (R54/2)  
N40 R172= _OVR[4]  
N50 G0 X=- (R53/2) Y0  
N60 R173= _OVR[4]  
N70 G0 X=- (R53/2) Y= (R54/2)  
N80 R174= _OVR[4]  
N90 G0 X0 Y= (R54/2)  
N100 R175= _OVR[4]  
N110 G0 X= (R53/2) Y= (R54/2)  
N120 R176= _OVR[4]  
N130 G0 X= (R53/2) Y0  
N140 R177= _OVR[4]  
N150 G0 X= (R53/2) Y=- (R54/2)  
N160 R178= _OVR[4]  
N170 R179=0 R180=0 R181=0 R182=0 R183=0 R184=0 R185=0 R186=0 R187=0  
R188=0 R189=0 R190=0  
N290 MCALL  
GOTOF KONEC
```

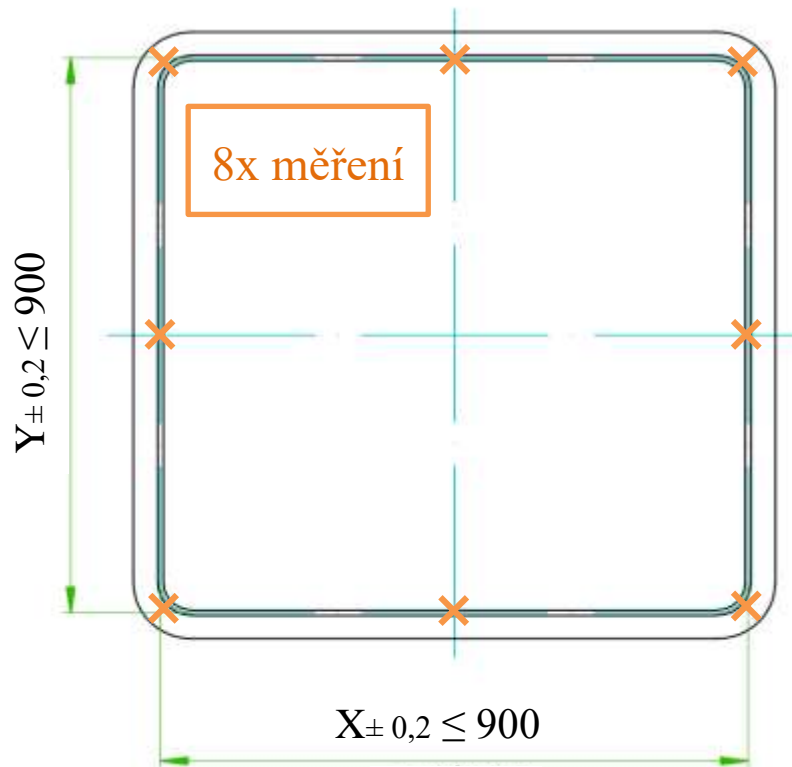
Výše v kódu je zvýrazněna pouze část se souřadnicemi bodů, na kterých je měřicí cyklus vyvolán a za každou takovou souřadnicí se nachází R-parametr, který přebírá hodnotu ze systémové proměnné. Za zvýrazněnou částí se nachází zbylé R-parametry využívané pro větší rozměry součásti, které jsou vynulované z důvodu případné kontroly naměřených hodnot z tabulky parametrů na počítači stroje.

V následujícím NC podprogramu je zvýrazněný měřicí cyklus s modální funkcí, která spouští načtený cyklus na každé souřadnici, dokud nebude následovat zrušení funkce, načtení nového cyklu, načtení konce NC programu nebo resetování stroje. Je vyvoláván na vyznačených souřadnicích z předchozího NC kódu.

```
%_N_CYC978_SPF  
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_1_MERENI_WPD  
N10 PROC CYC978 DISPLOF  
N20 MCALL CYCLE978(0,,,1,0,25,10,3,2,1,"",,0,1.01,1.01,-1.01,,,,,1,1)  
N30 M17
```

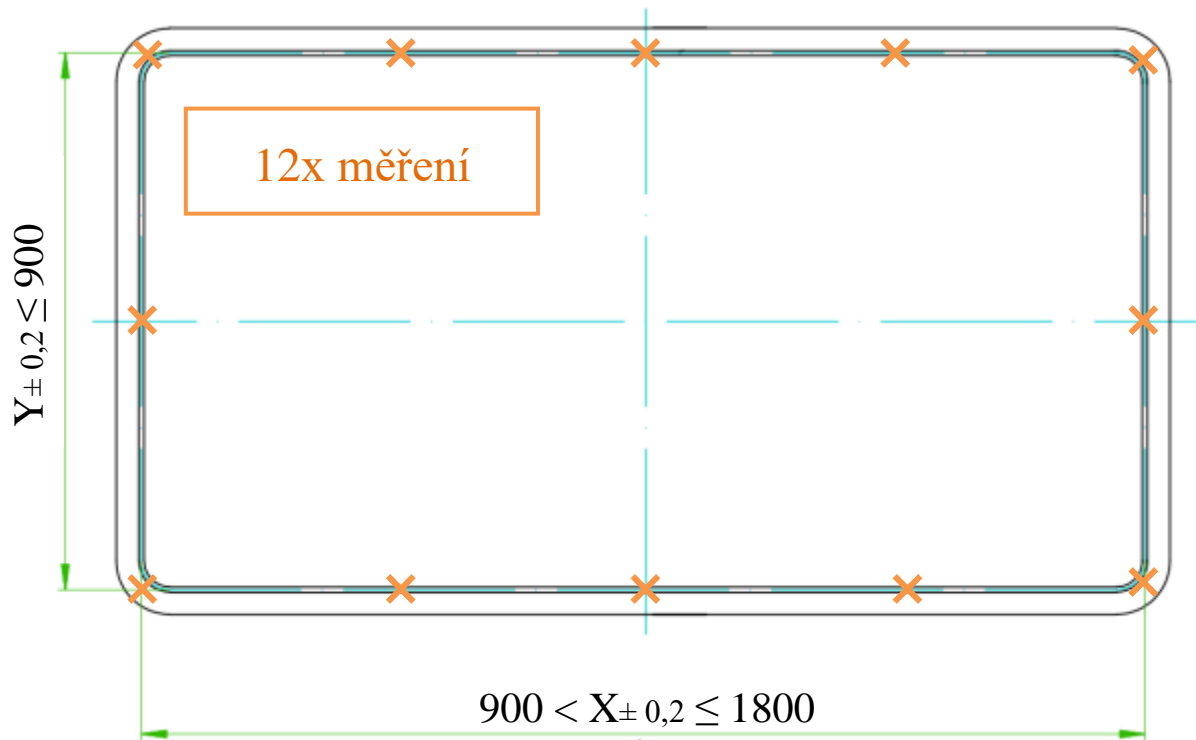
### Schémata návrhu

Ze zmíněné části podprogramu, ve které se nachází vypočtené souřadnice měření, zobrazuje následující schéma měřené body oranžovými křížky na součásti. Podle velikosti součásti, respektive délky strany, je vypočten příslušný počet bodů (Tab. 11).

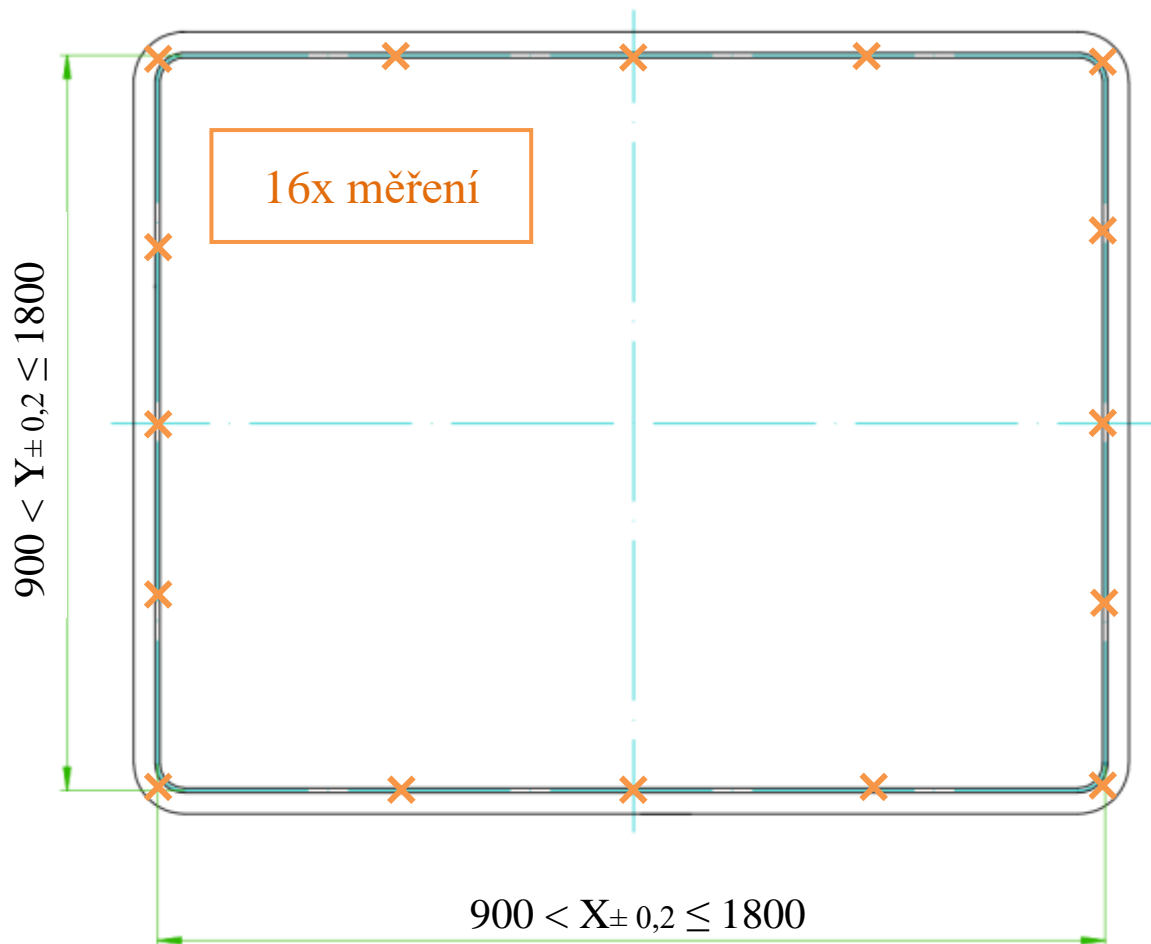


Obr. 35: Schéma měřených bodů pro velikost XY do 900 mm

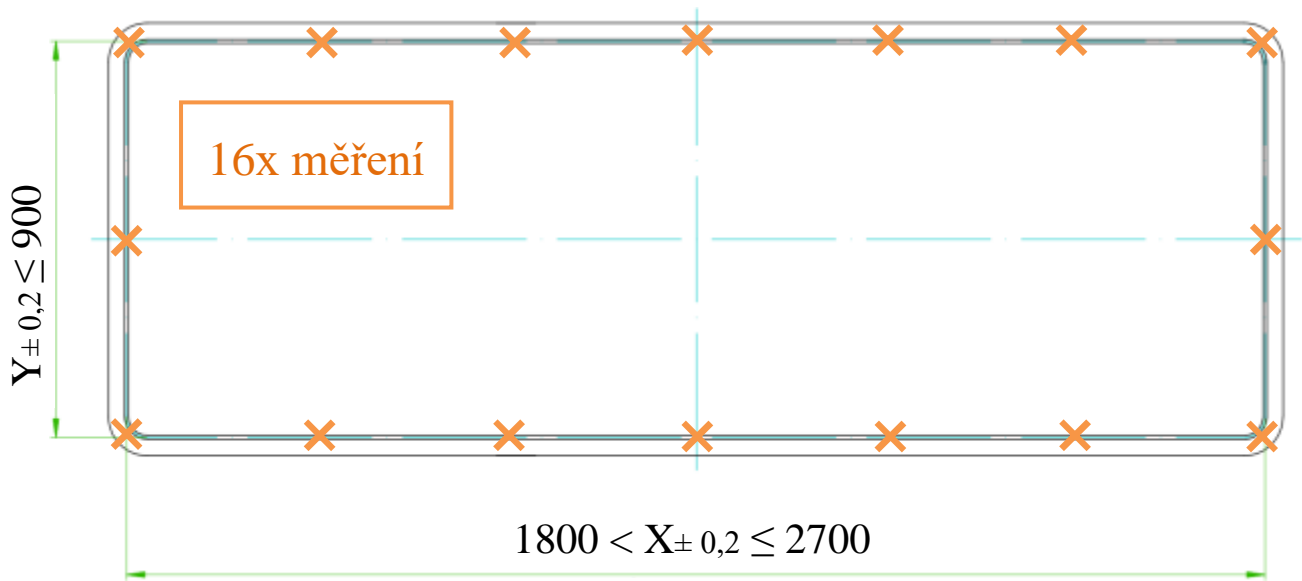
Schémata s vyznačenými body měření jsou zhotovena podle možných variant z výše popsaných podmínek v NC kódu. Následují 4 zbylé varianty.



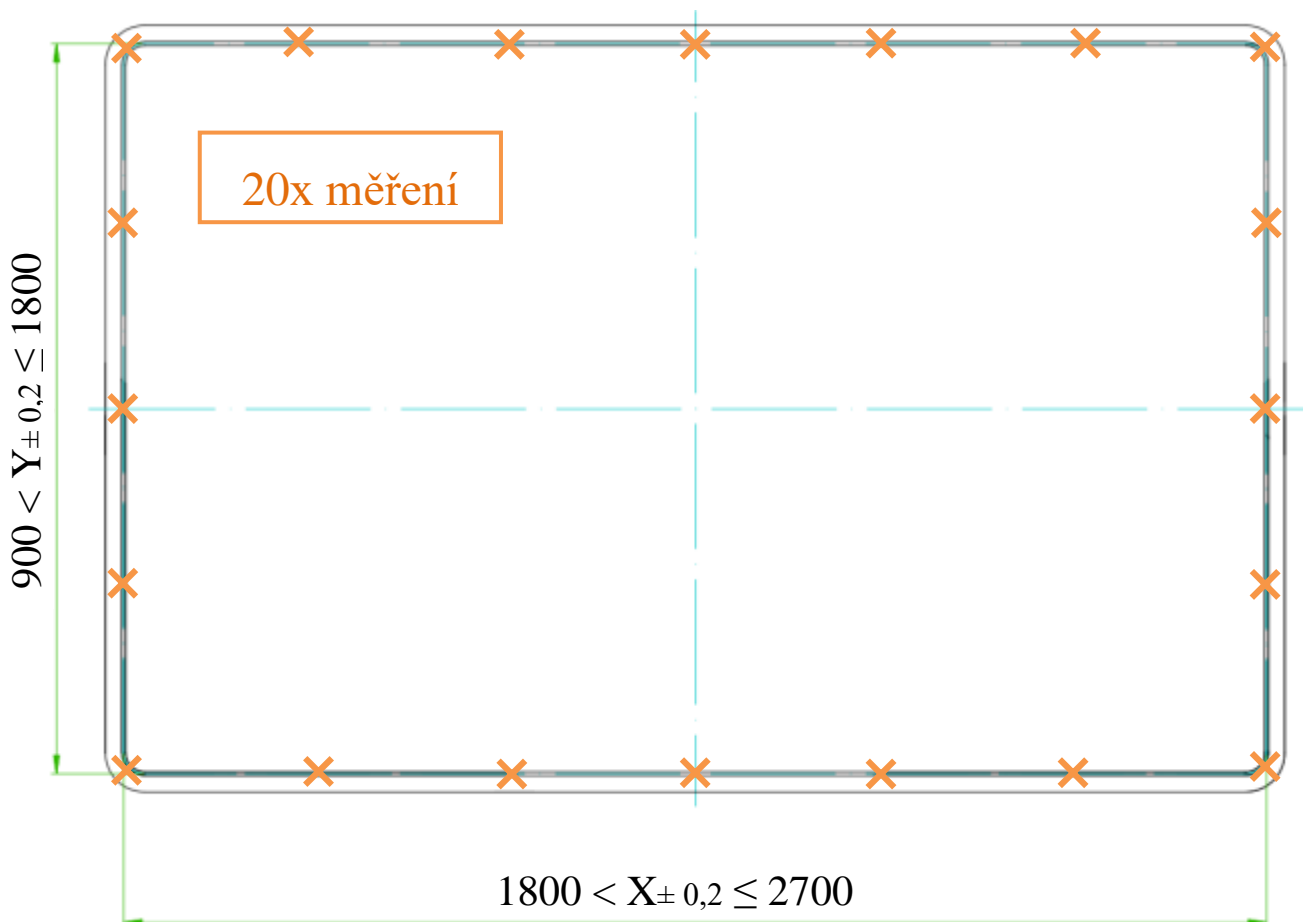
Obr. 366: Schéma měřených bodů pro velikost X do 1800 mm a Y do 900 mm



Obr. 35: Schéma měřených bodů pro velikost XY do 1800 mm



Obr. 38: Schéma měřených bodů pro velikost X do 2700 mm a Y do 900 mm



Obr. 37: Schéma měřených bodů pro velikost X do 2700 mm a Y do 1800 mm



## Kontrola naměřených výsledků

Po provedení měření, s pomocí výše popsaného NC podprogramu, následuje v hlavním programu další vyvolání nového NC podprogramu. Tento další podprogram je zaměřen pouze na kontrolu naměřených hodnot, především proto, aby se předešlo chybnému umístění obrobku nebo příliš velké upínací síle a následnému prohnutí obrobku. Případně aby se předešlo dalšímu nežádoucímu vlivu, který by způsobil příliš velkou nerovnost na upnutém obrobku.

Kontrola probíhá porovnáním všech nositelů výsledků měření, tedy parametrů R171 až R190, se zvoleným koeficientem představujícím maximální možnou odchylku od nulového bodu obrobku pro osu „Z“. Hodnota koeficientu byla zvolena 0,6 mm.

Jednotlivé porovnání jsou vytvořeny s pomocí rozhodovacích podmínek s použitím programové smyčky IF. Jejich princip je popsán výše v návrhu řešení. Následuje ukázka části toho kontrolního podprogramu.

```
;
% N_L_B1_01_SPF
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_1_MERENI_WPD
; (KONTROLA_VYSLEDKU_MERENI)
IF (R171>=0.6) OR (R171<=-0.6)
GOTO CHYBA
ENDIF
IF (R172>=0.6) OR (R172<=-0.6)
GOTO CHYBA
ENDIF
IF (R173>=0.6) OR (R173<=-0.6)
GOTO CHYBA
ENDIF
IF (R174>=0.6) OR (R174<=-0.6)
GOTO CHYBA
ENDIF
IF (R175>=0.6) OR (R175<=-0.6)
GOTO CHYBA
ENDIF
```

Vyznačená část se opakuje pro všechny parametry s naměřenými hodnotami. V případě, že podmínka není splněna, tak následuje čtení totožné podmínky s následujícím parametrem a vyhodnocením, dokud se čtení programu nedostane na úplný konec, kde je ukončen skokem na „KONEC“ pro přeskočení části s informací chyby. Následně se čtení vrací zpět do hlavního NC programu. V případě, že podmínka je splněna, tak následuje programový skok na návěští „CHYBA“.

```
GOTOF KONEC  
;  
CHYBA:  
MSG ("ODCHYLKA JE >= +-0.6mm ZKONTROLUJ UPNUTI")  
M0  
MSG ()  
KONEC:  
N10 M17  
;
```

V blocích pod návěstím „CHYBA“ následuje zpráva která se zobrazí na obrazovce stroje pro obsluhu a příkazem „M0“ se další čtení programu zastaví. V předchozí části programu je zobrazeno i návěstí „KONEC“ pro přeskočení zprávy o chybě. Pokud je čtení pozastaveno se zobrazenou zprávou, tak obsluha v tomto případě může zkontrolovat upnutí obrobku nebo naměřené hodnot v tabulce pro zjištění, jakých hodnot nabývají ostatní proměnné nebo v jakých místech a jakým směrem je obrobek zakřivený. Směr představují kladné nebo záporné hodnoty.

### Úprava NC programu pro obrobení

Pro tyto varianty schémat bylo nutné upravit původní podprogram dráhy drážky s kopírováním křivosti, a to z důvodu odlišného počtu použití R-parametrů. Bylo tedy vytvořeno pět podprogramů pro pět variant.

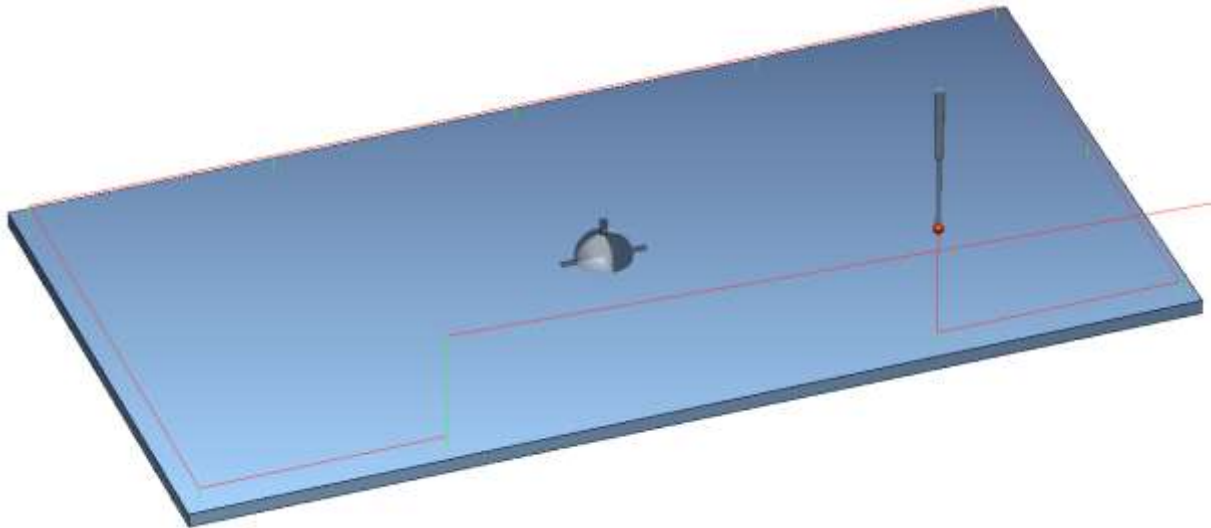
V následující ukázce kódu je zobrazena pátá varianta s největšími rozměry drážky a nejpočetnějšími body měření. Tomuto kódu musí také předcházet rozhodovací podmínky podle velikosti rozměrů, které jsou totožné jako výše zmíněné rozhodovací podmínky pro výběr měření.

```
;
XDO27YDO18:
N10 G0 G40 X0 Y-- (R54/2)
N20 Z5
N30 G1 Z=R19+R171 OVR=10
N40 CFIN
N50 G64 X-- (R53/2/3) Y-- (R54/2) Z=R19+R172 OVR=100
N50 X-- (R53/2*2/3) Y-- (R54/2) Z=R19+R173
N50 X-- (R53/2-R55) Y-- (R54/2) Z=R19+R174
N60 G2 X-- (R53/2) Y-- (R54/2-R55) CR=R55
N60 G1 X-- (R53/2) Y-- (R54/2/2) Z=R19+R175
N70 X-- (R53/2) Y0 Z=R19+R176
N80 X-- (R53/2) Y=(R54/2/2) Z=R19+R177
N80 X-- (R53/2) Y=(R54/2-R55) Z=R19+R178
N90 G2 X-- (R53/2-R55) Y=(R54/2) CR=R55
N90 G1 X-- (R53/2*2/3) Y=(R54/2) Z=R19+R179
N90 X-- (R53/2/3) Y=(R54/2) Z=R19+R180
N100 X0 Y=(R54/2) Z=R19+R181
N110 X=(R53/2/3) Y=(R54/2) Z=R19+R182
N110 X=(R53/2*2/3) Y=(R54/2) Z=R19+R183
N110 X=(R53/2-R55) Y=(R54/2) Z=R19+R184
N120 G2 X=(R53/2) Y=(R54/2-R55) CR=R55
N120 G1 X=(R53/2) Y=(R54/2/2) Z=R19+R185
N130 X=(R53/2) Y0 Z=R19+R186
N140 X=(R53/2) Y-- (R54/2/2) Z=R19+R187
N140 X=(R53/2) Y-- (R54/2-R55) Z=R19+R188
N150 G2 X=(R53/2-R55) Y-- (R54/2) CR=R55
N150 G1 X=(R53/2*2/3) Y-- (R54/2) Z=R19+R189
N150 X=(R53/2/3) Y-- (R54/2) Z=R19+R190
N160 X0 Y-- (R54/2) Z=R19+R171
GOTOF KONEC
;
```

Podprogram s rozhodovacími podmínkami a se všemi variantami drah drážek musí být umístěn v NC programu pro obrábění při předchozím použití měřicího hlavního programu. Výše vyznačené souřadnice odpovídají příslušným souřadnicím z měření kromě souřadnici v ose „Z“, která je zde vypočtena podle požadované hloubky frézování a naměřené nerovnosti povrchu.

### Kontrola za pomoci simulace

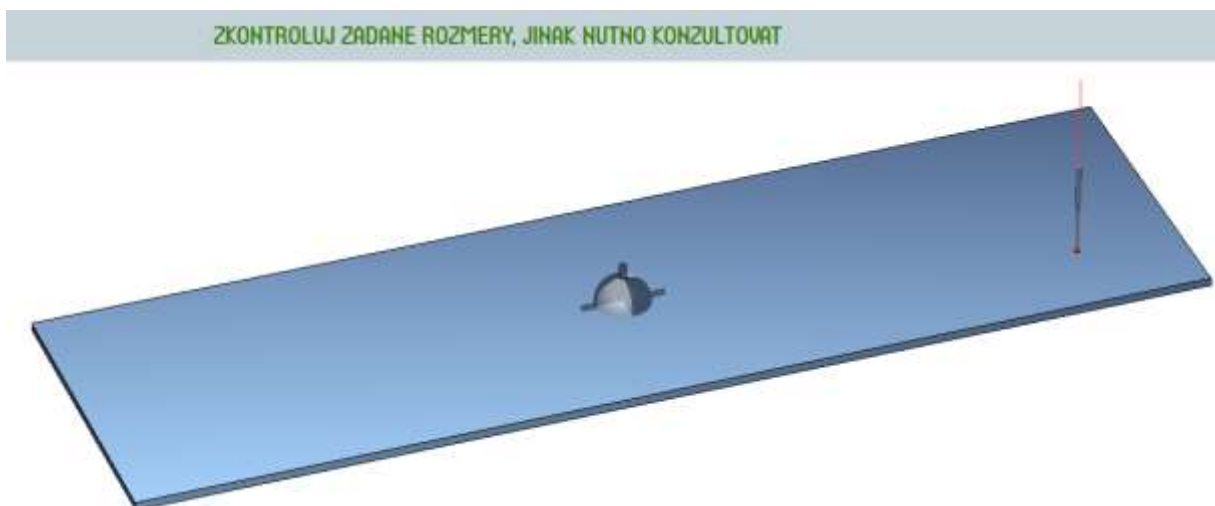
Pro ověření, zda NC program pro měření a upravený podprogram pro dráhu nástroje fungují správně byla využita simulace stroje v softwaru Sinutrain. V této simulaci sice neprobíhá reálné měření, ale lze v ní ověřit správnost syntaxe ISO kódu a správnost vypočtených měřených souřadnic a souřadnic proměnné dráhy nástroje pro drážku.



**Obr. 380:** Simulace měřicího cyklu se správnými zadanými hodnotami

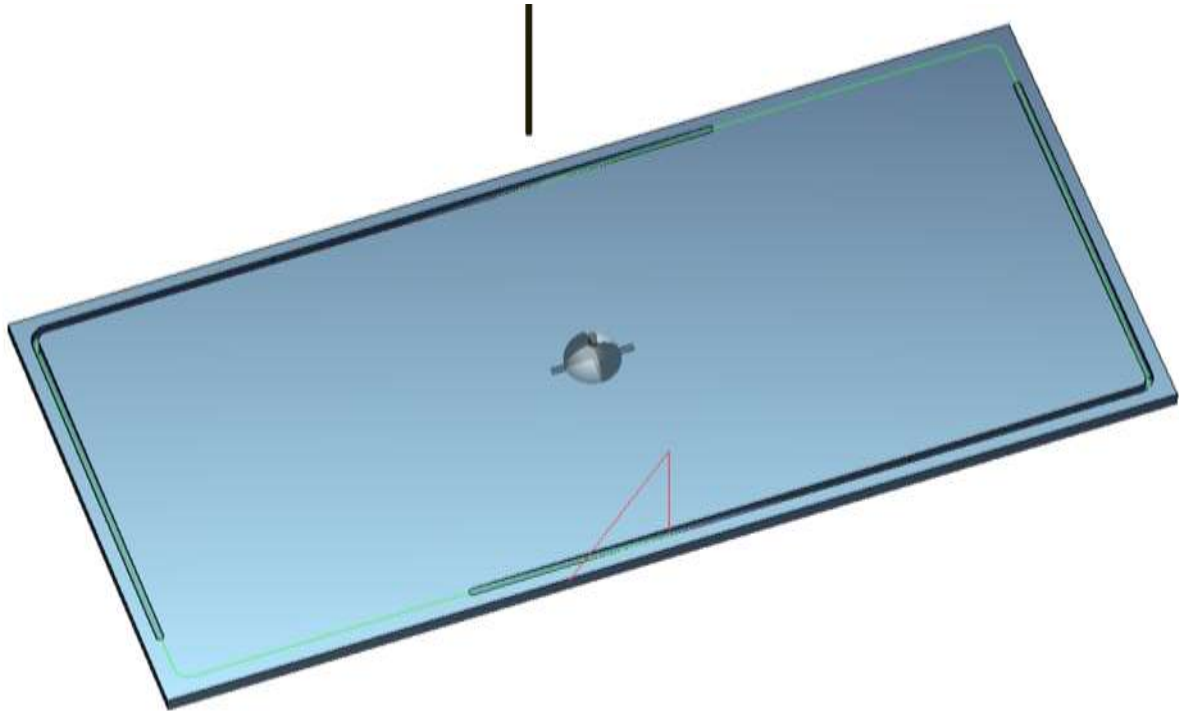
Na Obr. 40: Simulace měřicího cyklu se správnými zadanými hodnotami je zobrazen výsledek simulace v Sinutrainu. Tato simulace měla zadané hodnoty pro osu „X“ 1500 mm a pro osu „Y“ 750 mm. Je viditelné, že podmínka a výpočet měřených bodů byly uskutečněny dle požadavku.

Na následujícím obrázku ze simulace je zobrazen překročený maximální limit velikosti součásti pro osu „X“. Sonda dle napsaného NC programu nic neměřila a na obrazovce se zobrazila příslušná zpráva pro obsluhu.



**Obr. 41:** Simulace měřicího cyklu se špatně zadanými hodnotami

Kontrola dráhy nástroje dle upraveného podprogramu byla provedena také za pomoci simulace a opět proběhla úspěšně. Nástroj se pohyboval dle požadavku. Samozřejmě byla vyzkoušena i varianta s odlišnými hodnotami R-parametrů pro změnu hloubky dráhy nástroje. Parametry byly přepsány přímo v samotné tabulce parametrů.



**Obr. 392: Simulace podprogramu dráhy nástroje s výrazně odlišnou hodnotou R-parametrů**

Simulace NC programů pro měření tak i pro dráhu nástroje byly testovány s různými variantami vstupních parametrů velikosti drážky, aby se ověřilo, zda jsou všechny požadované varianty správně realizovány.

### **Shrnutí**

Varianta řešení byla vytvořena parametricky, aby bylo možné použít NC programu i pro součásti s odlišnými rozměry vzhledem ke kusové výrobě. Testování v simulaci potvrdilo funkčnost měřicí i obráběcí části NC programu včetně kontrolních opatření, která mají zabránit některým nežádoucím následkům. Celý NC měřicí program je součástí přílohy č.2.

## 5 Hodnocení zvoleného řešení

Hodnocení zvoleného řešení bude provedeno pro každou součást zvlášť z důvodu příliš velké odlišnosti těchto dvou součástí. V diplomové práci bylo zohledněno více variant řešení, ale realizováno bylo pouze jedno pro každou součást. Druh a provedení řešení byly zvoleny tak, aby byly pro danou součást co nejvýhodnější.

### 5.1 Součást 1

Pro součást 1 bylo zvoleno řešení formou kombinace CAM softwaru a ručního programování. Řešení bylo realizováno pouze pro jednu konkrétní součást. CAM software byl využit pro generování posunutí nulových bodů včetně naklopení úhlové hlavy.

První varianta zahrnovala očekávané generování otočení rotačního stolu. Kvůli generování kódu bez reálného otočení stolu a s chybně generovaným naklopením hlavy však nebylo možné tento způsob plně využít. Rozhodlo se neopouštět od využití CAM softwaru, a proto musela být součást programově rozdělena na dvě poloviny. Bylo nutné pracovat se dvěma nulovými body, které jsou vzájemně otočeny o 180°. Generování cyklu 800, zahrnující posunutí a naklopení nulového bodu, bylo prováděno pro každou polovinu zvlášť. Vygenerovaný kód musel být významně doplněn a upraven dalšími příkazy, cykly a podmínkami, aby byl program funkční a zohledňoval i navazující obráběcí operace. V závěrečné fázi, při simulaci NC programu v Sinutrainu, bylo zjištěno chybové hlášení formou alarmu. Tento alarm se nadále zobrazoval i při spuštění NC programu na CNC stroji. Následnými zkouškami bylo zjištěno, že měřicí cyklus nemůže být spuštěn při použití příkazu pro otáčení souřadnicového systému AROT RPL. Tento příkaz je generován společně s cyklem 800.

NC program je v této fázi nepoužitelný, ale v rámci následující spolupráce s firmou bude předmětem změna zmíněný nežádoucí příkaz nebo jednání s dodavatelem postprocessoru o případné úpravě. NC program je strukturován správně a po vyřešení popsáného problému může být použit jako vzor nebo šablona pro obdobné součásti. Tento vytvořený NC program by měl znatelně usnadnit práci a ušetřit čas obsluze stroje oproti předchozímu řešení.

### 5.2 Součást 2

Zvolené řešení návrhu pro součást 2 bylo provedeno ručním programováním. NC program je zparametrizovaný, a lze jej tedy použít pro rozměrově odlišné kusy této typové součásti. Parametrizace NC programu se jevila jako výhodné řešení vzhledem k odlišnostem v součástech způsobeným pouze změnou velikosti drážky v jedné nebo obou osách.

Vzhledem k možnosti použití programu pro různé velikosti součástí bylo nutné měnit i počet měřených bodů tak, aby vzdálenost mezi nimi nebyla příliš velká a křivost plochy byla dostatečně zaznamenána. To vedlo k tomu, že je NC program dlouhý. Pro zajištění použitelnosti byl vytvořen podprogram pro dráhu nástroje s takovými variantami, aby odpovídaly počtu měřených bodů. Program byl opatřen kontrolními částmi, které hlídají některá vstupní i výstupní data, aby se předešlo některým nežádoucím následkům. Kontrola probíhala v simulaci Sinutrain a program byl vyzkoušen pro různé rozměry, pro integraci měřených dat do obrábění a pro kontrolní hlášení chyb ve vstupních a výstupních datech.

NC program je připravený pro použití na CNC stroji a měl by výrazně ušetřit čas oproti předchozímu řešení. Dále usnadní obsluhu stroje práci s měřením a vyhodnocováním výstupních dat.

## 6 Závěr

Cílem diplomové práce bylo vytvoření návrhů využití inprocesního měření obrobkovou sondou na NC stroji pro společnost Streicher, spol. s r.o. Plzeň. Návrhy měly být zhotoveny pro dvě rozdílné typové součásti a měly zohledňovat více variant. NC programy byly vytvořeny pro řídicí systém Sinumerik a byl využit i CAM systém. Cílem bylo zahrnutí měření přímo v NC programu s minimální nutností zásahu obsluhy stroje. Předpokládalo se snížení času na NC stroji při využití obrobkové sondy a zahrnutí kontroly naměřených nebo vstupních dat tam, kde je to vhodné.

Následující kapitola diplomové práce se zabývá analýzou současného stavu dvou vybraných součástí a rozbořem jejich prvků k řešení. Nejprve jsou popisovány CNC horizontální stroje, jejich softwarové řízení a příslušenství, mezi které patří obrobkové sondy, úhlová hlava a rotační stůl. Následuje popis CAM softwaru, postprocesoru a proměnných a parametrů, včetně jejich použití. Dále jsou zahrnuty měřicí cykly, především cyklus 978, který byl využíván v této práci. Závěr této části práce je věnován oběma vybraným součástem, zahrnující jejich charakteristiku, polotovary, současný stav zpracování a odůvodnění požadovaného využití měření.

V další kapitole jsou zahrnuty návrhy řešení a realizace jednoho vhodného návrhu pro každou součást. V návrhu řešení byly zohledněny tři základní varianty pro realizaci NC měřicího programu. První variantou bylo plné využití CAM softwaru, ale toto řešení nebylo možné realizovat kvůli nevhodnému postprocesoru. Ten neumožňoval generování měřicích cyklů, a tudíž nemohl vytvořit kompletní NC program s měřením.

Druhou variantou byla kombinace CAM softwaru a ručního programování. Díky této kombinaci mohl být snadno doplněn měřicí cyklus s příslušnými parametry pro přenos a uchování měřených výsledků do NC programu. Tento návrh byl realizován pro součást 1, která má na své zaoblené části (dno trubky) několik svařovaných dílců a povrch je významně deformován. Na této části jsou kruhové kapsy s hloubkou 2 mm, což je vzhledem ke křivosti povrchu obtížně vyrobitelná předchozím způsobem. Při realizaci řešení bylo zjištěno, že postprocesor má problém s generováním kódu při otočení stolu a vřeteno úhlové hlavy směřovalo ke stroji, což je pro zvolené stroje technicky nemožné. Muselo se přistoupit k variantě, která programově rozdělovala součást na dvě poloviny, a rotace stolu musela být zahrnuta v rámci nulového bodu obrobku. Součást 1 byla tedy programována na dvě poloviny, což umožnilo správné generování natočení úhlové hlavy v cyklu 800. Po dokončení programu byl v simulaci zjištěn alarm, který se potvrdil i na stroji. Výsledkem dalšího testování byl nedovolený příkaz pro měřicí cyklus. Tento příkaz pro otáčení souřadnicového systému AROT RPL generuje postprocesor společně s cyklem 800. Měřicí program pro součást 1 je strukturovaný správně, a změna nebo nahrazení problematického příkazu, nebo jednání s dodavatelem postprocesoru o této problematice, bude předmětem další spolupráce se společností Streicher.

Poslední, třetí variantou návrhu je pouze ruční programování, které bylo realizováno pro součást 2. Parametrizace měřicího programu pro měření křivosti plochy, kde je umístěna tvarová drážka, se nabízela jako výhodné řešení z hlediska změn velikosti v závislosti na délce drážky. Bylo nutné zahrnout i odlišné počty měřených bodů v závislosti na délce drážky. Proto musel být NC měřicí program doplněn o více variant velikostí s rozhodovacími podmínkami. Pro použití naměřených hodnot pro obrábění s odlišnými variantami měřených bodů bylo potřeba vytvořit stejné varianty i pro dráhu nástroje s kopírováním křivosti plochy dle naměřených hodnot. NC měřicí program obsahuje části zajišťující kontrolu některých vstupních a výstupních dat. Celý NC program byl testován v simulaci Sinutrain, kde byly ověřeny odlišné velikostní varianty součásti včetně použití pro frézování drážky s proměnou hloubkou a ověření chybných hlášení. NC měřicí program pro součást 2 doposud nebyl vyzkoušen ve výrobě z důvodu naplánovaných jiných zakázek.

V další kapitole se nachází hodnocení zvoleného řešení. Hodnocení bylo provedeno pro realizovanou řešení každé součásti. NC měřicí program pro součást 1 je zhotovený správným způsobem, přestože nelze v současné chvíli použít na CNC stroji vlivem generovaného příkazu z CAM systému, který nedovoluje spuštění měřicího cyklu. V rámci další spolupráce s firmou Streicher bude tento problém řešen, ať už z hlediska nahrazení tohoto příkazu nebo jednání s dodavatelem postprocesoru o úpravách. Součást 2 má NC měřicí program zhotovený parametrizovaně. To zamezuje opakované tvorbě tohoto programu a po odladění na stroji bude zajišťovat spolehlivost. Program je testovaný v simulátoru Sinutrain s různými vstupními daty. Předpokládá se, že funkčnost celého NC programu pro součást 2 včetně obráběcí části je správná.

Řešení pro součást 1 bude nadále v procesu jednání s dodavatelem postprocesoru, přestože je NC program strukturován správně a může fungovat jako vzor nebo šablona pro součásti s obdobnou problematikou. NC program pro součást 2 je připravený pro aplikaci na CNC stroji. Pro obě řešení se předpokládá významné ušetření času, práce obsluhy stroje a zajištění vyšší přesnosti, včetně omezení chyb vlivem lidského faktoru.



## 7 Seznam použitých zdrojů

- [1] STREICHER, SPOL S R O, Plzeň. Profil společnosti [online]. [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://www.streicher-machinery.cz/nase-spolecnost/profil-spolecnosti>
- [2] SOLARUCE. Products [online]. [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://www.soraluce.com/en/slp-milling-machine>
- [3] SOLARUCE. Products [online]. [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://www.soraluce.com/en/fl-floor-type-milling-machine>
- [4] SOLARUCE. Products [online]. [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://www.soraluce.com/en/fs-floor-type-milling-machine>
- [5] MEDIAKOM: Renishaw [online]. 15. únor 2021 [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://www.mediakom.cz/post/proc-sonda-renishaw-cnc-stroje>
- [6] RENISHAW: RMP60 – rádiová sonda pro obráběcí stroje. Katalogový list. 2010.
- [7] SORALUCE. *Automatic universal heads* [online]. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.soraluce.com/en/universal-head>
- [8] SINUMERIK 840D sl & SINAMICS. [online]. Technický týdeník. 2013. [cit. 2024-05-22]. Dostupné také z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/sinumerik-840d-sl-sinamics-komplexni-cnc-reseni\\_21942.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/sinumerik-840d-sl-sinamics-komplexni-cnc-reseni_21942.html)
- [9] SINUMERIK 840. [online]. Siemens. 2024. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/cnc-sinumerik/automation-systems/sinumerik-840.html>
- [10] RENISHAW. *Standard-accuracy machine tool touch probes*. [online]. 2024. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.renishaw.com/en/standard-accuracy-machine-tool-touch-probes--32926>
- [11] DEUTSCHE INDUSTRIE-NORM. DIN 28011:2012-06, *Gewölbte Böden – Klöpferform*. 2012.
- [12] DEUTSCHE INDUSTRIE-NORM. DIN 28013:2012-06, *Gewölbte Böden – Korbbogenform*. 2012.
- [13] *Klöpferboden nach DIN 28011*. [online]. 2012. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/de/document/read/573368/lagerboden-aus-edelstahl-schubarth-co-ag>
- [14] LEINVEBER, Jiří a VÁVRA, Pavel. In: *Strojnické tabulky*. Šestá vydání. Albra, 2019, s. 138. ISBN ISBN 978-80-7361-111-8.
- [15] LEINVEBER, Jiří a VÁVRA, Pavel. In: *Strojnické tabulky*. Šestá vydání. Albra, 2019, s. 135. ISBN ISBN 978-80-7361-111-8.
- [16] RENISHAW. *Systémy pro snímání a měření nástrojů pro obráběcí stroje*. [online]. 2024. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.renishaw.com/cs/systemy-pro-snimani-a-mereni-nastroju-pro-obrabeci-stroje--6073>
- [17] SMART LATHE. *The Significance of CAM Post Processors and the Most Popular Post Processors*. [online]. 2021. [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.smartlathe.com/blogs-1/the-significance-of-cam-post-processors-and-the-most-popular-post-processors>

- [18] *Využití parametrického programování pro optimalizaci výroby typového výrobku.* [online], Bakalářská práce. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2022. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/48870/1/Bakalarska%20prace%20%20Slavicek.pdf>. [cit. 2024-05-22].
- [19] SINUMERIK. *Sinumerik 840D sl / 828D Pro pokročilé: Programovací příručka.* 2011.
- [20] SINUMERIK. *840D sl / 828D Měřicí cykly: Programovací příručka.* 2015.

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1 – NC program pro součást 1

Příloha č. 2 – NC program pro součást 2

## **PŘÍLOHA č. 1**

### **NC program pro součást 1**

```
%_N_A1_MPF
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_DYNKO_UNI_01_WPD
; NAZEV : MERENI SCUBEDOOR UNI
; STROJ : FS10000
;
; UPNUTI:
; OPRACOVANOU PRIRUBOU POLOZIT NA STRED OTOCNEHO STOLU
; 0st KE STROJI PRO G54
; 180st KE STROJI PRO G55
;
; G54 - 0st KE STROJI
;
; X0 - OSA KUSU
; Y0 - OSA KUSU
; Z0 - SPODNI CISTA PLOCHA PRIRUBY
; B0
; =====
; G55 - 180st KE STROJI
;
; X0 - OSA KUSU
; Y0 - OSA KUSU
; Z0 - SPODNI CISTA PLOCHA PRIRUBY
; B0 = B0[G54] + 180
;
; (===== DEFINICE =====)
DEF INT WKZ[5]
; (===== NASTROJE =====)
WKZ[1]="SONDA" ; (SONDA)
WKZ[2]=3 ; (FREZA D6 TVR)
; (=====)
;
N10 WP=1000 ; (ODJETI X NA VYMENU)
N20 R60=1000 ; POLOHA Y PRO OTOCENI HLAVY
N30 G0 G17 G54
N40 WEPU
;
; (MERIT POVRCH)
N50 T=WKZ[1]
N60 L6 ; (SONDA)
N70 G54 B=DC(0); POLOHA G54
N80 G0 Z200
N90 BCY="CYC978"
N100 L_B1_00
N110 R198=0 ; R198=0 - BEZ OTACEK
N120 L_B1_01
N130 ODJETI_H
N140 G0 Y=R60
N150 G55 B=DC(0) ; POLOHA G55
N160 L_B1_02
N170 ODJETI_H
N180 G0 Y=R60
N190 WEPU
;
; (FREZOVAT KAPSY)
N200 T=WKZ[2]
N210 L6 ; (FREZA D6 TVR)
N220 RADIUS(1,0)
N230 R10=100 ; rovina odjeti
```

```
N240 R12=0 ; rovina materialu
N250 R2=5 ; bezpecna vzdalenost
N260 R19=-2 ; hloubka absolutne
N270 R30=11 ; konecny D
N280 R31=0.3 ; max. triska v Z/na objeti kruhu
N290 UNT1="VRT_FR" BCY="L_B1_03"
N300 G54 B=DC(0) ; POLOHA G54
N310 R198=1 ; R198=1 - ZAPNUTI OTACEK
N320 L_B1_01
N330 ODJETI_H
N340 G0 Y=R60
N350 G55 B=DC(0) ; POLOHA G55
N360 L_B1_02
N370 ODJETI_H
N380 G0 Y=R60
N390 WEPU
;
N400 T0
N410 L6
N420 M30
;
% N_CYC978_SPF
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_DYNKO_UNI_01_WPD
N10 PROC CYC978 DISPL0F
N20 MCALL CYCLE978(0,,,1,0,25,10,3,2,1,"",,0,1.01,1.01,-1.01,,,,,1,1)
N30 R199=0
N40 ODJETI_H
N50 G0 Y=R60
N60 M17
;
% N_L_B1_00_SPF
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_DYNKO_UNI_01_WPD
; (NULOVANI PARAMETRU)
N10 R200=0 R201=0 R202=0 R203=0 R204=0 R205=0 R206=0 R207=0 R208=0
R209=0 R210=0
N20 R211=0 R212=0 R213=0 R214=0 R215=0 R216=0 R217=0 R218=0 R219=0
R220=0 R221=0
N30 R222=0 R223=0 R224=0 R225=0 R226=0
N40 M17
;
% N_L_B1_01_SPF
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_DYNKO_UNI_01_WPD
; (KRUHOVE KAPSY - POSUNUTI NUL. B. + HLAVA - G54)
N10 ODJETI_H
N20 G0 Y=R60
N30
CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,211.733,681.378,37.372,169.883,88.226,
0,0,0,R200,-1,100,1)
N40 AROT RPL=-14.185 ;Dev.
N50 G0 Z200
N60 L_B1_04
N70 IF R199==0
N80 R200=_OVR[4]
N90 ENDIF
N100 ROT
N110 ODJETI_H
N120 G0 Y=R60
N130 WEPU
```

```
N140
CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,138.199,681.378,164.737,173.357,82.151
,0,0,0,R201,-1,100,1)
N150 AROT RPL=-29.355 ;Dev.
N160 G0 Z200
N180 L_B1_04
N190 IF R199==0
N200 R201=_OVR[4]
N210 ENDIF
N220 ROT
N230 ODJETI_H
N240 G0 Y=R60
N250 WEPU
N260
CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,37.334,681.378,211.771,178.198,79.888,
0,0,0,R202,-1,100,1)
N270 AROT RPL=-33.129 ;Dev.
N280 G0 Z200
N290 L_B1_04
N300 IF R199==0
N310 R202=_OVR[4]
N320 ENDIF
N330 ROT
N340 ODJETI_H
N350 G0 Y=R60
N360 WEPU
N370 CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,-37.334,681.378,211.771,1.802,-
79.889,0,0,0,R203,-1,100,1)
N380 AROT RPL=146.871 ;Dev.
N390 G0 Z200
N400 L_B1_04
N410 IF R199==0
N420 R203=_OVR[4]
N430 ENDIF
N440 ROT
N450 ODJETI_H
N460 G0 Y=R60
N470 WEPU
N480 CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,-138.199,681.378,164.737,6.643,-
82.151,0,0,0,R204,-1,100,1)
N490 AROT RPL=150.645 ;Dev.
N500 G0 Z200
N510 L_B1_04
N520 IF R199==0
N530 R204=_OVR[4]
N540 ENDIF
N550 ROT
N560 ODJETI_H
N570 G0 Y=R60
N580 WEPU
N590 CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,-211.733,681.378,37.372,10.117,-
88.226,0,0,0,R205,-1,100,1)
N600 AROT RPL=165.815 ;Dev.
N610 G0 Z200
N620 L_B1_04
N630 IF R199==0
N640 R205=_OVR[4]
N650 ENDIF
```

```
N660 ROT
N670 ODJETI_H
N680 GO Y=R60
N690 WEPU
N700
CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,517.023,580.428,91.203,154.536,85.665,
0,0,0,R206,-1,100,1)
N710 AROT RPL=-22.019 ;Dev.
N720 GO Z200
N730 L_B1_04
N740 IF R199==0
N750 R206=_OVR[4]
N760 ENDIF
N770 ROT
N780 ODJETI_H
N790 GO Y=R60
N800 WEPU
N810
CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,337.463,580.428,402.211,162.734,70.52,
0,0,0,R207,-1,100,1)
N820 AROT RPL=-45.009 ;Dev.
N830 GO Z200
N840 L_B1_04
N850 IF R199==0
N860 R207=_OVR[4]
N870 ENDIF
N880 ROT
N890 ODJETI_H
N900 GO Y=R60
N910 WEPU
N920
CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,179.56,580.428,493.376,170.609,65.854,
0,0,0,R208,-1,100,1)
N930 AROT RPL=-49.64 ;Dev.
N940 GO Z200
N950 L_B1_04
N960 IF R199==0
N970 R208=_OVR[4]
N980 ENDIF
N990 ROT
N1000 ODJETI_H
N1010 GO Y=R60
N1020 WEPU
N1030 CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,0,580.428,525.037,0,-
64.194,0,0,0,R209,-1,100,1)
N1040 AROT RPL=128.846 ;Dev.
N1050 GO Z200
N1060 L_B1_04
N1070 IF R199==0
N1080 R209=_OVR[4]
N1090 ENDIF
N1100 ROT
N1110 ODJETI_H
N1120 GO Y=R60
N1130 WEPU
N1140 CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,-179.56,580.428,493.376,9.391,-
65.854,0,0,0,R210,-1,100,1)
N1150 AROT RPL=130.36 ;Dev.
```



```
N1160 G0 Z200
N1170 L_B1_04
N1180 IF R199==0
N1190 R210=_OVR[4]
N1200 ENDIF
N1210 ROT
N1220 ODJETI_H
N1230 G0 Y=R60
N1240 WEPU
N1250 CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,-
337.463,580.428,402.211,17.266,-70.52,0,0,0,R211,-1,100,1)
N1260 AROT RPL=134.991 ;Dev.
N1270 G0 Z200
N1280 L_B1_04
N1290 IF R199==0
N1300 R211=_OVR[4]
N1310 ENDIF
N1320 ROT
N1330 ODJETI_H
N1340 G0 Y=R60
N1350 WEPU
N1360 CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,-517.023,580.428,91.203,25.464,-
85.665,0,0,0,R212,-1,100,1)
N1370 AROT RPL=157.981 ;Dev.
N1380 G0 Z200
N1390 L_B1_04
N1400 IF R199==0
N1410 R212=_OVR[4]
N1420 ENDIF
N1430 ROT
N1440 ODJETI_H
N1450 G0 Y=R60
N1460 WEPU
N1470 M17
;
%_N_L_B1_02_SPF
;$PATH=/_N_WKS_DIR/_N_DYNKO_UNI_01_WPD
;(KRUHOVE KAPSY - POSUNUTI NUL. B. + HLAVA - G55)
N10 ODJETI_H
N20 G0 Y=R60
N30
CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,202.033,681.378,73.496,170.338,86.504,
0,0,0,0,-1,100,1)
N40 AROT RPL=-19.818 ;Dev.
N50 G0 Z200
N60 L_B1_04
N70 IF R199==0
N80 R213=_OVR[4]
N90 ENDIF
N100 ROT
N110 ODJETI_H
N120 G0 Y=R60
N130 WEPU
N140
CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,164.699,681.378,138.161,172.099,83.42,
0,0,0,0,-1,100,1)
N150 AROT RPL=-26.965 ;Dev.
N160 G0 Z200
```

```
N170 L_B1_04
N180 IF R199==0
N190 R214=_OVR[4]
N200 ENDF
N210 ROT
N220 ODJETI_H
N230 GO Y=R60
N240 WEPU
N250
CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,73.534,681.378,201.995,176.454,80.356,
0,0,0,0,-1,100,1)
N260 AROT RPL=-32.391 ;Dev.
N270 GO Z200
N280 L_B1_04
N290 IF R199==0
N300 R215=_OVR[4]
N310 ENDF
N320 ROT
N330 ODJETI_H
N340 GO Y=R60
N350 WEPU
N360 CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,-73.534,681.378,201.995,3.546,-
80.356,0,0,0,0,-1,100,1)
N370 AROT RPL=147.609 ;Dev.
N380 GO Z200
N390 L_B1_04
N400 IF R199==0
N410 R216=_OVR[4]
N420 ENDF
N430 ROT
N440 ODJETI_H
N450 GO Y=R60
N460 WEPU
N470 CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,-164.699,681.378,138.161,7.902,-
83.42,0,0,0,0,-1,100,1)
N480 AROT RPL=153.034 ;Dev.
N490 GO Z200
N500 L_B1_04
N510 IF R199==0
N520 R217=_OVR[4]
N530 ENDF
N540 ROT
N550 ODJETI_H
N560 GO Y=R60
N570 WEPU
N580 CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,-202.033,681.378,73.496,9.662,-
86.504,0,0,0,0,-1,100,1)
N590 AROT RPL=160.183 ;Dev.
N600 GO Z200
N610 L_B1_04
N620 IF R199==0
N630 R218=_OVR[4]
N640 ENDF
N650 ROT
N660 ODJETI_H
N670 GO Y=R60
N680 WEPU
```

```
N690
CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,517.023,580.428,91.127,154.536,85.665,
0,0,0,0,-1,100,1)
N700 AROT RPL=-22.019 ;Dev.
N710 G0 Z200
N720 L_B1_04
N730 IF R199==0
N740 R219=_OVR[4]
N750 ENDIF
N760 ROT
N770 ODJETI_H
N780 G0 Y=R60
N790 WEPU
N800
CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,454.662,580.428,262.461,157.278,77.428
,0,0,0,0,-1,100,1)
N810 AROT RPL=-36.721 ;Dev.
N820 G0 Z200
N830 L_B1_04
N840 IF R199==0
N850 R220=_OVR[4]
N860 ENDIF
N870 ROT
N880 ODJETI_H
N890 G0 Y=R60
N900 WEPU
N910
CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,337.463,580.428,402.134,162.734,70.52,
0,0,0,0,-1,100,1)
N920 AROT RPL=-45.009 ;Dev.
N930 G0 Z200
N940 L_B1_04
N950 IF R199==0
N960 R221=_OVR[4]
N970 ENDIF
N980 ROT
N990 ODJETI_H
N1000 G0 Y=R60
N1010 WEPU
N1020
CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,179.56,580.428,493.299,170.609,65.854,
0,0,0,0,-1,100,1)
N1030 AROT RPL=-49.64 ;Dev.
N1040 G0 Z200
N1050 L_B1_04
N1060 IF R199==0
N1070 R222=_OVR[4]
N1080 ENDIF
N1090 ROT
N1100 ODJETI_H
N1110 G0 Y=R60
N1120 WEPU
N1130 CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,-179.56,580.428,493.299,9.391,-
65.854,0,0,0,0,-1,100,1)
N1140 AROT RPL=130.36 ;Dev.
N1150 G0 Z200
N1160 L_B1_04
N1170 IF R199==0
```

```
N1180 R223=_OVR[4]
N1190 ENDF
N1200 ROT
N1210 ODJETI_H
N1220 GO Y=R60
N1230 WEPU
N1240 CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,-
337.463,580.428,402.134,17.266,-70.52,0,0,0,0,-1,100,1)
N1250 AROT RPL=134.991 ;Dev.
N1260 GO Z200
N1270 L_B1_04
N1280 IF R199==0
N1290 R224=_OVR[4]
N1300 ENDF
N1310 ROT
N1320 ODJETI_H
N1330 GO Y=R60
N1340 WEPU
N1350 CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,-
454.662,580.428,262.461,22.722,-77.428,0,0,0,0,-1,100,1)
N1360 AROT RPL=143.279 ;Dev.
N1370 GO Z200
N1380 L_B1_04
N1390 IF R199==0
N1400 R225=_OVR[4]
N1410 ENDF
N1420 ROT
N1430 ODJETI_H
N1440 GO Y=R60
N1450 WEPU
N1460 CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,39,-517.023,580.428,91.127,25.464,-
85.665,0,0,0,0,-1,100,1)
N1470 AROT RPL=157.981 ;Dev.
N1480 GO Z200
N1490 L_B1_04
N1500 IF R199==0
N1510 R226=_OVR[4]
N1520 ENDF
N1530 ROT
N1540 ODJETI_H
N1550 GO Y=R60
N1560 WEPU
N1570 M17
;
%_N_L_B1_03_SPF
;$PATH=/_N_WKS_DIR/_N_DYNKO_UNI_01_WPD
;(VYVOLANI UNT1)
N10 CALL UNT1
N20 R199=1
N30 M17
;
%_N_L_B1_04_SPF
;$PATH=/_N_WKS_DIR/_N_DYNKO_UNI_01_WPD
;(VYVOLANI BCY + OTACKY S PODMINKOU)
N10 IF R198==1
N20 S3300 F450 M3
N30 ENDF
N40 CALL BCY
```

N50 G0 X0 Y0  
N60 MCALL  
N70 M17  
;

## **PŘÍLOHA č. 2**

### **NC program pro součást 2**

```
%_N_B1_MPF
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_1_MERENI_WPD
; NAZEV : MERENI SCUBEDOOR UNI
; STROJ : FL12000/SLP8000
; PROGRAM : LUKAS SLAVICEK
;
; UPNUTI:
; DELSI STRANA DO MECH. OSY "X"
; MISTO VPICHU U STROJE "X0" A "Y-"
; MAX. ROZMER DVERI X2700 Y1800
;
; G54 - HLAVA SVISLE
;
; X0 - OSA KUSU
; Y0 - OSA KUSU
; Z0 - HORNÍ PLOCHA V MISTE VPICHU "X0" A "Y-"
; B0
;
; (-----PARAMETRY NAJIZDENI-----)
R53=750 ; ROZMER DRAZKY V OSE X
R54=400 ; ROZMER DRAZKY V OSE Y
;
N10 WP=1000 ; (ODJETI X NA VYMENU)
N20 R60=1000 ; POLOHA Y PRO OTOCENI HLAVY
N30 G0 G17 G54
N40 WEPU
;
; (MERIT POVRCH)
N50 T="SONDA"
N60 L6 ; (SONDA)
N70 HLV_D
N71 WORKPIECE(,"",,"BOX",112,-20,2,-80,-(R53/2+20),-
(R54/2+20),(R53/2+20),(R54/2+20))
N80 G0 Z200
N90 BCY="CYC978"
N100 L_B1_00
N110 L_B1_01
N120 ODJETI_H
N130 G0 Y=R60
N140 WEPU
;
N150 M0
;
N160 ;T0
N170 ;L6
N180 M30
;
%_N_CYC978_SPF
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_1_MERENI_WPD
N10 PROC CYC978 DISPL0F
N20 MCALL CYCLE978(0,,1,0,25,10,3,2,1,"",,0,1.01,1.01,-1.01,,,,,1,1)
N30 M17
;
%_N_HLV_D_SPF
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_1_MERENI_WPD
; HLAVA - VERTIKAL DOLU X-90
N10 ODJETI_H
N20 G0 Y=R60
```

```
IF STROJ_NUM==4
N30 CYCLE800(0,"AUTO_HEAD",100000,57,0,0,0,-90,0,0,0,0,0,1,100,1)
ELSE
N40 CYCLE800(0,"H200",100000,57,0,0,0,-90,0,0,0,0,0,1,100,1)
ENDIF
N50 M17
;
%_N_L_B1_00_SPF
; $PATH=/_N_WKS_DIR/_N_1_MERENI_WPD
; (VYPOCET POCTU MERENYCH BODU)
N10 R171=0 ; VYCHOZI BOD (VZDY NULA)
;
IF (R53<=900) AND (R54<=900)
GOTOF XYDO09
ENDIF
IF (R53<=1800) AND (R53>900) AND (R54<=900)
GOTOF XDO18YDO09
ENDIF
IF (R53<=1800) AND (R53>900) AND (R54<=1800)
GOTOF XYDO18
ENDIF
IF (R53<=2700) AND (R53>1800) AND (R54<=900)
GOTOF XDO27YDO09
ENDIF
IF (R53<=2700) AND (R53>1800) AND (R54<=1800)
GOTOF XDO27YDO18
ENDIF
IF (R53>2700) OR (R54>1800)
MSG ("ZKONTROLUJ ZADANE ROZMERY, JINAK NUTNO KONZULTOVAT")
M0
MSG ()
GOTOF KONEC
ENDIF
;
XYDO09:
N20 CALL BCY
N30 G0 X=-(R53/2) Y=-(R54/2)
N40 R172=_OVR[4]
N50 G0 X=-(R53/2) Y0
N60 R173=_OVR[4]
N70 G0 X=-(R53/2) Y=(R54/2)
N80 R174=_OVR[4]
N90 G0 X0 Y=(R54/2)
N100 R175=_OVR[4]
N110 G0 X=(R53/2) Y=(R54/2)
N120 R176=_OVR[4]
N130 G0 X=(R53/2) Y0
N140 R177=_OVR[4]
N150 G0 X=(R53/2) Y=-(R54/2)
N160 R178=_OVR[4]
N170 R179=0 R180=0 R181=0 R182=0 R183=0 R184=0 R185=0 R186=0 R187=0
R188=0 R189=0 R190=0
N290 MCALL
GOTOF KONEC
;
XDO18YDO09:
N300 CALL BCY
N310 G0 X=-(R53/2/2) Y=-(R54/2)
```



```
N320 R172=_OVR[4]
N330 G0 X=- (R53/2) Y=- (R54/2)
N340 R173=_OVR[4]
N350 G0 X=- (R53/2) Y0
N360 R174=_OVR[4]
N370 G0 X=- (R53/2) Y= (R54/2)
N380 R175=_OVR[4]
N390 G0 X=- (R53/2/2) Y= (R54/2)
N400 R176=_OVR[4]
N410 G0 X0 Y= (R54/2)
N420 R177=_OVR[4]
N430 G0 X= (R53/2/2) Y= (R54/2)
N440 R178=_OVR[4]
N450 G0 X= (R53/2) Y= (R54/2)
N460 R179=_OVR[4]
N470 G0 X= (R53/2) Y0
N480 R180=_OVR[4]
N490 G0 X= (R53/2) Y=- (R54/2)
N500 R181=_OVR[4]
N510 G0 X= (R53/2/2) Y=- (R54/2)
N520 R182=_OVR[4]
N530 R183=0 R184=0 R185=0 R186=0 R187=0 R188=0 R189=0 R190=0
N610 MCALL
GOTOF KONEC
;
XYDO18:
N620 CALL BCY
N630 G0 X=- (R53/2/2) Y=- (R54/2)
N640 R172=_OVR[4]
N650 G0 X=- (R53/2) Y=- (R54/2)
N660 R173=_OVR[4]
N670 G0 X=- (R53/2) Y=- (R54/2/2)
N680 R174=_OVR[4]
N690 G0 X=- (R53/2) Y0
N700 R175=_OVR[4]
N710 G0 X=- (R53/2) Y= (R54/2/2)
N720 R176=_OVR[4]
N730 G0 X=- (R53/2) Y= (R54/2)
N740 R177=_OVR[4]
N750 G0 X=- (R53/2/2) Y= (R54/2)
N760 R178=_OVR[4]
N770 G0 X0 Y= (R54/2)
N780 R179=_OVR[4]
N790 G0 X= (R53/2/2) Y= (R54/2)
N800 R180=_OVR[4]
N810 G0 X= (R53/2) Y= (R54/2)
N820 R181=_OVR[4]
N830 G0 X= (R53/2) Y= (R54/2/2)
N840 R182=_OVR[4]
N850 G0 X= (R53/2) Y0
N860 R183=_OVR[4]
N870 G0 X= (R53/2) Y=- (R54/2/2)
N880 R184=_OVR[4]
N890 G0 X= (R53/2) Y=- (R54/2)
N900 R185=_OVR[4]
N910 G0 X= (R53/2/2) Y=- (R54/2)
N920 R186=_OVR[4]
N930 R187=0 R188=0 R189=0 R190=0
```

```
N970 MCALL
GOTOF KONEC
;
XDO27YDO09:
N980 CALL BCY
N990 G0 X=- (R53/2/3) Y=- (R54/2)
N1000 R172= _OVR[4]
N1010 G0 X=- (R53/2*2/3) Y=- (R54/2)
N1020 R173= _OVR[4]
N1030 G0 X=- (R53/2) Y=- (R54/2)
N1040 R174= _OVR[4]
N1050 G0 X=- (R53/2) Y0
N1060 R175= _OVR[4]
N1070 G0 X=- (R53/2) Y= (R54/2)
N1080 R176= _OVR[4]
N1090 G0 X=- (R53/2*2/3) Y= (R54/2)
N1100 R177= _OVR[4]
N1110 G0 X=- (R53/2/3) Y= (R54/2)
N1120 R178= _OVR[4]
N1130 G0 X0 Y= (R54/2)
N1140 R179= _OVR[4]
N1150 G0 X= (R53/2/3) Y= (R54/2)
N1160 R180= _OVR[4]
N1170 G0 X= (R53/2*2/3) Y= (R54/2)
N1180 R181= _OVR[4]
N1190 G0 X= (R53/2) Y= (R54/2)
N1200 R182= _OVR[4]
N1210 G0 X= (R53/2) Y0
N1220 R183= _OVR[4]
N1230 G0 X= (R53/2) Y=- (R54/2)
N1240 R184= _OVR[4]
N1250 G0 X= (R53/2*2/3) Y=- (R54/2)
N1260 R185= _OVR[4]
N1270 G0 X= (R53/2/3) Y=- (R54/2)
N1280 R186= _OVR[4]
N1290 R187=0 R188=0 R189=0 R190=0
N1330 MCALL
GOTOF KONEC
;
XDO27YDO18:
N1340 CALL BCY
N1350 G0 X=- (R53/2/3) Y=- (R54/2)
N1360 R172= _OVR[4]
N1370 G0 X=- (R53/2*2/3) Y=- (R54/2)
N1380 R173= _OVR[4]
N1390 G0 X=- (R53/2) Y=- (R54/2)
N1400 R174= _OVR[4]
N1410 G0 X=- (R53/2) Y=- (R54/2/2)
N1420 R175= _OVR[4]
N1430 G0 X=- (R53/2) Y0
N1440 R176= _OVR[4]
N1450 G0 X=- (R53/2) Y= (R54/2/2)
N1460 R177= _OVR[4]
N1470 G0 X=- (R53/2) Y= (R54/2)
N1480 R178= _OVR[4]
N1490 G0 X=- (R53/2*2/3) Y= (R54/2)
N1500 R179= _OVR[4]
N1510 G0 X=- (R53/2/3) Y= (R54/2)
```

```
N1520 R180=_OVR[4]
N1530 G0 X0 Y=(R54/2)
N1540 R181=_OVR[4]
N1550 G0 X=(R53/2/3) Y=(R54/2)
N1560 R182=_OVR[4]
N1570 G0 X=(R53/2*2/3) Y=(R54/2)
N1580 R183=_OVR[4]
N1590 G0 X=(R53/2) Y=(R54/2)
N1600 R184=_OVR[4]
N1610 G0 X=(R53/2) Y=(R54/2/2)
N1620 R185=_OVR[4]
N1630 G0 X=(R53/2) Y0
N1640 R186=_OVR[4]
N1650 G0 X=(R53/2) Y--(R54/2/2)
N1660 R187=_OVR[4]
N1670 G0 X=(R53/2) Y--(R54/2)
N1680 R188=_OVR[4]
N1690 G0 X=(R53/2*2/3) Y--(R54/2)
N1700 R189=_OVR[4]
N1710 G0 X=(R53/2/3) Y--(R54/2)
N1720 R190=_OVR[4]
N1730 MCALL
GOTOF KONEC
;
KONEC:
N1740 G0 Z200
N1750 M17
;
%_N_L_B1_01_SPF
;$PATH=/_N_WKS_DIR/_N_1_MERENI_WPD
;(KONTROLA_VYSLEDKU_MERENI)
IF (R171>=0.6) OR (R171<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R172>=0.6) OR (R172<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R173>=0.6) OR (R173<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R174>=0.6) OR (R174<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R175>=0.6) OR (R175<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R176>=0.6) OR (R176<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R177>=0.6) OR (R177<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R178>=0.6) OR (R178<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R179>=0.6) OR (R179<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
```

```
IF (R180>=0.6) OR (R180<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R181>=0.6) OR (R181<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R182>=0.6) OR (R182<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R183>=0.6) OR (R183<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R184>=0.6) OR (R184<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R185>=0.6) OR (R185<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R186>=0.6) OR (R186<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R187>=0.6) OR (R187<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R188>=0.6) OR (R188<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R189>=0.6) OR (R189<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
IF (R190>=0.6) OR (R190<=-0.6)
GOTOF CHYBA
ENDIF
GOTOF KONEC
;
CHYBA:
MSG ("ODCHYLKA JE >= +-0.6mm ZKONTROLUJ UPNUTI")
M0
MSG ()
KONEC:
N10 M17
;
%_N_L_A1A_01_SPF
;$PATH=/_N_WKS_DIR/_N_1_MERENI_WPD
; (DRAZKA - OSA - KOPIROVANI KRIVOSTI)
IF (R53<=900) AND (R54<=900)
GOTOF XYDO09
ENDIF
IF (R53<=1800) AND (R53>900) AND (R54<=900)
GOTOF XDO18YDO09
ENDIF
IF (R53<=1800) AND (R53>900) AND (R54<=1800)
GOTOF XYDO18
ENDIF
IF (R53<=2700) AND (R53>1800) AND (R54<=900)
GOTOF XDO27YDO09
ENDIF
IF (R53<=2700) AND (R53>1800) AND (R54<=1800)
```

```
GOTOF XDO27YDO18
ENDIF
GOTOF KONEC
;
XYDO09:
N10 G0 G40 X0 Y--(R54/2)
N20 Z5
N30 G1 Z=R19+R171 OVR=10
N40 CFIN
N50 G64 X--(R53/2-R55) Y--(R54/2) Z=R19+R172 OVR=100
N60 G2 X--(R53/2) Y--(R54/2-R55) CR=R55
N70 G1 X--(R53/2) Y0 Z=R19+R173
N80 X--(R53/2) Y=(R54/2-R55) Z=R19+R174
N90 G2 X--(R53/2-R55) Y=(R54/2) CR=R55
N100 G1 X0 Y=(R54/2) Z=R19+R175
N110 X=(R53/2-R55) Y=(R54/2) Z=R19+R176
N120 G2 X=(R53/2) Y=(R54/2-R55) CR=R55
N130 G1 X=(R53/2) Y0 Z=R19+R177
N140 X=(R53/2) Y--(R54/2-R55) Z=R19+R178
N150 G2 X=(R53/2-R55) Y--(R54/2) CR=R55
N160 G1 X0 Y--(R54/2) Z=R19+R171
GOTOF KONEC
;
XDO18YDO09:
N10 G0 G40 X0 Y--(R54/2)
N20 Z5
N30 G1 Z=R19+R171 OVR=10
N40 CFIN
N50 G64 X--(R53/2/2) Y--(R54/2) Z=R19+R172 OVR=100
N50 X--(R53/2-R55) Y--(R54/2) Z=R19+R173
N60 G2 X--(R53/2) Y--(R54/2-R55) CR=R55
N70 G1 X--(R53/2) Y0 Z=R19+R174
N80 X--(R53/2) Y=(R54/2-R55) Z=R19+R175
N90 G2 X--(R53/2-R55) Y=(R54/2) CR=R55
N90 G1 X--(R53/2/2) Y=(R54/2) Z=R19+R176
N100 X0 Y=(R54/2) Z=R19+R177
N110 X=(R53/2/2) Y=(R54/2) Z=R19+R178
N110 X=(R53/2-R55) Y=(R54/2) Z=R19+R179
N120 G2 X=(R53/2) Y=(R54/2-R55) CR=R55
N130 G1 X=(R53/2) Y0 Z=R19+R180
N140 X=(R53/2) Y--(R54/2-R55) Z=R19+R181
N150 G2 X=(R53/2-R55) Y--(R54/2) CR=R55
N150 G1 X=(R53/2/2) Y--(R54/2) Z=R19+R182
N160 X0 Y--(R54/2) Z=R19+R171
GOTOF KONEC
;
XYDO18:
N10 G0 G40 X0 Y--(R54/2)
N20 Z5
N30 G1 Z=R19+R171 OVR=10
N40 CFIN
N50 G64 X--(R53/2/2) Y--(R54/2) Z=R19+R172 OVR=100
N50 X--(R53/2-R55) Y--(R54/2) Z=R19+R173
N60 G2 X--(R53/2) Y--(R54/2-R55) CR=R55
N60 G1 X--(R53/2) Y--(R54/2/2) Z=R19+R174
N70 X--(R53/2) Y0 Z=R19+R175
N80 X--(R53/2) Y=(R54/2/2) Z=R19+R176
N80 X--(R53/2) Y=(R54/2-R55) Z=R19+R177
```

```
N90 G2 X=- (R53/2-R55) Y=(R54/2) CR=R55
N90 G1 X=- (R53/2/2) Y=(R54/2) Z=R19+R178
N100 X0 Y=(R54/2) Z=R19+R179
N110 X=(R53/2/2) Y=(R54/2) Z=R19+R180
N110 X=(R53/2-R55) Y=(R54/2) Z=R19+R181
N120 G2 X=(R53/2) Y=(R54/2-R55) CR=R55
N120 G1 X=(R53/2) Y=(R54/2/2) Z=R19+R182
N130 X=(R53/2) Y0 Z=R19+R183
N140 X=(R53/2) Y=- (R54/2/2) Z=R19+R184
N140 X=(R53/2) Y=- (R54/2-R55) Z=R19+R185
N150 G2 X=(R53/2-R55) Y=- (R54/2) CR=R55
N150 G1 X=(R53/2/2) Y=- (R54/2) Z=R19+R186
N160 X0 Y=- (R54/2) Z=R19+R171
GOTOF KONEC
;
XDO27YDO09:
N10 G0 G40 X0 Y=- (R54/2)
N20 Z5
N30 G1 Z=R19+R171 OVR=10
N40 CFIN
N50 G64 X=- (R53/2/3) Y=- (R54/2) Z=R19+R172 OVR=100
N50 X=- (R53/2*2/3) Y=- (R54/2) Z=R19+R173
N50 X=- (R53/2-R55) Y=- (R54/2) Z=R19+R174
N60 G2 X=- (R53/2) Y=- (R54/2-R55) CR=R55
N70 G1 X=- (R53/2) Y0 Z=R19+R175
N80 X=- (R53/2) Y=(R54/2-R55) Z=R19+R176
N90 G2 X=- (R53/2-R55) Y=(R54/2) CR=R55
N90 G1 X=- (R53/2*2/3) Y=(R54/2) Z=R19+R177
N90 X=- (R53/2/3) Y=(R54/2) Z=R19+R178
N100 X0 Y=(R54/2) Z=R19+R179
N110 X=(R53/2/3) Y=(R54/2) Z=R19+R180
N110 X=(R53/2*2/3) Y=(R54/2) Z=R19+R181
N110 X=(R53/2-R55) Y=(R54/2) Z=R19+R182
N120 G2 X=(R53/2) Y=(R54/2-R55) CR=R55
N130 G1 X=(R53/2) Y0 Z=R19+R183
N140 X=(R53/2) Y=- (R54/2-R55) Z=R19+R184
N150 G2 X=(R53/2-R55) Y=- (R54/2) CR=R55
N150 G1 X=(R53/2*2/3) Y=- (R54/2) Z=R19+R185
N150 X=(R53/2/3) Y=- (R54/2) Z=R19+R186
N160 X0 Y=- (R54/2) Z=R19+R171
GOTOF KONEC
;
XDO27YDO18:
N10 G0 G40 X0 Y=- (R54/2)
N20 Z5
N30 G1 Z=R19+R171 OVR=10
N40 CFIN
N50 G64 X=- (R53/2/3) Y=- (R54/2) Z=R19+R172 OVR=100
N50 X=- (R53/2*2/3) Y=- (R54/2) Z=R19+R173
N50 X=- (R53/2-R55) Y=- (R54/2) Z=R19+R174
N60 G2 X=- (R53/2) Y=- (R54/2-R55) CR=R55
N60 G1 X=- (R53/2) Y=- (R54/2/2) Z=R19+R175
N70 X=- (R53/2) Y0 Z=R19+R176
N80 X=- (R53/2) Y=(R54/2/2) Z=R19+R177
N80 X=- (R53/2) Y=(R54/2-R55) Z=R19+R178
N90 G2 X=- (R53/2-R55) Y=(R54/2) CR=R55
N90 G1 X=- (R53/2*2/3) Y=(R54/2) Z=R19+R179
N90 X=- (R53/2/3) Y=(R54/2) Z=R19+R180
```

```
N100 X0 Y=(R54/2) Z=R19+R181
N110 X=(R53/2/3) Y=(R54/2) Z=R19+R182
N110 X=(R53/2*2/3) Y=(R54/2) Z=R19+R183
N110 X=(R53/2-R55) Y=(R54/2) Z=R19+R184
N120 G2 X=(R53/2) Y=(R54/2-R55) CR=R55
N120 G1 X=(R53/2) Y=(R54/2/2) Z=R19+R185
N130 X=(R53/2) Y0 Z=R19+R186
N140 X=(R53/2) Y=- (R54/2/2) Z=R19+R187
N140 X=(R53/2) Y=- (R54/2-R55) Z=R19+R188
N150 G2 X=(R53/2-R55) Y=- (R54/2) CR=R55
N150 G1 X=(R53/2*2/3) Y=- (R54/2) Z=R19+R189
N150 X=(R53/2/3) Y=- (R54/2) Z=R19+R190
N160 X0 Y=- (R54/2) Z=R19+R171
GOTOF KONEC
;
KONEC:
N170 Z0
N180 G0 G60 Z100
N190 M17
;
N500 R53=600 ; ROZMER OSY DRAZKY V OSE "X"
N510 R54=600 ; ROZMER OSY DRAZKY V OSE "Y"
N520 R55=20 ; RADIUS OSY DRAZKY
N100 L_A1A_01
```