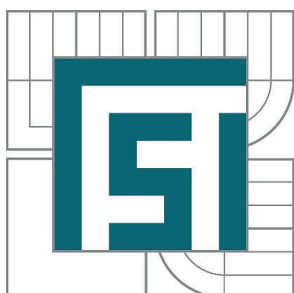


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## MOŽNOSTI SYSTÉMU SINUMERIK PŘI PROGRAMOVÁNÍ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

SINUMERIK TOOLS FOR NC PROGRAMMING OF MACHINES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. LUKÁŠ LEGUTKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POLZER, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie  
Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Lukáš Legutký

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

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

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

### **Možnosti systému Sinumerik při programování obráběcích strojů**

v anglickém jazyce:

#### **Sinumerik tools for NC programming of machines**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při programování obráběcích strojů je možno využít řady různých programovacích jazyků a metodik. Vytvoření uceleného přehledu možností systému Sinumerik s prakticky realizovanými ukázkovými příklady ve formě interaktivních studijních materiálů umožní přiblížit tuto problematiku osobám, které teprve volí vhodný způsob programovacího prostředí pro zajištění výroby třískovým obráběním na frézovacích a soustružnických obráběcích centrech.

Cíle diplomové práce:

- stručné začlenění řídicího systému Sinumerik 840D mezi ostatní řídicí systémy obráběcích strojů a metody NC programování
- návrh a zpracování technické dokumentace obráběné součásti
- praktické ověření výrobního procesu v laboratořích ÚST

Seznam odborné literatury:

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. (Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. Překlad M. Kudela.), 1. vyd., Praha, Scientia, s.r.o., 1997. 857 p. ed. J. Machač, J. Řasa, ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. POLZER, A.; DVOŘÁK, J. Internetový portál pro CNC a CAD/CAM technologie. [online]. 2010. Dostupné na WWW: <http://cadcam.fme.vutbr.cz/>
3. Návody k programování. Cykly. 4. vydání, Erlangen, SIEMENS a.s., 2000, 320 s.
4. Návody k programování. Návod k obsluze. 4. vydání, Erlangen, SIEMENS a.s., 2000, 469 s.
5. Návody k programování. Základy. 4. vydání SIEMENS a.s., 2000, 456s.
6. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Studijní opory. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2006. [online]. Dostupné na www: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat\\_pro\\_rez\\_nastroje/materialy\\_pro\\_rezne\\_nastroje\\_v\\_2.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v_2.pdf).
7. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Odborné publikace. Praha, MM publishing s.r.o. 2008. 235 p. ISBN 978-80-254-2250-2.
8. SHAW, M.C. Metal Cutting Principles. Oxford University Press, 2nd ed., 2005, pp. 651, ISBN 0-19-514206-3.

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 19.11.2011

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

**ABSTRAKT**

Diplomová práce je zameraná na poukázanie možností systému Sinumerik pri programovaní CNC strojov. Úvodná časť v sebe obsahuje históriu vývinu riadiaceho systému Sinumerik a rôzne metódy programovania od najstarších až po najmodernejšie. Druhá časť zahŕňa návrh experimentálnej súčasti. Súčiastka je spracovaná pomocou výukového programu Sinutrain Operate 2.6.1 v programovom prostredí ShopTurn.

**Kľúčové slová**

ISO Programovanie, ShopTurn, Sinumerik 840D

**ABSTRACT**

The Master's thesis deals with the description of Sinumerik system possibilities when programming CNC machines. At the beginning the history of operative system Sinumerik evolution is discussed along with several programming methods ranging from the oldest to newest. Second part deals with the experimental part concept. This part is processed in Sinutrain Operate 2.6.1 with the program interface ShopTurn.

**Key words**

ISO Programing, ShopTurn, Sinumerik 840D

**BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

LEGUTKÝ, L. *Možnosti systému Sinumerik při programování obráběcích strojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 58s. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

## PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som diplomovú prácu na tému ***Možnosti systému Sinumerik při programování obráběcích strojů*** vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov uvedených v zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

Dátum: 27.5.2011

.....  
Bc. Lukáš Legutký

## **POĎAKOVANIE**

Týmto chcem poďakovať Ing. Alešovi Polzerovi, Ph.D. za cenné pripomienky a rady pri vypracovaní diplomovej práce.

Ďalej by som chcel poďakovať môjmu ocovi, za rady a celej svojej rodine a priateľom za podporu. Za poskytnutie informácií ohľadom obrábacieho stroja a doplnkov ďakujem Janovi Stejskalovi z firmy KOVOSVIT MAS, a.s. a za poskytnutie údajov o nástrojoch chcem poďakovať Milanovi Matúšovi z firmy Sandvik Coromant.

**OBSAH**

|   |    |
|---|----|
| Úvod .....  | 7  |
| 1 Programovanie CNC obrábacích strojov .....          | 8  |
| 1.1 História Sinumeriku .....                         | 9  |
| 1.2 Sinumerik 840D .....                              | 10 |
| 2 Metódy programovania .....                          | 11 |
| 2.1 ISO programovanie a jeho štruktúra .....          | 11 |
| 2.2 Pokročilé metódy programovania .....              | 13 |
| 2.2.1 Parametrické programovanie .....                | 14 |
| 2.2.2 Podmienené programové skoky .....               | 14 |
| 2.2.3 Nepodmienené programové skoky .....             | 15 |
| 2.3 Dielenské programovanie .....                     | 16 |
| 2.3.1 ShopTurn .....                                  | 17 |
| 2.3.2 ShopMill .....                                  | 29 |
| 2.4 Programovanie pomocou CAD/CAM technológie .....   | 35 |
| 3 Návrh výroby obrábaného kusu .....                  | 36 |
| 3.1 Návrh súčasti .....                               | 36 |
| 3.1.1 Materiál súčasti .....                          | 37 |
| 3.1.2 Eloxovanie (Anodická oxidácia) .....            | 38 |
| 3.1.3 Obrábanie hliníka a jeho zliatin .....          | 40 |
| 3.1.4 Geometria rezných nástrojov .....               | 41 |
| 3.1.5 Voľba Nástrojov .....                           | 42 |
| 3.1.6 Návrh rezných podmienok .....                   | 43 |
| 3.1.7 Charakteristika obrábacieho stroja SP180Y ..... | 44 |
| 3.2 Návrh technológie výroby .....                    | 46 |
| Záver .....   | 53 |
| Zoznam použitých zdrojov .....                        | 54 |
| Zoznam použitých skratiek a symbolov .....            | 57 |
| Zoznam príloh .....                                   | 58 |

## ÚVOD

Rozvoj vedy a techniky zapríčinil, že do riadenia obrábacích strojov priniesol využitie výpočtovej techniky. S tým súvisí vytvorenie riadiacich systémov, ktoré slúžia na komunikáciu medzi človekom a strojom. Takto môžeme vyrobiť aj tvarovo zložité súčiastky za relatívne krátky čas v porovnaní so strojmi, ktoré RS nemajú. Výhodou CNC riadenia je veľká opakovateľnosť, presnosť a rýchlosť prevádzaných úkonov. Ďalej je do značnej miery potlačený vznik chyby ľudským faktorom. Nevýhoda takýchto strojov je vysoká obstarávacia cena a nutnosť zaškolenia obsluhy.

Spolu so strojmi sa vyvíjajú aj riadiace systémy. Od najstarších spôsobov riadenia ako boli dierne pásy po najmodernejšie CAD/CAM softvéry určené na komplexné riešenie od návrhu až po výrobu súčastí. Okrem štandardného programovania pomocou ISO kódu, riadiace systémy boli doplnené dielenským programovaním, ktoré značne urýchľujú a zjednodušujú vytváranie samotného programu. Nové riadiace systémy ponúkajú okrem programovania monitorovanie strojov, nové možnosti HSC funkcií atd.

## 1 PROGRAMOVANIE CNC OBRÁBACÍCH STROJOV

V súčasnosti sa stretávame s niekoľkými možnosťami programovania CNC strojov. Trh ponúka viacero riadiacich systémov ako je napr. Heidenhain, Fancu, Sinumerik, Fagor atd. obr. 1.1. Tieto riadiace systémy pozostávajú z vlastných programovacích jazykov obsahujúce príslušné NC kódy, ktoré vytvárajú výsledný CNC program. Jeho výsledkom je súčasť o danej geometrii a presnosti. V Systéme Sinumerik je možné programovať viacerými metódami. Prvou metódou je programovanie pomocou G-kódu (ISO programovanie). Program je vytvorený programátorom pomocou NC kódov, ktoré majú určitú postupnosť a skladbu. Takýto program si môže programátor vytvoriť na kuse papiera a následne ho vložiť do systému. Ďalšou metódou je dielenské programovanie. To vychádza z ručného programovania a spolu grafickým prostredím zjednodušuje samotné zostavenie CNC programu. Program je možno vytvoriť priamo na stroji a medzi jeho veľké výhody patrí fakt, že operátor nemusí detailne poznať princíp ISO programovania, ale k vytvoreniu CNC programu mu stačí poznať danú technológiu obrábania. Poslednou možnosťou je využitie CAD/CAM technológií. Daná problematika sa spracuje pomocou CAD/CAM softvéru, je navrhnutý postup obrábania spolu so zadanými technologickými podmienkami a nakoniec sa pomocou postprocesoru preloží samotný ISO kód do daného CNC obrábacieho stroja, ktorý obsahuje konkrétny CNC riadiaci systém.[1]



a) Fancu [16]



b) Heidenhain [15]



c) Fagor [14]



d) Sinumerik [13]

Obr. 1.1 Ukážka panelov jednotlivých riadiacich systémov

Základnou vstupnou informáciou pre vytvorenie CNC programu je výkres súčasti, ktorý udáva geometrickú a rozmerovú presnosť výrobku. Taktiež veľmi dôležitou informáciou je počet vyrábaných kusov. Podľa množstva výrobkov môžeme optimalizovať spôsob výrobného procesu, ale nadmerná optimalizácia môže viesť ku nechcenému zvýšeniu prípravného času a tým aj jeho neefektívnosť.

## 1.1 História Sinumeriku

Vôbec prvý NC systém, ktorý prenikol na trh, vzniká v roku 1960. O štyri roky neskôr t.j. v roku 1964 dostáva komerčný názov „Sinumerik“. Prvý systém bol skonštruovaný s použitím diskretných súčiastok pre spojité riadenie dráhy nástroja. Nasledovali ďalšie verzie systémov pre riadenie operácii sústruženia, frézovania, brúsenia a tiež elektrohydraulických pohonov. V roku 1973 vzniká prvý systém pre číslicové riadenie CNC (Computerized Numerical Control) s použitím počítača, ktorého využitie je pri riadení sústruhov a frézovačiek. S vývojom techniky v polovici 70. rokov prichádzajú na trh mikroprocesory, ktoré započnú nový míľnik riadenia. Jedná sa o priame číslicové riadenie DNC (Direct Numerical Control) s jednotnou správou a distribúciou riadiacich programov. O tri roky neskôr sa na trhu objavuje nový viackanálový CNC systém so vstavaným programovateľným automatom PLC (Programmable Logic Controller). V polovici 80. rokov začal byť kladený dôraz na princíp „otvorenosti“, čo bolo implementované do systémov Sinumerik 810 a Sinumerik 820. Výrobcovi môžu od tejto doby vytvárať vlastné ovládacie rozhranie a pridávať do nich svoje položky. Asi po desaťročnom období firma Siemens predstavuje vysoko výkonný CNC systém Sinumerik 840D s číslicovým ovládaním pohonov a otvoreným jadrom riadiaceho programu s možnosťou integrovať do systému CNC ďalšie softwarové komponenty. Rok 1996 je spojený s novým produktom Sinumerik Safety Integrated, ktorý ako prvý CNC systém má v sebe zabudované bezpečnostné funkcie. Onedlho sú predstavené nástroje ShopMill a ShopTurn. Jedná sa o dielensky orientované vývojové prostredia umožňujúce zostavovať programy v grafickom prostredí. Ďalšími nástrojmi pre zvýšenie produktivity sú Condition Monitoring, určený pre sledovanie stavu stroja prostredníctvom webu a Mechatronic Support, ktorý vytvára virtuálne prototypy strojov a simuluje ich chovanie. Rok 2005 sa nesie v znamení nového CNC systému Sinumerik 840D sl pre 31 riadených ôs a systému Sinumerik 802D sl určený pre menej náročné operácie na sústruhoch a frézovačkách menšej až strednej výkonnosti. Krátko na to Siemens ponúka všetko potrebné k efektívnemu návrhu a výrobe obrobkov pri reťazci CAD/CAM/CNC. Rok 2009 prináša ďalšie dva riadiace systémy Sinumerik 282D a Sinumerik 840D sl s ovládacím rozhraním Sinumerik Operate. Sinumerik Operate zjednocuje známe ovládacie prostredie HMI Advanced, ShopMill a ShopTurn. V technologickom pakete pre frézovanie pod názvom MDynamics nájdeme nové riešenie pre garanciu perfektnej kvality povrchu, presnosti a rýchlosti. Jadrom Sinumerik MDynamics je inteligentné riadenie pohybu Advanced Surface. Ďalšou funkciou Sinumerik MDynamics je nové nástrojové hospodárstvo a programové vybavenie pre jednoduché nastavenie stroja. Taktiež obsahuje nové inovované technologické cykly, meracie cykly a funkcie HSC. Sinumerik MDynamics je k dispozícii pre 3osé obrábacie centrá s riadiacim systémom Sinumerik 828D a pre 5osé stroje so systémom Sinumerik 840D sl.



Obr. 1.2 Chronológia vývinu riadiaceho systému Sinumerik [3]

Vďaka Volumetric Compression System, ktorý dokáže globálne korigovať všetky geometrické chyby obrábacieho stroja, patrí Siemens medzi popredné firmy zaoberajúce sa riadiacimi systémami. [2] Vývoj systému ukazuje obr. 1.2.

## 1.2 Sinumerik 840D

Možnosti tohto riadenia siahajú od jednoduchého polohovania až po komplexné viacosé riadenie. Základom pre možnosť riadenia čo najväčšieho množstva obrábacích technológií tvoria odstupňované hardvérové komponenty. Vďaka otvorenosti systému v oblasti HMI, CNC a PLC má užívateľ možnosť vkladať do systému svoje know-how.

Na centrálnej jednotke NCU sú zjednotené funkcie CNC, PLC a komunikácie. Viacprocesorová jednotka NCU je po vložení do nosného NCU-boxu integrovaná do pohonového systému Simodrive 611D. Vo svojej najvýkonnejšej zostave umožňuje riadenie max. 31ôs/vretien. Ak požadujeme väčší počet riadených súradníc je možné pomocou Link-modulov spojiť niekoľko NCU jednotiek za vytvorenia supervýkonného riadiaceho systému. Zostava systému Sinumerik 840 D pozostáva z nasledujúcich komponentov:

- jednotka NCU
- ovládací panel s jednotkou MMC alebo PCU a strojní panel
- IN/OUT jednotky PLC z rady S7-300
- Motory 1FT6, 1FK6 a 1PH
- Moduly Simodrive 611D

Ďalej je možné zostavu dopĺňovať ďalšími prvkami:

- 2 ručné kolieska
- Iné ovládacie panely (rada OP – Simatic)
- Ručné pomocné ovládacie panely
- Ďalšie periférne moduly PLC [30]

## 2 METÓDY PROGRAMOVANIA

Výber programovacej metódy závisí na riešenom probléme. Pri voľbe programovania musíme brať na vedomie, či je daná súčiastka pomocou tejto metódy vyrobiteľná a či náklady spojené s prípadným softvérom pre programovanie budú ekonomicky výhodné.

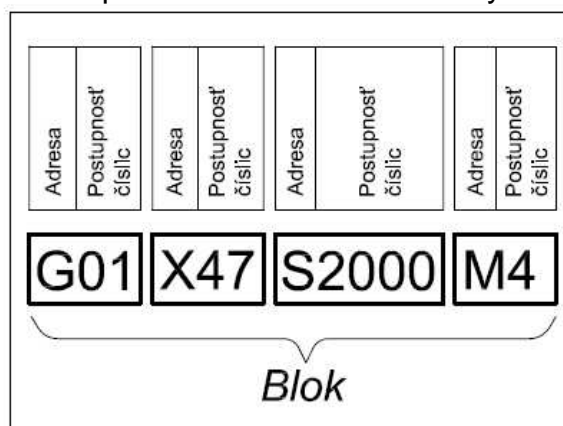
### 2.1 ISO programovanie a jeho štruktúra

Štandardne pozostáva z rady dátových blokov, ktoré obsahujú dostatok informácií pre vykonanie jednotlivých krokov technologického postupu na obrábacom stroji. Bloky sa skladajú z nasledujúcich komponentov:

- Príkazy (slová) podľa normy DIN 66025
- Prvky vyššieho jazyka NC systému

#### Príkazy

Bloky sú vytvorené z jedného alebo viacerých slov, ktoré naznačujú, aby kontrolný systém previedol danú operáciu. Slovo je usporiadaná množina znakov skladajúcich sa z písmen a niektorých číselných znakov obr. 1.3, ktoré spúšťajú konkrétne akcie obrábacieho stroja. Prvé písmeno slova sa nazýva adresovým znakom a slúži pre identifikáciu riadiacim systémom.



Obr. 1.3 Programový blok

#### Prvky vyššieho jazyka NC systému

Používajú sa pri programovaní zložitých pracovných postupoch na moderných obrábacích strojoch, kde sada príkazov podľa normy DIN 66025 už nie je možná.

- Príkazy vyššieho jazyka NC systému
  - Na rozdiel od príkazov g-kódu sa príkazy vyššieho jazyka pre NC systémy skladajú z väčšieho počtu adresových písmen, napr.:
    - OVR pre korekciu otáčok (override)
    - SPOS pre nastavovanie vretena do určitej polohy
- Identifikátor
  - Systémové premenné
  - Užívateľom definované premenné
  - Podprogramy
  - Kľúčové slová
  - Návestie skokov
  - Makrá

- Relačné operátory
- Logické operátory
- Matematické funkcie
- Riadiace štruktúry

Príkazy môžu mať modálnu alebo blokovú platnosť

- Modálna platnosť  
Príkazy zostávajú zachované s naprogramovanou hodnotou vo všetkých nasledujúcich blokoch, dokiaľ:
  - rovnakým príkazom nie je naprogramovaná rovnaká hodnota
  - je naprogramovaný príkaz, ktorý ruší pôsobenie platného príkazu
- Bloková platnosť  
Príkazy platia iba v bloku, v ktorom sú naprogramované

Na začiatku programu je pred prvým riadkom uvedený znak % a za ním nasleduje číselná hodnota, ktorá označuje jeho číslo.[9] Pre prehľadnosť môžu byť bloky na začiatku označené číslom bloku, ktorého prvé písmeno je N a kladné celé číslo obr. 1.4. Koniec bloku končí znakom L<sub>F</sub>, ale nemusí byť zapísaný vďaka automatickému vloženiu pri prechode na ďalší riadok. Maximálna dĺžka bloku je 512 znakov. Aby bol program čo najviac prehľadný je doporučená nasledovná postupnosť:

N... G... X... Y... Z... F... S... T... D... M... H... tab. 1.1

| Adresa  | Význam                              |
|---------|-------------------------------------|
| N       | Adresa čísla bloku                  |
| G       | Podmienka dráhy                     |
| X, Y, Z | Informácie o dráhe                  |
| F       | Posuv                               |
| S       | Otáčky                              |
| T       | Nástroj                             |
| D       | Číslo korekčných parametrov nástoja |
| M       | Doplnková funkcia                   |
| H       | Pomocná funkcia                     |

Tab. 1.1 Význam adresových znakov

```
%100
N005 G54
N0010 G58 Z48,5
N0015 T1 D1
N0020 G94 F1000
N0025 G X0 Z0,5
```

Obr. 1.4 Ukážka časti programu

K jednotlivým blokom môžeme pridávať svoje komentáre, čo v konečnom dôsledku vedie k lepšej orientácii v danom programe. Komentáre môžeme vkladať na konci bloku a od programu je oddelený bodkočiarkou obr. 1.5.

| Programový kód        | Komentár         |
|-----------------------|------------------|
| N10 G1 F0,25 X15 Z-20 | ; Hrubovanie Ø30 |
| N20 ...               |                  |

Obr. 1.5 komentár programového bloku

NC bloky, ktoré sú uvedené pred vlastnými pohybovými blokmi slúžiacimi pre výrobu obrobku, sú označované ako hlavička programu obr. 1.6 a 1.7. Hlavička programu obsahuje informácie / príkazy, ktoré sa týkajú týchto oblastí:

- Výmena nástroja
- Korekčné parametre nástroja
- Pohyby vretena
- Regulácia posuvu
- Geometrické parametre [11]

| Programový kód               | Komentár   |
|------------------------------|--|
| N10 G0 G153 X150 Z300 T0 D0  | ; Odchod nástroja na bezpečné miesto a následne jeho výmena  |
| N20 T4                       | ; Zavolanie nástroja T4  |
| N30 D1                       | ; zadanie korekcie pre nástroj   |
| N40 G96 S250 LIMS=3000 M4 M8 | ; Nastavenie konštantnej reznej rýchlosti, obmedzenie otáčok, smer otáčania vľavo, zapnutie chladiacej kvapaliny |
| N50 DIAMON                   | ; Pre programovanie v ose X sa budú používať priemery  |
| N60 G54 G18 G0 X70 Z0,3      | ; Posunutie počiatku, zadanie pracovnej roviny, príchod na počiatočnú pozíciu                                    |

Obr. 1.6 Hlavička programu pri sústružení

| Programový kód              | Komentár  |
|-----------------------------|---|
| N10 T="SF12"                | ; Predvoľba nástroja s názvom SF12                                  |
| N20 M6                      | ; Spustenie výmeny nástroja   |
| N30 D1                      | ; Korekcie nástroja   |
| N40 G54 G17                 | ; Posunutie počiatku a zvolenie pracovnej roviny                    |
| N50 G0 X0 Y0 Z2 S2500 M3 M6 | ; Pohyb nástroja k obrobku, zapnutie vretena a chladiacej kvapaliny |

Obr. 1.7 Hlavička programu pri frézovaní

## 2.2 Pokročilé metódy programovania

Jedná sa o spôsob programovania, ktorý okrem štandardných príkazov umožňuje programovať pomocou funkcií. Vytváranie podmienok spolu so slučkami vedie k možnostiam adaptívneho riadenia, ale jeho využitie je i pri programovaní bežnej výrobnéj dávky. Takýmto spôsobom je možné ešte zefektívniť proces obrábania.

### 2.2.1 Parametrické programovanie

Parametrické programovanie má veľké uplatnenie pri programovaní súčastok s tvarovou podobnosťou. Program je zostavený pomocou parametrov umiestnených v tabuľke obr. 1.8, ktorá nie je súčasťou NC programu. Program si sám nahráva hodnoty zvolených parametrov, ktoré môže vzápätí vykonať alebo ich použije na prerátanie polohy rezného nástroja za použitia bežne užívaných matematických operátorov.

Takýto program, vytvorený pomocou matematických výpočtov a podmienenými či nepodmienenými skokmi, je výrazne komplikovanejší. Výhodou takto vytvoreného programu je jeho univerzálnosť a niekedy aj odstránenie CAD/CAM komunikácie. [10]

| R variables |   |      |   | R variables |   |
|-------------|---|------|---|-------------|---|
| R 0         | 0 | R 20 | 0 | R 40        | 0 |
| R 1         | 0 | R 21 | 0 | R 41        | 0 |
| R 2         | 0 | R 22 | 0 | R 42        | 0 |
| R 3         | 0 | R 23 | 0 | R 43        | 0 |
| R 4         | 0 | R 24 | 0 | R 44        | 0 |
| R 5         | 0 | R 25 | 0 | R 45        | 0 |
| R 6         | 0 | R 26 | 0 | R 46        | 0 |
| R 7         | 0 | R 27 | 0 | R 47        | 0 |
| R 8         | 0 | R 28 | 0 | R 48        | 0 |
| R 9         | 0 | R 29 | 0 | R 49        | 0 |
| R 10        | 0 | R 30 | 0 | R 50        | 0 |
| R 11        | 0 | R 31 | 0 | R 51        | 0 |
| R 12        | 0 | R 32 | 0 | R 52        | 0 |
| R 13        | 0 | R 33 | 0 | R 53        | 0 |
| R 14        | 0 | R 34 | 0 | R 54        | 0 |
| R 15        | 0 | R 35 | 0 | R 55        | 0 |
| R 16        | 0 | R 36 | 0 | R 56        | 0 |
| R 17        | 0 | R 37 | 0 | R 57        | 0 |
| R 18        | 0 | R 38 | 0 | R 58        | 0 |
| R 19        | 0 | R 39 | 0 | R 59        | 0 |

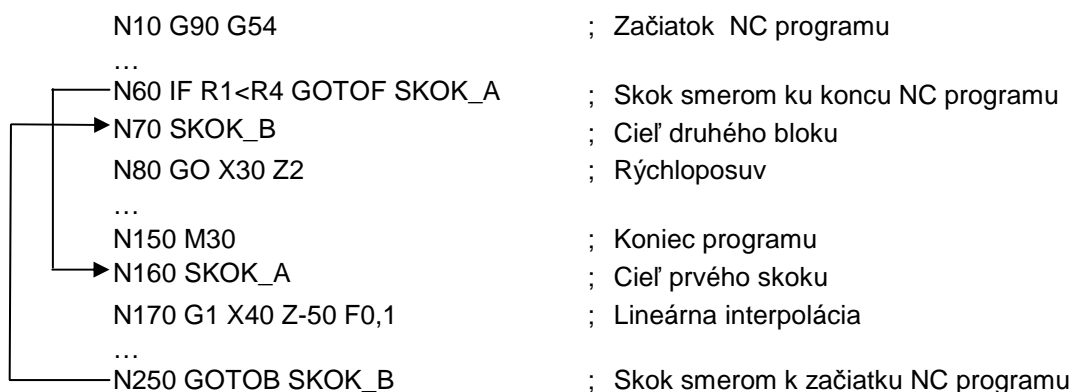
Obr. 1.8 Tabuľka R parametrov

#### Parametre R

Sú vopred definované užívateľské premenné určené ako pole s dátovým typom Real, čiže im môžeme priradiť číselné hodnoty v rozsahu  $\pm (0.000\ 0001 \dots 9999\ 9999)$ . Povolených je maximálne 8 desatinných miest. Ak daný interval nevyhovuje je možný exponenciálny zápis  $\pm (10^{-300} \dots 10^{+300})$ . V tomto prípade máme k dispozícii 10 znakov vrátane znamienka či desatinnej bodky.[12] Hodnotu exponentu zadávame za znakmi EX. Hodnoty alebo aritmetické výrazy nie je možné priradovať adresám N, G, L.

### 2.2.2 Podmienené programové skoky

Podstatou takéhoto bloku je čakanie alebo realizácia bloku / blokov, a to v prípade ak je splnená daná podmienka. To znamená, že program sám rozhoduje o tom, či sa daná akcia prevedie alebo nie. Skok je možné realizovať smerom ku koncu programu (GOTOF) alebo k jeho začiatku (GOTOB). Podmienková veta začína slovom IF a po overení platnosti podmienky sa uskutoční skok na zvolené návěstie obr. 1.9 pričom v danej situácii budú bloky nasledovať v nasledujúcom poradí N10...N60, N160... až 250, N70 atd.



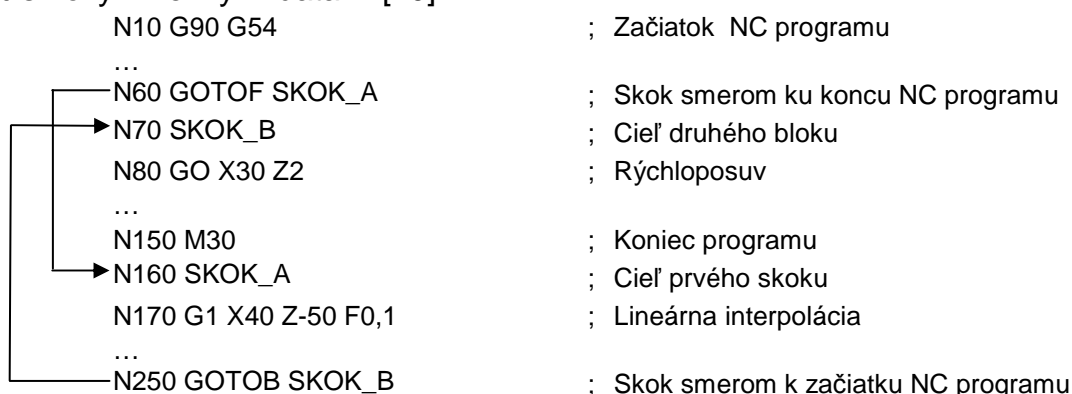
Obr. 1.9 Ukážka podmieneného skoku

Programovanie pomocou tejto cesty je možné u NC programov, kde sa parameter mení o určitú hodnotu. Parameter je súčasťou rovnice, ktorej výsledná hodnota je dosadená do bloku pre lineárnu interpoláciu. Po vykonaní pohybu nástroja na hodnotu určenú výpočtom sa kontroluje logický príkaz a v prípade, že doposiaľ nebolo pričítané dostatočné množstvo inkrementov, prevedie sa skok na návěstie pred krok pripočítanej hodnoty. Opäť sa prevedie výpočet rovnice a zopakuje sa celý proces až ku kontrole. [10]

### 2.2.3 Nepodmienené programové skoky

Základom tohto programovania je možnosť zmeniť sled programových blokov. Pre preskakovanie blokov sa môžu použiť už spomenuté príkazy ako GOTOF(skoč) a GOTOB(vráť sa) obr. 1.10. Po preskočení na zvolený blok, program pokračuje v čítaní nasledujúceho bloku.

Použitie nepodmieneného skoku je možné v prípade, že pri obrábaní dôjde k znehodnoteniu rezného nástroja alebo ku nesprávnemu zadaniu korekčných parametrov. Do programu sa zaradí nepodmienený skok a preskočia sa bloky pomocou, ktorých je súčasť vyrobená. Obrábanie potom môže pokračovať s novými reznými datami.[10]



Obr. 1.10 Ukážka nepodmieneného skoku

Funkcie spomenuté v tejto podkapitole ani zďaleka nie sú jediné, ktoré systém ponúka. Okrem programových skokov máme možnosť programovať aj pomocou slučiek a ďalších funkcií. Pre oboznámenie sa s časťou problematiky, boli uvedené iba príklady programových skokov.

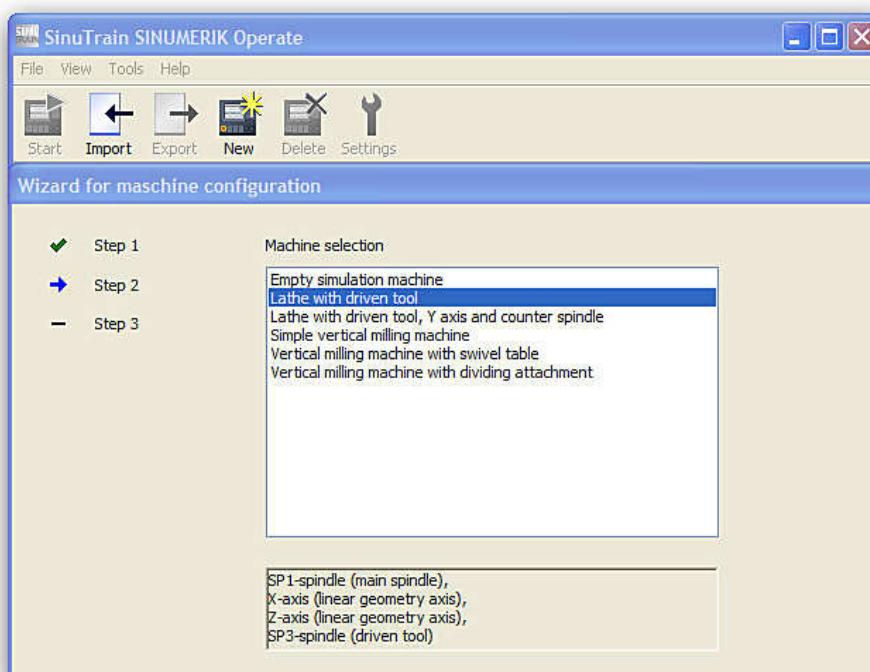
## 2.3 Dielenské programovanie

U Sinumeriku sa s pojmom dielenské programovanie spájajú nasledujúce programy, ShopTurn a ShopMill. Tieto programy boli vytvorené za účelom zjednodušenia a zrýchlenia programovania. Hlavnou úlohou dielensky orientovaného programovania je v čo najkratšom čase vytvorenie CNC programu pomocou riadiaceho panelu a grafického užívateľského rozhrania, a to i počas plného chodu stroja.

Ide teda o využitie konverzačného CNC riadiaceho systému vybaveného systémom dielenského programovania. Konverzačný CNC riadiaci systém umožňuje vytvoriť (a následne využiť) riadiaci program s využitím konverzačných pokynov poskytovaných priamo prostredníctvom riadiacich obrazoviek CNC riadiaceho systému.[4]

Spustenie dielenského programovania pomocou PC je umožnené pomocou programu SinuTrain. V našom prípade bol použitý simulátor SinuTrain Operate 2.6.1. Pre samotný začiatok práce je nutné vytvoriť virtuálny stroj. Program umožňuje výber z viacerých variant konfigurácií obrábacieho stroja obr. 1.11 :

1. Základné simulačné prostredie
2. Sústruh s poháňanými nástrojmi
3. Sústruh s poháňanými nástrojmi, Y osou a protivretenom
4. Jednoduchý vertikálny frézovací stroj
5. Vertikálny frézovací stroj s otočným stolom (indexované osy)
6. Vertikálny frézovací stroj s indexáciou



Obr. 1.11 Možnosti konfigurácie virtuálneho stroja SinuTrain operate 2.6.1

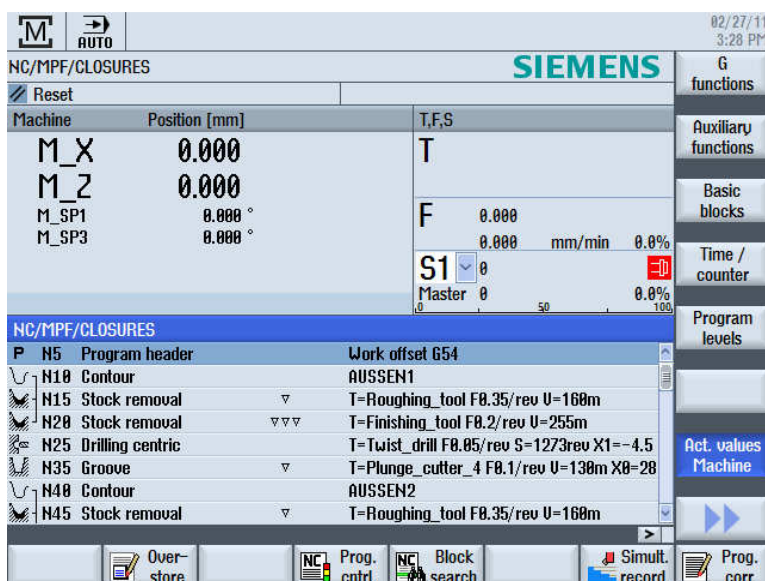
Do samotného prostredia ShopTurn alebo ShopMill sa dostaneme po založení nového obrobku. Pri vytváraní hlavného programu máme na výber z dvoch možností, programovanie pomocou G-kódu alebo dielenského programovania obr. 1.12. Okrem toho v položke *ľubovoľný* môžeme vytvárať súbory ako zoznam prací, data nástroja, R-parametry, nulové body atď. Taktiež si môžeme vytvárať vlastné adresáre.



Obr.1.12 Vertikálne lišty

### 2.3.1 ShopTurn

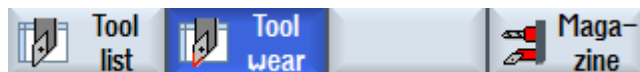
Jedná sa o software vyvinutý pre dielenské programovanie. Jeho zaradenie do radiaceho systému malo na svedomí fakt zefektívnenia práce a skrátenia prípravného času samotnej výroby. ShopTurn je vhodný najmä pri operáciách sústruženia s jedným vretenom, ale podporuje aj os C a protivreteno. Jeho uplatnenie nájdeme taktiež pri operáciách frézovania a vŕtania. Program je vytvorený pomocou ovládacieho panelu a grafického interaktívneho rozhrania krok po kroku s možnosťou prípadnej editácie obr. 1.13 . Vďaka tomu umožňuje programovať i bez znalosti G-kódu, ale taktiež umožňuje vkladať bloky programu v ISO/DIN. Veľkou výhodou je možnosť použitia už vytvorených programov pre nové súčiastky. Dokonca umožňuje zostavenie programu aj pri neúplne zakótovanom výkrese vďaka vstavanej funkcii pre výpočet kontúry, ktorá obsahuje až 50 neurčitých tvarov alebo prechodov. Takýto spôsob programovania je vhodný najmä pri malosériovej výrobe či výrobe samostatných kusov. [5]



Obr. 1.13 Obrazovka s načítaným programom vytvoreným v ShopTurn

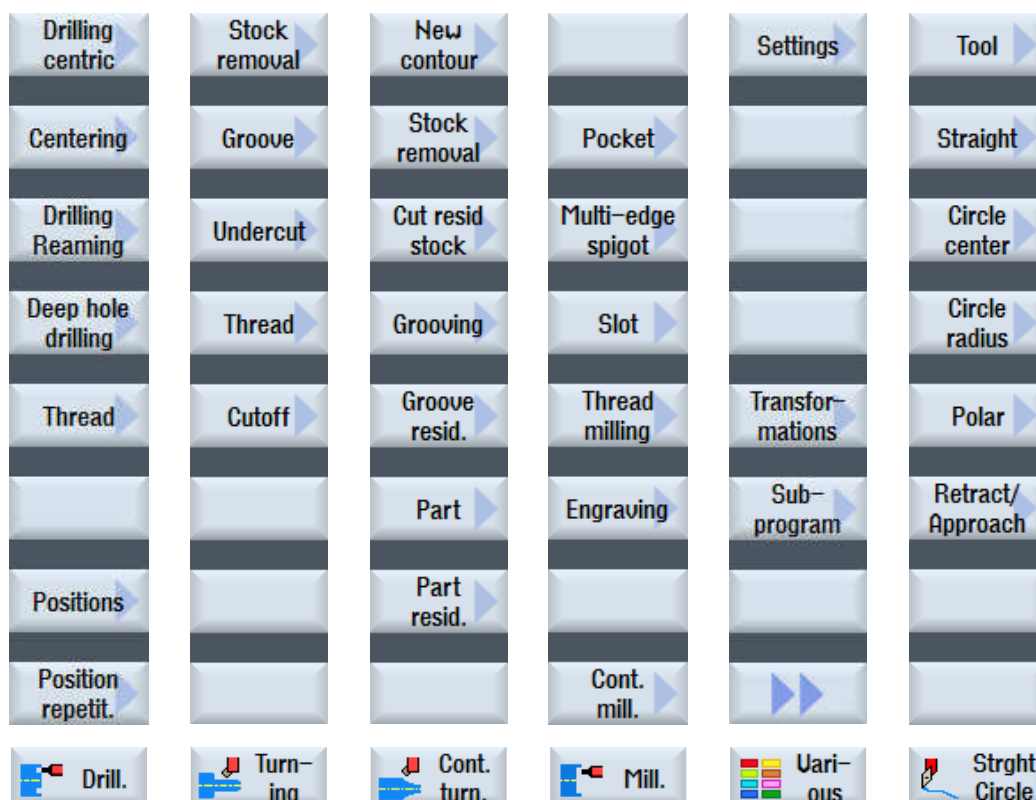
Pre urýchlenie práce s programom máme k dispozícii základnú databázu nástrojov. ShopTurn ponúka tri možnosti správy nástrojov obr. 1.14:

- Zoznam nástrojov
- Zoznam opotrebenia nástrojov
- Zásobník nástrojov



Obr. 1.14 Ukážka lišty pre správu nástrojov

Nástroje a korekčné parametre priamo vkladáme do zoznamu nástrojov alebo ich môžeme načítať.



Obr. 1.15 Ponuka cyklov a ich podponúk

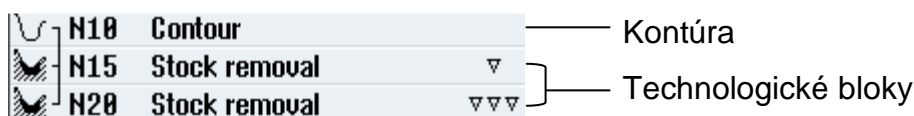
Pri tvorbe programu v dielenskom programovaní vychádzame hlavne z použitia cyklov, ktoré sú zobrazené na horizontálnej lište, pričom po ich navení sa vyobrazí lišta s podponukou vlastných cyklov, ktoré sa ďalej vetvia obr. 1.15. [6]

Základné rozdelenie programu môžeme rozdeliť do troch častí:

- Hlavička programu
- Programové bloky
- Koniec programu

Po založení programu v prostredí ShopTurn (viď kapitolu dielenské programovanie) sa dostávame do dialógového okna pre definíciu polotovaru, polohu pre výmenu rezného nástroja alebo maximálne povolené otáčky vretena (hlavička programu).[6] Po vyplnení jednotlivých položiek je vytvorený základ programu, do ktorého sa budú postupne vkladat' programové bloky, pričom do hlavičky programu sa môžeme kedykoľvek vrátiť a previesť prí-

padné zmeny. V programových blokoch určujeme jednotlivý postup operácií a zároveň nastavujeme technologické parametre. Pri programovaní technologických blokov u funkcií ako je sústruženie, frézovanie kontúry alebo frézovanie a vrtanie sú bloky obsahujúce informácie o napolohovaní oddelené. Tieto bloky sú pomocou riadiaceho systému zreťazené a sú spojené hranatou zátkou, ale nutnosťou je dodržiavať technologickú chronológiu, napr. vytvorenie kontúry a potom následné obrobenie obr. 1.16. [7]



Obr. 1.16 Kontúra a technologický blok

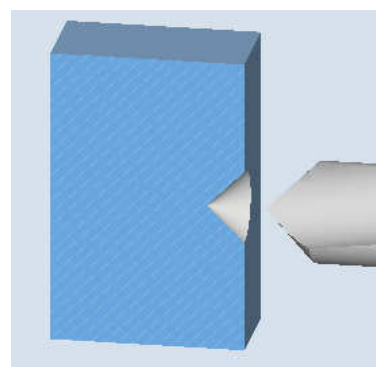
### Základné stratégie

**Vrtanie** je jednou z možných variant výroby otvoru. Pri vrtaní u sústruhov koná hlavný pohyb obrobok, upnutý v skľučovadle za súčasného pohybu nástroja v ose Z, pričom nástroj nevykonáva otáčavý pohyb. Okrem tohto spôsobu je možné vŕtať aj mimo osi obrobku, a to ako axiálne, tak i radiálne. To je umožnené vďaka polohovateľnej osi C a poháňanými nástrojmi. Obrobok sa nastaví do polohy pre obrábanie, pričom v tomto prípade sa nepohybuje obrobok ale nástroj. Skľučovadlo je počas obrábania zablokované, takže nemôže dôjsť k jeho pootočeniu. [7]

Pri vrtaní máme k dispozícii nasledujúce technologické cykly:

- Stredové vrtanie
- Stredový závit
- Navŕtanie strediacich otvorov
- Vrtanie
- Vystružovanie
- Vrtanie hlbokých dier
- Vrtanie závit
- Frézovanie závit

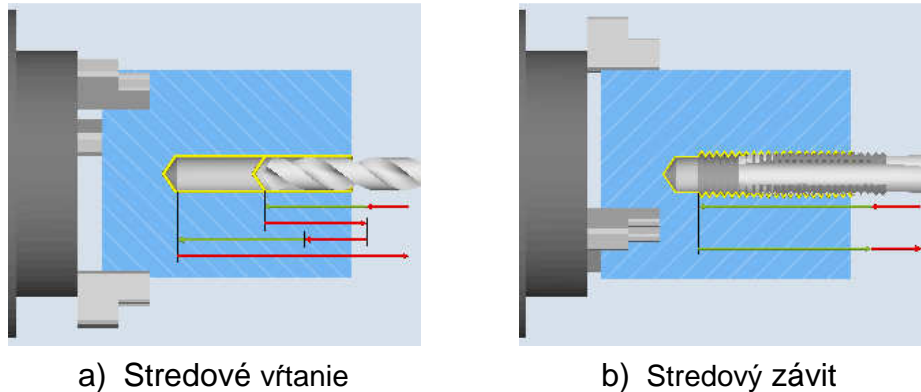
Na začiatku samotného vrtania je vhodné zhotoviť *strediaci otvor* obr. 1.17. Jeho význam je hlavne v presnom napolohovaní diery. Nástroj sa približuje k povrchu obrobku rýchloposuvom až do bezpečnostnej vzdialenosti. Nasleduje lineárny pohyb pracovným posuvom do zvolenej hĺbky, pričom sa vytvorí kruhová stopa.[17] Po navŕtaní jamky je možné počkať predpísaný počet otáčok alebo zadať časové oneskorenie odchodu nástroja. [7]



Obr. 1.17 Strediaci otvor

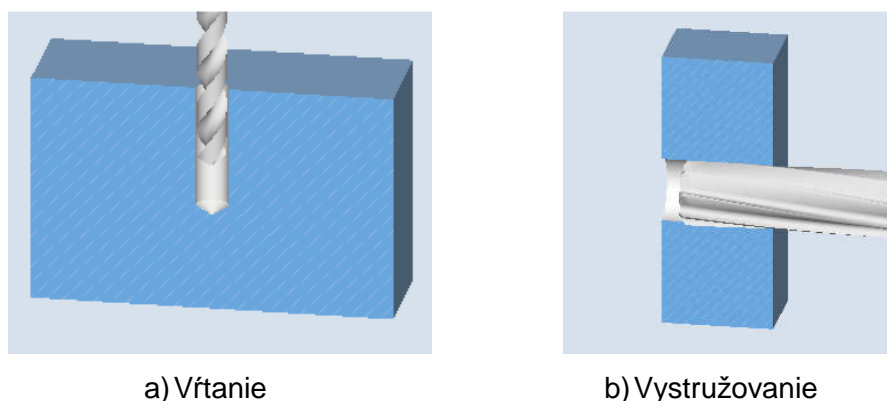
Podobne ako u navŕtavania je realizovaná aj metóda *stredového vrtania* obr. 1.18 a). Nástroj sa napohuje pred obrobok rýchloposuvom, po ktorom nasleduje priamočiary pohyb. Ten začne v bezpečnej vzdialenosti pred obrobkom. Zároveň môžeme rozhodnúť, či sa bude trieska ulamovať alebo bude

nástroj vychádzať z miesta rezu až mimo obrobok, aby sa mohli odstrániť triesky. Ako nástroj môžeme použiť nie len vrták, ale aj vyvrtávací nôž alebo frézu. Na konci vŕtania môžeme zadať časové oneskorenie odchodu nástroja z rezu. V ponuke stredového vŕtania sa nachádza tiež voľba *stredového závit* obr. 1.18 b). Behom obrábania sa točí hlavné vreteno, pričom otáčky vretena je možné meniť pomocou korekcie override. Korekcie posuvu nie je možné použiť. Pri výrobe máme na výber či sa daný závit vyrobí na jeden záber, s ulamovaním triesky alebo odchodom nástroja mimo obrobok do bezpečnej vzdialenosti, kvôli odstráneniu triesok. [7]



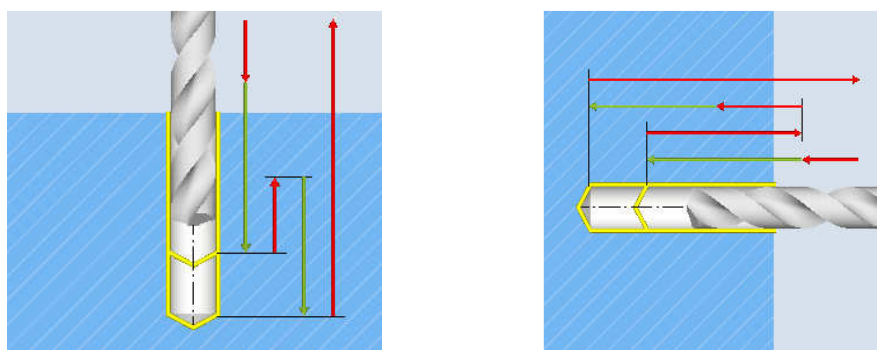
Obr. 1.18 Ponuka stredového vŕtania

U *vŕtania a vystružovania* sa opakuje už zmienený postup, ktorý je možné aplikovať na čelnej alebo plášťovej ploche. Nástroj sa napohuje do naprogramovanej pozície pričom sa do úvahy berie návratová rovina a bezpečnostná vzdialenosť. Vŕtanie obr. 1.19 a) sa uskutočňuje na jeden záber zadaným posuvom až do dosiahnutia požadovanej hĺbky, kde po uplynutí časového oneskorenia nástroja nasleduje odchod rýchloposuvom. U vystružovania obr. 1.19 b) však dochádza k zásadnej zmene pri odchode nástroja z obrobku. Po vykonaní operácie vystružovania sa výjazd realizuje pracovným posuvom, aby sa zamedzilo prípadnému znehodnoteniu opracovaného povrchu. [7]



Obr. 1.19 Ponuka vŕtania a vystružovania

Postup u *Vŕtania hlbokých dier* je veľmi podobný so stredovým vŕtaním, ale pri výrobe hlbokých dier je možné vyrobiť otvory aj mimo osi obrobku. Opäť máme možnosť vyrábať otvor pomocou delenej triesky obr. 1.20 a) alebo nástroj odíde z rezu obr. 1.20 b) kvôli odstráneniu triesok, pričom u tohto spôsobu máme možnosť percentuálne meniť veľkosť zavŕtania. [7]



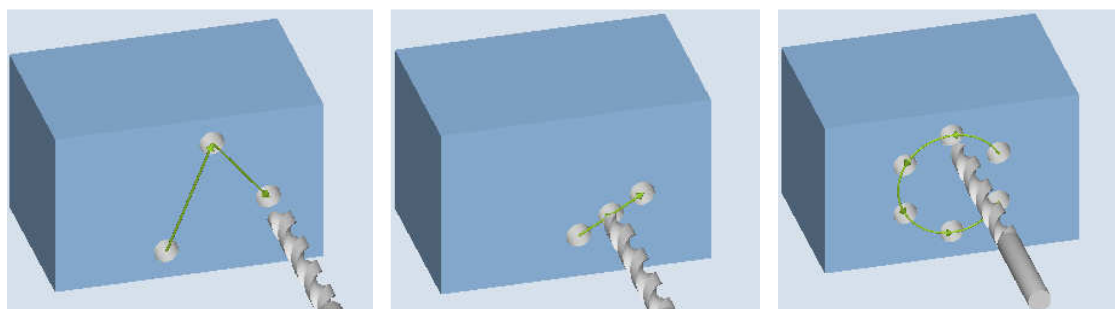
a) Ulamovanie triesky

b) Odchod nástroja z rezu

Obr. 1.20 Hlboké vrtanie dier

Výroba *závit* už bola spomenutá, jedinou zmenou oproti výrobe *stredového závit* je fakt, že pomocou tejto stratégie je možné vyrábať závit aj mimo osi obrobku, čo je umožnené po zablokovaní pohybu skľučovadla. Závit je mimo to možné vyrobiť aj frézovaním. U metrických závitov systém Shop-Turn dopredu nastavuje parameter hĺbky závit na hodnotu vypočítanú zo stúpania závit  $P \text{ mm.ot}^{-1}$ . Táto hodnota môže byť zmenená užívateľom, pričom nastavenie tejto hodnoty musí byť aktivované strojným parametrom. Taktiež si môžeme vybrať, či sa bude vyrábať pravý alebo ľavý závit. [7]

Pre definíciu správnej polohy máme k dispozícii stratégiu *polohovania a polohovacieho vzoru*. Otvory môžeme ľubovoľne polohovať obr. 1.21 a), polohovať po priamke obr. 1.21 b), na mriežke, obdĺžniku alebo po kružnici či kruhovom oblúku obr. 1.21 c). Dohromady máme k dispozícii až 20 technológií a polohovacích vzorov. Môžeme programovať niekoľko polohovacích vzorov za sebou. Pozície spolu s naprogramovanými technológiami sa riadiacim systémom automaticky zreťazia. Okrem toho je možné pozície preskakovať, či opakovať. [7]



a) Ľubovoľná poloha

b) Polohovací vzor priamka

c) Polohovací vzor kružnica

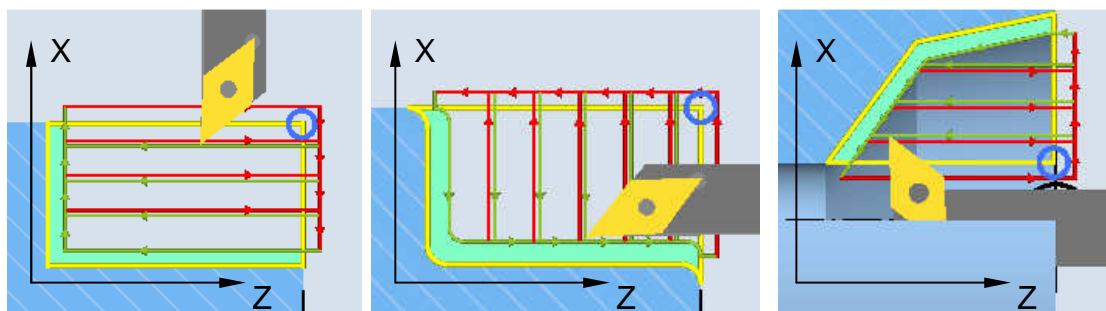
Obr. 1.21 Polohovacie vzory

**Sústruženie** je jednou zo základných stratégií pri trieskovom obrábaní. Prvotnou operáciou býva zväčša *hrubovanie* materiálu, kedy chceme oddeliť čo najväčší objem triesky. Pri obrábaní nahrubo sa trieska odoberá zábermi rovnobežnými s osou, zabiehajúce až na naprogramovaný prídavok pre obrábanie načisto. Systém ShopTurn pri obrábaní nahrubo reguluje naprogramovanú hĺbku prísuvu tak, aby vznikali priechody nástroja s rovnakou veľkosťou. Obrábanie *načisto* prebieha rovnakým smerom ako hrubovanie. Pri obrábaní načisto systém automaticky aktivuje a deaktivuje korekcie rádiusu nástroja. [7]

Programová ikona sústruženie obsahuje nasledujúce časti:

- Oddeľovanie triesky
- Zápichy
- Odľahčovacie zápichy
- Sústruženie závitov
- Upichovanie

Po navolení programového tlačidla pre *oddeľovanie triesok* máme na výber z troch variant opracovania povrchu súčasti. Jednoduchý cyklus pre odstránenie triesky po priamkach obr. 1.22 a), oddeľovanie triesky po priamkach s rádiusmi alebo zrazeniami obr. 1.22 b) a nakoniec s možnosťou oddeľovania triesky so šikmými úsekmi, rádiusmi alebo zrazeniami obr. 1.22 c). Je možné obrábať vonkajšie i vnútorné plochy a to ako v ose Z tak v ose X. [7]



a) Po priamkach

b) Po priamkach a rádiusoch

c) Po šikmých úsekoch

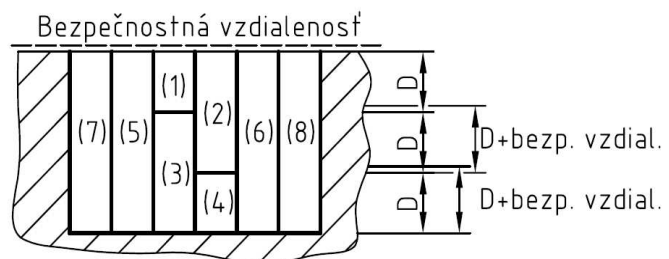
Obr. 1.22 Oddeľovanie triesky

Vyvolanie voľby zápichu sa uskutoční po stlačení ikony *Sústruženie* a navolení programového tlačidla *Zápich*. Pomocou tohto cyklu sme schopní vytvárať symetrické či asymetrické zápichy na ľubovoľnom priamom kontúrovom prvku. Zápichy sa môžu vytvárať na vonkajších alebo vnútorných plochách, a to ako v pozdĺžnom tak aj v priečnom smere. Na výber máme z troch možností:

- Jednoduchý cyklus pre výrobu zápichu
- Výroba zápichu so šikmými úsekmi rádiusmi alebo zrazeniami
- Výroba zápichu so šikmými úsekmi rádiusmi alebo zrazeniami na šikmej ploche

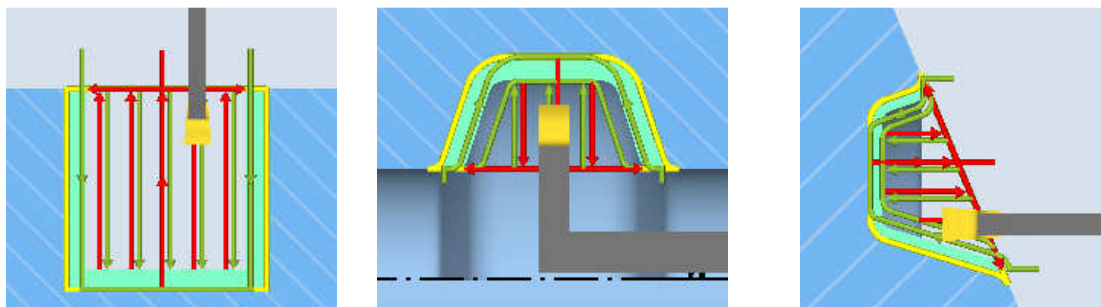
Pri zápichu väčšom ako je nástroj sa zápich obrába na viacero krokov, pričom maximálna hodnota posunutia je maximálne 80% šírky nástroja. Pre boky a dno zápichu môžeme zadať hodnotu prídavku pre obrábanie načisto. Nástroj vchádza do materiálu v strede zápichu o hodnotu

$D$ , potom z rezu vychádza až na bezpečnostnú vzdialenosť a opäť vchádza do rezu vedľa 1. zápichu o hodnotu  $2D$  obr. 1.23. Nástroj striedavo obrába v 1.



Obr. 1.23 Stratégia výroby zápichu

a 2. zápich až k dosiahnutiu konečnej hĺbky, ostatné zápichy sú vyrobené striedavo až k dosiahnutiu stanovenej hĺbky dna. Nástroj sa medzi zápichmi pohybuje rýchloposuvom, ktorý je znázornený červenými šípkami obr. 1.24. [7]



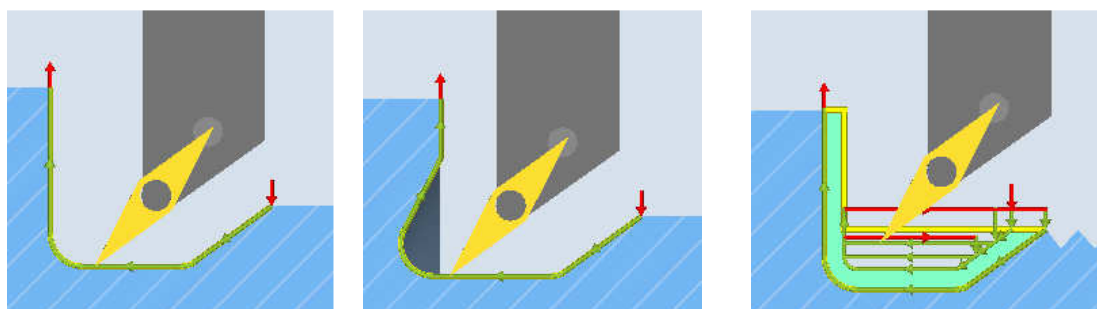
a) Jednoduchý zápich

b) Zápich so šikmými stenami

c) Zápich so šikmými stenami na šikmej ploche

Obr. 1.24 Zápichy

Zápichy tvaru E a F obr. 1.25 a) b) patria do programového menu odľahčovacie zápichy. Do tejto skupiny sú tiež zaradené normované závitové zápichy alebo voľne definované závitové zápichy obr. 1.25 c).



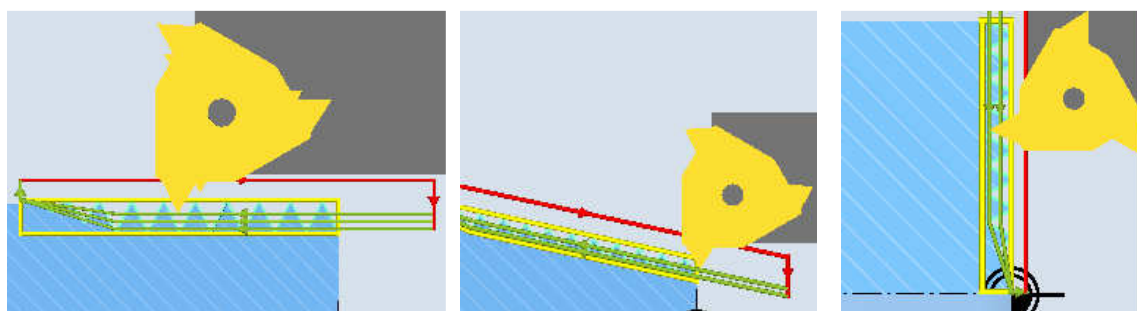
a) Zápich tvaru E

b) Zápich tvaru F

c) Závitový zápich

Obr. 1.25 Odľahčovacie zápichy

Sústruženie závitú taktiež spadá do programového menu Sústruženie. Tento cyklus nám umožní obrábať vnútorné aj vonkajšie závit, pričom máme na výber, či sa daný závit bude vyrábať na valcovej obr. 1.26 a), kuželovej obr. 1.26 b) alebo čelnej ploche obr. 1.26 c). Vyrábané závitové závitové zápichy môžu mať aj viac chodov. Prísuv sa uskutočňuje automaticky s konštantnou hĺbkou prísuvu alebo s konštantným prierezom triesky. U obrábania s použitím konštantnej hĺbky prísuvu sa prierez triesky zväčšuje s každým prechodom nástroja. Prídavok načisto sa po obrobení hrubovacou operáciou oddeľuje na jeden prechod nástroja. Pri malých hĺbkach závitú môže táto metóda viesť k lepším rezným podmienkam. Pri konštantnom priereze triesky je pri hrubovaní rovnaký tlak na brit vo všetkých prechodoch nástroja, ale hĺbka rezu sa znižuje. Okrem iného nám systém ponúka možnosť, ako sa samotný prísuv bude vykonávať, a to buď radiálne s definovaným uhlom alebo striedavým prísuvom po ľavom a pravom boku. Pomocou týchto funkcií môžeme vyrobiť aj atypické formy závitov. O tom či bude závit pravý alebo ľavý rozhoduje smer otáčania vretena a smer posuvu. [7]



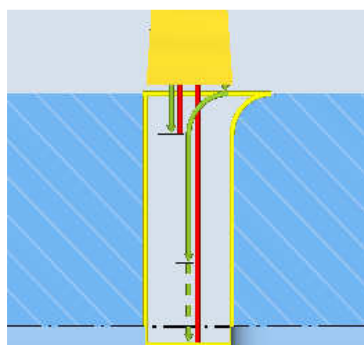
d) Valcový

e) Kuželový

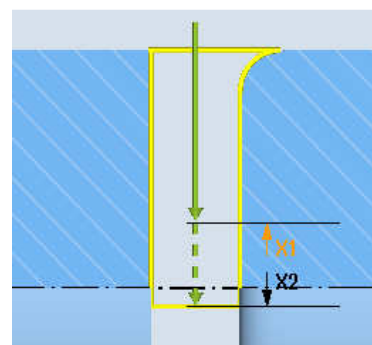
f) Čelný

Obr. 1.26 Závity

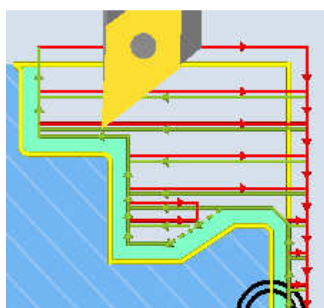
Posledným cyklom v programovom menu *Sústruženie* je operácia *upichovania* obr. 1.27, kde sa materiál oddelí od obrobku. Cyklus pri upichovaní umožňuje vytvoriť zrazenie alebo zaoblenie pre lepšiu manipuláciu s obrobkom. Nástroj sa do hĺbky X1 pohybuje s konštantnou reznou rýchlosťou alebo otáčkami. Od tejto hodnoty obr. 1.28 môže pracovať už iba s konštantnými otáčkami, ale taktiež môže byť znížený posuv alebo sa môžu znížiť otáčky, kvôli zmeňujúcemu sa priemeru. Hodnota X2 udáva, ako hlboko sa má vnoriť nástroj. [7]



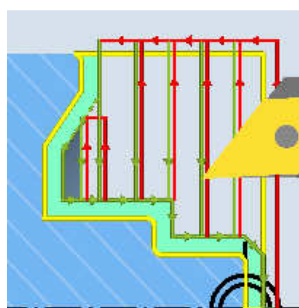
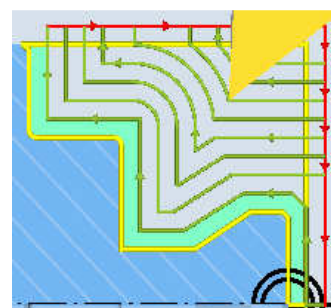
Obr. 1.27 Upichovanie

Obr. 1.28 Bod zmeny  
reznej rýchlosti

**Kontúrové sústruženie** je založené na odoberaní triesky podľa vopred definovanej hraničnej krivky, pričom smer pohybu nástroja môže prebiehať rovnobežne s osou obrobku obr. 1.29 a), v radiálnom smere obr. 1.29 b) alebo paralelne s kontúrovou krivkou obr. 1.29 c).







a) Pozdĺžne sústruženie

b) Priečne  
sústruženiec) Sústruženie súbežné  
s kontúrou

Obr. 1.29 Odľahčovacie zápichy

Pohyb nástroja je ohraničený z jednej strany krivkou, ktorá definuje príslušný tvar obrobku a z druhej strany polotovarom, ktorý môže byť nadefinovaný pomocou ďalšej kontúry. Následná postupnosť jednotlivých krokov potom vyzerá takto - krivka polotovaru – kontúra súčasti – stratégia obrábania v programovom podmenu *Odber triesok* obr. 1.30. [17]

|   |               |     |                                   |
|---|---------------|-----|-----------------------------------|
|  | Blank         |     | KONT_1                            |
|  | Fin. part     |     | KONT_2                            |
|  | Stock removal | ▽   | T=Roughing_tool F8.3/rev U=200m   |
|  | Stock removal | ▽▽▽ | T=Finishing_tool F8.15/rev U=300m |

Obr. 1.30 Postupnosť programových viet pri predpracovanom polotovare

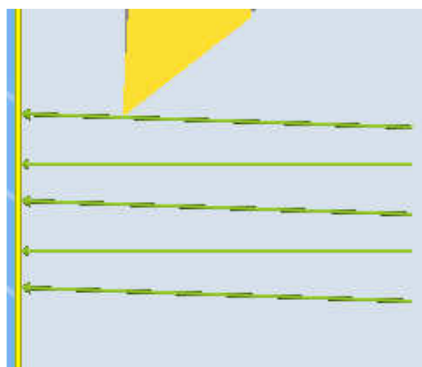
*Kontúra* sa skladá z jednotlivých prvkov, pričom jedna definovaná kontúra musí byť vytvorená minimálne dvoma a maximálne 250 prvkami. Okrem toho je možné medzi prvkami vytvárať zrazenia, rádiusy, odľahčovacie zápichy alebo tangenciálne prechody. Vytvorenie kontúry je možné aj z nedostatočne okótovaných prvkov vďaka integrovanému kontúrovému počítaču, ktorý vypočítava priesečníky jednotlivých prvkov a zároveň berie ohľad na geometrické súvislosti. Prvým krokom pri vytváraní novej kontúry je zadanie polohy počiatočného bodu a ďalej definujeme požadovanú krivku pomocou priamkových alebo kruhových prvkov. Okrem týchto príkazov je možné vkladať doplnkové príkazy vo forme G-kódu ako sú napr. príkazy posuvu a M-funkcií. Avšak je nutné dávať zreteľ, aby v dôsledku doplnkových príkazov nedochádzalo ku kolízii s generovaným G-kódom kontúry. Z tohto dôvodu nie je vhodné používať tieto príkazy G0, G1, G2, G3, žiadne súradnice v rovine a žiadne príkazy v G-kóde, ktoré vyžadujú samostatný blok. [7]

Kontúrové sústruženie ponúka tieto technológie obrábania:

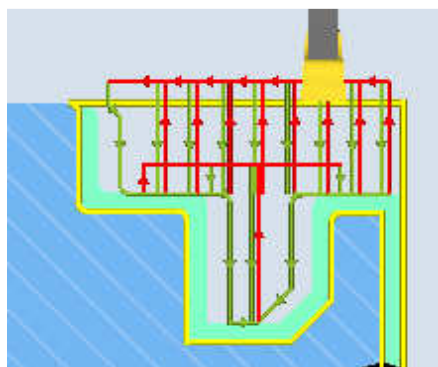
- Oddelovanie triesky
- Zapichovanie
- Zapichovacie sústruženie

U týchto operácií je nutné najprv obrábať nahrubo, odstrániť zbytkový materiál a obrábať načisto.

Pri cykle *Oddelovanie triesky* systém vychádza zo surového obrobku, ktorý môže byť definovaný valcom, prídavkom rozmeru na kontúre hotovej súčasti alebo ľubovoľnou kontúrou surového obrobku. Kontúra surového obrobku je uzavretá krivka, ktorá definuje daný tvar polotovaru a nachádza sa pred navrhnutou kontúrou hotovej súčasti. Za zmienku tiež stojí premenlivá hĺbka rezu obr. 1.31, vďaka ktorej sa nezaťažuje nástroj rovnako, čo vedie k zvýšeniu jeho životnosti. V systéme je taktiež možné nastaviť rozdelenie rezov alebo obmedzenie oblasti obrábania. Ak chceme zabrániť tvorbe dlhej triesky k dispozícii máme príkaz pre prerušenie posuvu. [7]

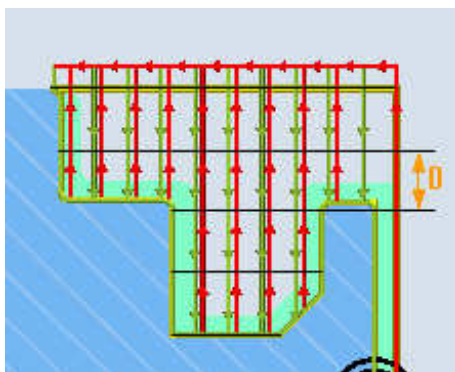


Obr. 1.31 Přeměnlivá hlúbka nástroja

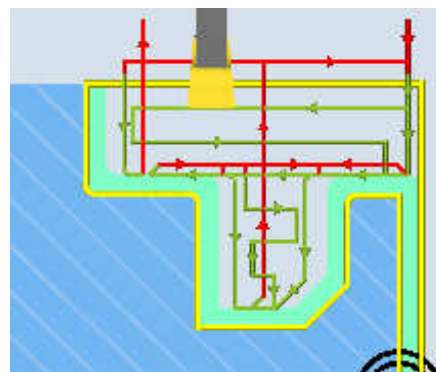


Obr. 1.32 Zapichovanie

*Zapichovanie* obr. 1.32 ako už vyplýva z názvu slúži na vytváranie zápichov pri kontúrovom sústružení. Postupné zapichovanie je ďalšou alternatívou pri vytváraní vonkajších, vnútorných, pozdĺžnych či čelných tvarov [17], avšak pred samotným naprogramovaním je potreba zadať kontúru zápichu. Nástroj vykonáva rezný pohyb v radiálnom smere, pričom v axiálnom smere polohuje nástroj pre ďalší rez. Nástroj sa vnára do materiálu o naprogramovanú hodnotu  $D$  obr.1.33, ktorá nesmie prekročiť dĺžku platničky rezného nástroja [17]. Nasleduje výjazd z rezu, pričom sa nástroj môže posunúť maximálne o 80% svojej šírky. K dispozícii máme tiež možnosť *zbytkového obrábania*, pri ktorom systém sám rozpozná eventuálny zbytkový materiál a generuje aktualizovanú kontúru surového obrobku, pričom prídavok na obrábanie načisto nepatrí do zbytkového materiálu. [7]



Obr. 1.33 Pohyb rezného nástroja



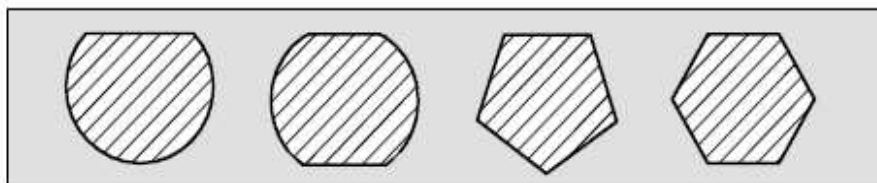
Obr. 1.34 Zapichovacie sústruženie

*Zapichovacie sústruženie* obr. 1.34 je ďalšou možnosťou kontúrového sústruženia. Oproti zapichovaniu sa rez nástroja vykonáva v dvoch smeroch, a to v axiálnom a radiálnom. To výrazne skráti čas výroby, avšak na druhú stranu je potreba použitia špeciálneho nástroja. [7]

**Frézovanie** je ďalšou operáciou trieskového obrábania, ktorú máme k dispozícii v systéme ShopTurn. Pomocou tejto funkcie môžeme vyrábať:

- Kapsy
- Čapy
- Drážky
- Viac hrany
- Gravírovanie

- Kontúrové frézovanie



Obr. 1.35 Viac hran [7]

Cyklus *viac hranu* je vhodný pre vytvorenie tvarov na obr. 1.35. Tie máme možnosť vytvoriť na čelnej ploche obrobku. Viac hran, ktorý ma viacej ako 2 hrany sa obchádza po špirále, ak má obrobok jednu alebo dve hrany, obrábajú sa jednotlivo obr. 1.36.

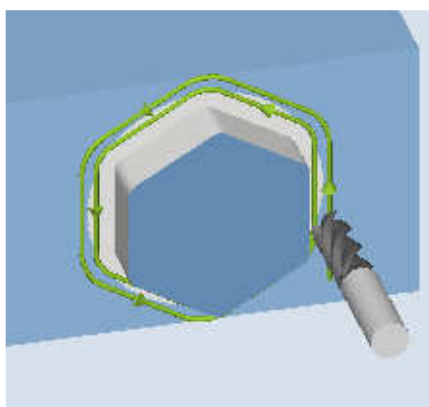
Ďalším príkazom sa detailnejšie budeme venovať v podkapitole ShopMill, ktorá je v prevažnej miere určená pre frézovanie.

Programové tlačidlo **Rôzne** v sebe obsahuje ďalšie rozšírenia, o ktorých sa stručne zmienime. Umožňuje vyvolanie podprogramu, opakovanie programových blokov, obrábanie s protivretenom, zmenu parametrov programu, vyvolanie posunutia počiatku definíciu transformácie súradnej sústavy atd.

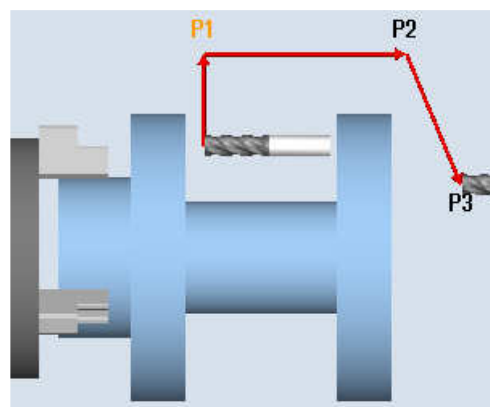
**Priamka, kruh** ponúka vykonanie jednoduchých lineárnych alebo kruhových pohybov po dráhe alebo obrábanie bez definovania kontúry. Ak programujeme jednoduché obrábacie operácie postupujeme nasledovne:

- Definícia nástroja a otáčok vretena
- Voľba roviny, v ktorej má obrábanie prebiehať
- Programovanie obrábania
- Programovanie prípadných ďalších operácií

Ďalším príkazom je odchod/príchod, ktorým môžeme skrátiť čas polohovania alebo riešiť odchod/príchod nástroja u geometricky zložitých obrobkov obr. 1.37. [7]

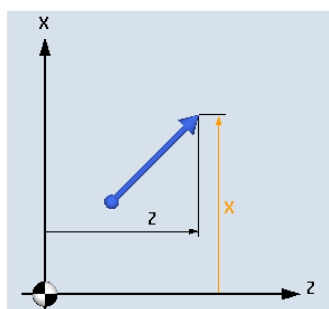


Obr. 1.36 Obrábanie viac hranu

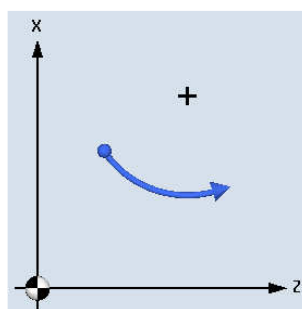


Obr. 1.37 Dráha odchodu nástroja

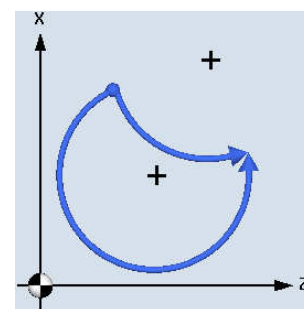
Pri cykle priamka, kruh si môžeme vybrať z viacerých možností pohybov nástroja obr. 1.38.



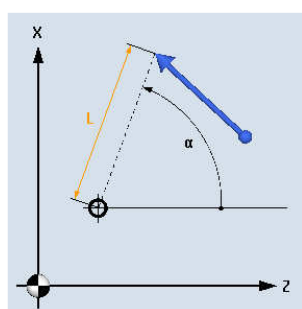
a) Po priamke



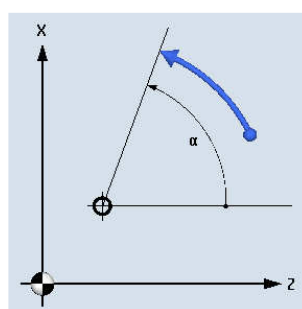
b) Po kruhu so známym stredom



c) Po kruhu so známym rádiusom



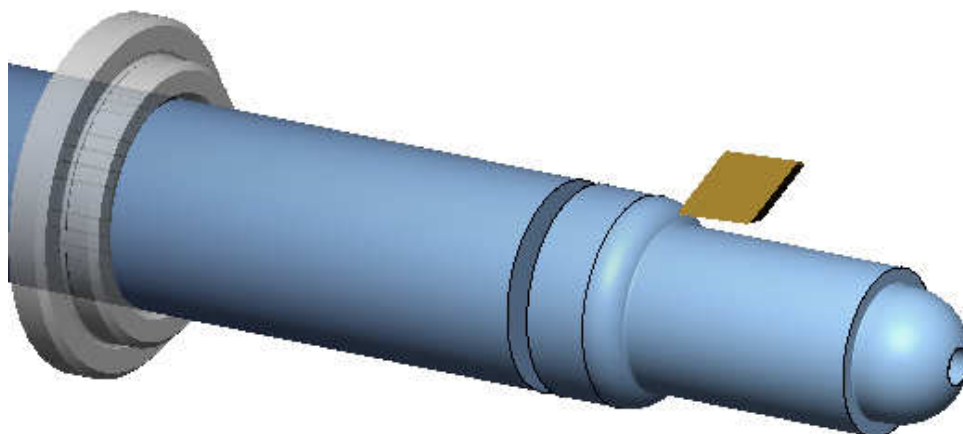
d) Po priamke v polárnych súradniciach



e) Po kruhu v polárnych súradniciach

Obr. 1.38 Pohyby nástroja

Cely program máme možnosť skontrolovať pomocou dynamickej **simulácie** obr. 1.39, bez toho aby sa daná súčiastka reálne vyrobila, pričom máme možnosť sledovať pohyb rezného nástroja. Týmto spôsobom môžeme odhaliť prípadné nedostatky v programovaní. Simulácia prebieha automaticky alebo krok po kroku, pričom sa môžeme prepínať medzi 2d a 3d pohľadom alebo približovať problémové miesta v programe, ktoré chceme prekontrolovať.



Obr. 1.39 Ukážka simulácie

### 2.3.2 ShopMill

Hlavnou oblasťou použitia je frézovanie jednotlivých strojných súčastí alebo malých dávok, ale taktiež umožňuje operácie vŕtania. Ovládanie systému je pomocou grafického rozhrania s nápovedou. Funkcie manuálneho režimu umožňujú rýchlu orientáciu zostavovania obrábacích procesov. Okrem týchto funkcií systém ponúka funkcie pre meranie pomocou sondy a prácu s parametrami nástroja. Editor pracovných postupov ako u spomenutého systému ShopTurn slúži pre grafické programovanie priamo na stroji. [18]

Systém ShopMill je prispôsobený pre programovanie na CNC frézovačkách a obrábacích centrách:

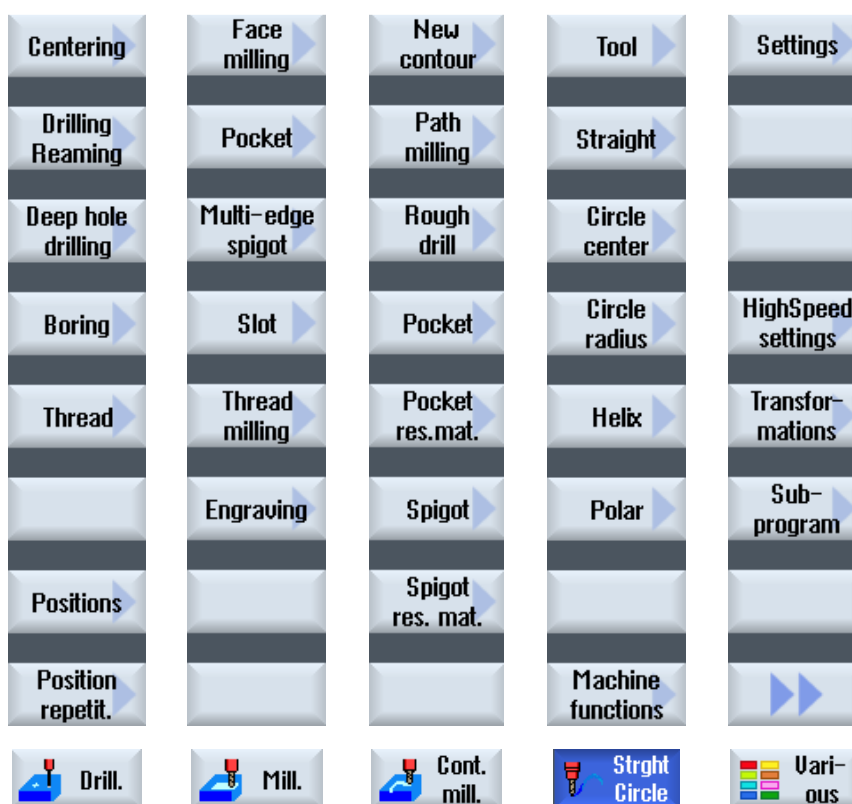
Vertikálne frézovacie stroje a centrá s tromi geometrickými osami a vertikálne frézovacie centrá s ďalším revolverovým upínaním systémom

- obrábanie je možné u valcových súčastí (transformácia valcovej plochy) a obrábanie z rôznych strán (otočná rovina)

Vertikálne frézovacie centrá s ďalším otočným systémom (otočný stôl, otočná hlava alebo zmiešaná kinematika)

- obsahujú manuálne otočné systémy spolu so snímacími systémami a otočné systémy s osami poháňanými servomechanizmami.

Ako už bolo spomenuté dielenské programovanie je založené na vytváraní cyklov, ktoré slúžia pre definíciu stratégie daného obrábania obr. 1.40. Jednotlivé cykly podobne ako u ShopTurn sa nachádzajú na horizontálnej lište. Po navolení cyklu sa nám zobrazí na vertikálnej lište programové menu daného cyklu. To sa môže ďalej vetviť. [19]



Obr. 1.40 Ponuka cyklov a ich podponuky

Program sa skladá z troch častí:

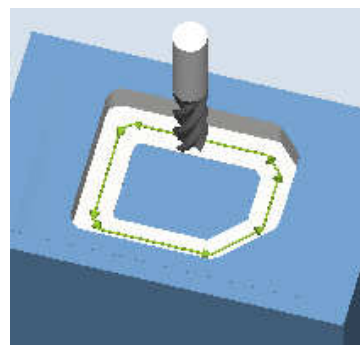
- Hlavička programu
- Programové bloky
- Koniec programu

Hlavička obsahuje základné informácie o rozmeroch polotovaru a parametroch ako sú napr. meracie jednotky (mm alebo palce) orientácia osi nástroja (X, Y, Z) a ďalej informácie o návratovej rovine, bezpečnostnej vzdialenosti a smere obrábania. [20]

### **Kontúrové frézovanie**

Umožňuje vytvárať jednotlivé tvary pomocou nadefinovanej kontúry a tie môžu byť uzavreté alebo otvorené napr. kapsy, čapy, alebo ostrovčeky. Ich nasledovné obrobenie môže byť vykonané pomocou cyklu pre frézovanie po dráhe alebo frézovacích cyklov. Samotná kontúra sa skladá minimálne z dvoch a maximálne z 250 prvkov, pričom pri ich prepojení môžeme použiť príkazy pre zrazenie, tvorbu rádiusu alebo tangenciálne prechody. [20]

*Frézovanie po dráhe* obr. 1.41 umožňuje obrábať pozdĺž ľubovoľnej kontúry. Funkcia pracuje s rádiusovými korekciami nástroja. Obrábanie je možné v smere alebo proti smeru kontúry, avšak pri obrábaní proti smeru kontúry máme k dispozícii iba 170 kontúrových prvkov. Kontúra pri obrábaní nemusí byť úplne uzavretá. Môžeme obrábať zvonku alebo zvnútra alebo po dráhe stredu nástroja. Pre príchod nástroja do miesta rezu môžeme použiť nabíehanie po štvrtkruhu, polkruhu alebo po priamke. [20]



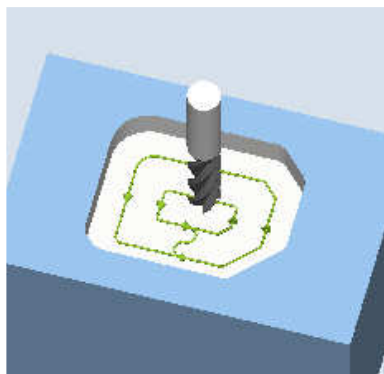
Obr. 1.41 Frézovanie po dráhe

Ďalším cyklom je *predvrtanie*. Jeho hlavný význam je u nástrojov, ktoré neumožňujú frézovať cez stred a je nutné predvrtávať. Počet daných predvrtaní závisí na danej aplikácii, nástroji atď. Cyklus predvrtania sa skladá z cyklu navrtania strediaceho otvoru a vlastného predvrtania. [20]

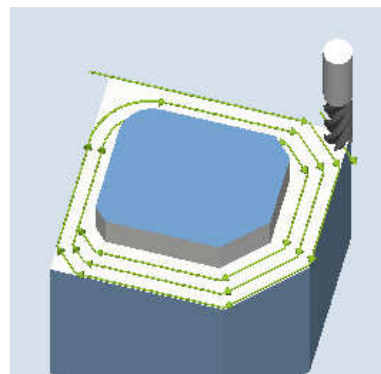
*Frézovanie kontúrovej kapsy* obr. 1.42 začína hrubovacou operáciou, po ktorej nasleduje zbytkové obrábanie a obrábanie načisto. Pred samotným programovaním je potreba nadefinovať kontúry. Systém ShopMill berie prvú kontúru ako kontúru kapsy a všetky ostatné ako ostrovčeky. Na základe kontúr a zvolenia odstraňovania triesky vytvára systém ShopMill program, ktorým sa kapsa s ostrovčkami obrába z vnútra von rovnobežne s kontúrou, pričom smer obrábania je nadefinovaný v hlavičke programu. Ak po obrobení nebolo z kapsy odstránené dostatočné množstvo materiálu umožňujúce obrobenie načisto, máme možnosť zbytkového obrábania. Zbytkový materiál sa detekuje automaticky systémom a vypočítava sa z frézovacieho nástroja. U frézovania načisto sa okraje a dno kapsy programuje v samostatných blokoch, pričom kapsa je obrobená naraz. Poslednou operáciou u frézovania kapsy je zrazenie hrán. [20]

*Frézovanie kontúrových čapov* obr. 1.43 je možné po zadaní kontúry surového obrobku a kontúry čapu. Kontúra surového obrobku určuje oblasť, mimo ktorú sa nenachádza žiaden materiál čiže v tejto oblasti sa môžeme pohybo-

vať rýchloposuvom. Materiál je odstraňovaný medzi kontúrou surového obrobku a čapu. Okrem hrubovacej a dokončovacej operácie máme opäť možnosť zbytkovo obrábať. U obrábania okraja načisto môžeme využiť aj iné riešenie, a to naprogramovať daný proces pomocou Frézovania po dráhe, pričom u tejto stratégie môžeme optimalizovať nábeh a odchod nástroja z rezu. Taktiež máme k dispozícii zrazenie hrán čapu. [20]



Obr. 1.42 Kontúrová kapsa



Obr. 1.43 Kontúrový čap

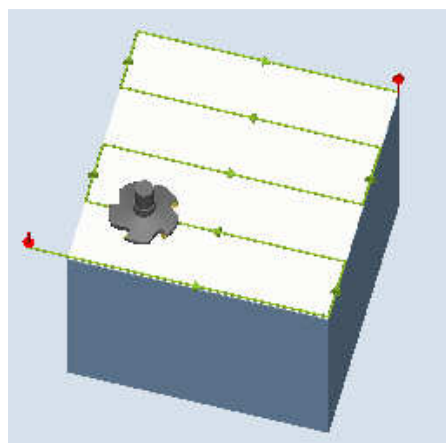
**Priamka, kruh** je určené pre jednoduché obrábacie operácie, kde sa nástroj pohybuje po určitej dráhe. Na začiatok programovania je nutné si zvoliť nástroj a určiť otáčky vretena. Prvou možnosťou je pohyb po *priamke*. Nástroj sa pohybuje posuvom alebo rýchloposuvom z aktuálnej polohy bodu do koncového bodu. Aby sa zamedzilo vzniku odchýlok medzi naprogramovanou a skutočnou dráhou, môžeme naprogramovať prvý pohyb po dráhe s korekciou rádiusu. Iná možnosť je pohyb po *kruhu so známym stredom*, kde sa nástroj pohybuje po kruhovej dráhe z aktuálnej pozície do koncového bodu, pričom je známa poloha stredy. Rádius oblúku je vypočítaný systémom na základe interpolačných parametrov. U pohybu po *kruhu so známym rádiusom* sa dopyčítava poloha stredy tiež pomocou riadiaceho systému. Pohyb nástroja v oboch prípadoch je vykonávaný pracovným posuvom. Ďalšou možnosťou je pohyb *po špirále*. Pomocou špirálnej interpolácie dochádza k superpozícií kruhového pohybu v rovine s lineárnym pohybom v osi nástroja, takže vzniká pohyb po skrutkovici. Pohyb *po polárnych súradniciach* je poslednou možnosťou v programovom menu priamka, kruh. S výhodou sa používa u súčiastok, ktoré majú vo svojej výkresovej dokumentácii kótované centrálny body tzv. póly pomocou rádiusov a uhlov. Pomocou polárnych súradníc môžeme programovať kruhové oblúky, ale aj priamky. Pre samotné programovanie pomocou polárnych súradníc, musíme definovať pól, ktorý je vzťažným bodom pre polárny systém, pričom uhol pre prvý kruhový alebo priamkový úsek musí byť naprogramovaný v absolútnych súradniciach. Priamka v polárnych súradniciach je definovaná rádiusom a uhlom. Tento uhol je vztiahnutý na osu X. Kruh je v polárnom systéme určený pomocou uhlu, ktorý je vztiahnutý k ose X. Nástroj sa pohybuje pracovným posuvom od aktuálnej pozície po kruhovej drážke do naprogramovaného koncového bodu. Rádius vzniká medzi aktuálnou polohou a pólom. [20] Jednotlivé obrázky vid' kap. 1.3.1 ShopTurn v časti priamka, kruh str. 28 obr. 1.38.

### Frézovanie

Po zvolení programového tlačidla *Frézovanie* máme na výber z viacerých možností, ako danú súčiastku obrobiť. Nasledujúce cykly sú:

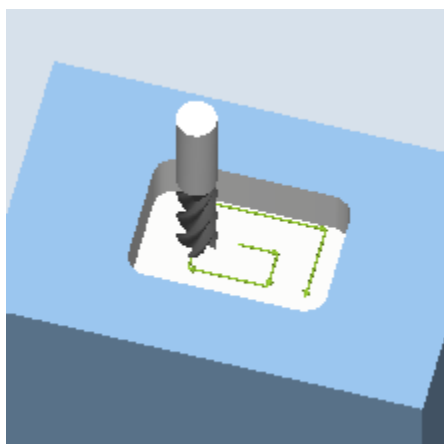
- Rovinné frézovanie
- Kapsa
- Čap
- Drážka
- polohovacie vzory
- Gravírovanie

Cyklus *Rovinné frézovanie* obr. 1.44 slúži pre obrábanie pravouhlých plôch. Cyklus rozlišuje obrábanie nahrubo a načisto. Obrábanie nahrubo sa prevedie niekoľkonásobným ofrézovaním plochy, pričom sa nástroj obracia nad hranou obrobku. Pri obrábaní načisto sa plocha obrobí jednorázovo, pričom sa nástroj obracia v bezpečnostnej vzdialenosti v rovine XY. Radiálny prísuv sa vykonáva mimo obrobok. [20]

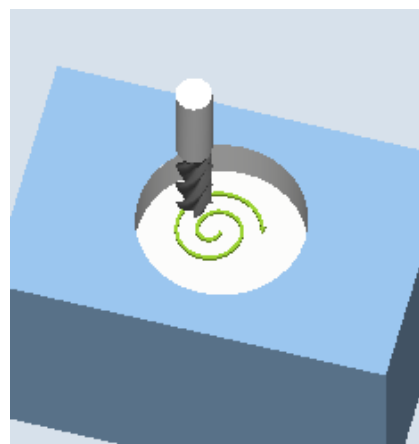


Obr. 1.44 Rovinné frézovanie

Cyklus *Kapsa* slúži na obrábanie vybraní. Umožňuje výber z dvoch variant, a to obrábanie *pravouhlej* obr. 1.45 alebo *kruhovej kapsy* obr. 1.46. Obrábanie je možné z plného materiálu alebo sa kapsa obrába z predvŕtaného otvoru. Príchod nástroja do rezu sa uskutočňuje pomocou špirály (vjazd nástroja po špirálnej dráhe), kývnym pohybom (vjazd kývnym pohybom okolo osi kapsy) alebo stredom (zvislý vjazd v strede kapsy). Taktiež je možné čiastočné opracovanie obrobenej pravouhlej plochy. Pri frézovaní kruhovej kapsy môžeme postupovať dvoma spôsobmi, obrábaním po rovinách alebo po špirále. Opracovanie má logickú postupnosť, kedy najprv hrubujeme a potom obrábame načisto. U obrábania načisto máme možnosť zvoliť, či sa bude obrábať celá kapsa alebo okraje prípadne dno. Konečnou operáciou je zrazenie hrán. [20]



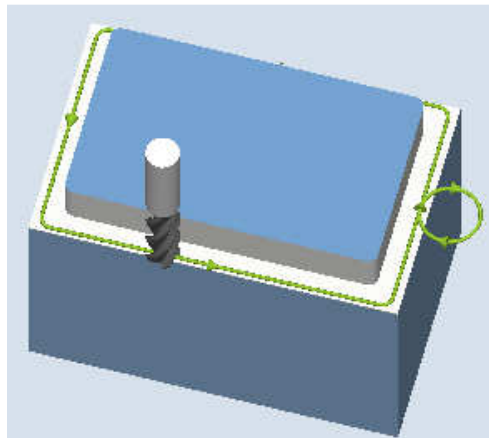
Obr. 1.45 Pravouhlá kapsa



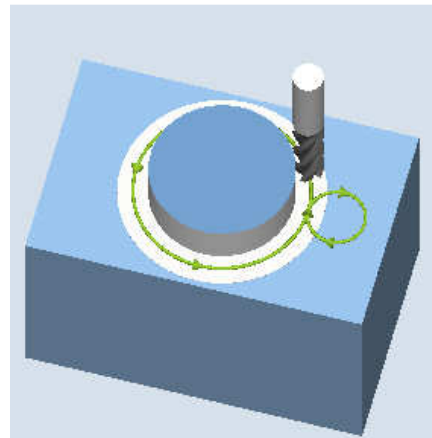
Obr. 1.46 Kruhová kapsa

Cyklus *Čap* podobne ako kapsa má dve varianty, *pravouhlý* obr. 1.47 a *kruhový* čap obr. 1.48. Pravouhlý čap môže nadobúdať týchto tvarov obr. 1.49.

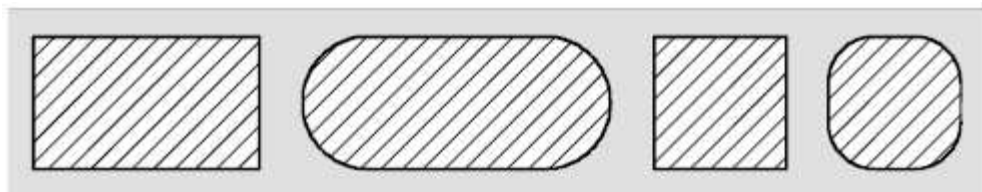
Aby sme daný čap mohli obrobiť je dôležité na začiatok nadefinovať surový čap, aby sme vedeli, v ktorej oblasti sa môžeme pohybovať rýchloposuvom. Jeho poloha sa automaticky umiestni sústredne okolo hotového čapu. Čap sa obrába na jeden prísuv. To znamená, že pokiaľ chceme obrábať súčiastku na viacej prísuvov, je potreba naprogramovať niekoľko blokov po sebe so znižujúcim sa prídavkom pre obrobenie načisto. [20]



Obr. 1.47 Pravouhlý čap



Obr. 1.48 Kruhový čap



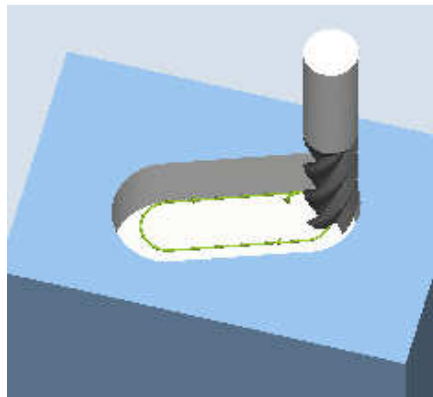
Obr. 1.49 Pravouhlý čap [20]

Cyklus *Drážka* v sebe obsahuje operácie ako *pozdĺžna*, *kruhová* obr. 1.50 alebo *otvorená drážka*. Stratégia ich výroby závisí na použiteľnom nástroji. Nástroj s britom cez stred umožňuje obrábať drážku z plného materiálu. Ak túto možnosť nemáme, postupujeme navítaním otvoru a následným obrobením drážky. Nástroj vchádza do rezu stredom (vchádza kolmo v strede pozdĺžnej drážky) alebo osciluje (vchod nástroja kývnym pohybom pozdĺž osi drážky). U frézovania kruhovej drážky musíme pri opracovaní dbať na minimálnu veľkosť nástroja.

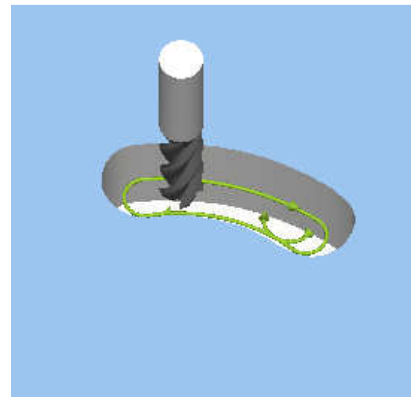
Obrábanie nahrubo:  $\frac{1}{2}$  šírky drážky  $W$  a prídavok pre opracovanie načisto  $UXY \leq \varnothing$  frézy

Obrábanie načisto:  $\frac{1}{2}$  šírky drážky  $W \leq \varnothing$  frézy

Obrábanie okrajov načisto: Prídavok pre opracovanie načisto  $UXY \leq \varnothing$  frézy



a) Pozdĺžna



b) Kruhová

Obr. 1.50 Drážky

U otvorenej drážky si podľa obrobku a obrábacieho stroja môžeme vybrať z dvoch stratégií:

- Trochoidné frézovanie
- Zapichovacie frézovanie

Trochoidná metóda obr. 1.51 bola vyvinutá pre frézovanie drážok vysokorýchlostným obrábaním. Umožňuje vytvorenie širšej drážky ako je samotný priemer frézy, čo vedie k použitiu jedného nástroja. Vzhľadom k tomu, že sa pri obrábaní používajú malé hodnoty radiálnej hĺbky rezu, môžeme použiť nástroj s malým zubovým rozstupom, a tým zvýšiť rýchlosť posuvu a reznú rýchlosť. [21] Okrajové podmienky pre trochoidné frézovanie:

Obrábanie nahrubo:  $\frac{1}{2}$  šírka drážky  $W$  a prídavok pre obrobenie načisto  $UXY \leq \varnothing$  frézy

Obrábanie načisto:  $\frac{1}{2}$  šírky drážky  $W \leq \varnothing$  frézy

Obrábanie okrajov načisto: Prídavok pre opracovanie načisto  $UXY \leq \varnothing$  frézy

Šírka drážky: Min.  $1,15 \times \varnothing$  frézy + prídavok na opracovanie načisto

Max.  $2 \times \varnothing$  frézy +  $2 \times$  prídavok na opracovanie načisto

Prísuv v radiálnom smere : Min.  $0,02 \times \varnothing$  frézy

Max.  $0,25 \times \varnothing$  frézy

Maximálne prísuvná hĺbka  $\leq$  rezná výška frézy

Zapichovacie frézovanie obr. 1.52 je považované za uprednostňovanú stratégiu pri hrubovacom procese výroby káps a drážok v prípade nestabilných geometrií stroja a obrobku. Pri tomto spôsobe pôsobia sily iba v smere rovnobežným s osou nástroja kolmo na dno drážky alebo kapsy. Z tohto dôvodu nedochádza takmer k žiadnej deformácii nástroja. Vďaka axiálnemu zaťaženiu nástroja neexistuje aj u labilných obrobkov takmer žiadne nebezpečie vzniku vibrácií. Hĺbku upnutia je tak možné výrazne zvýšiť. Preto je u zapichovacích fréz dosahovaná vyššia životnosť vďaka menším vibráciám.

Okrajové podmienky pre zapichovacie frézovanie:

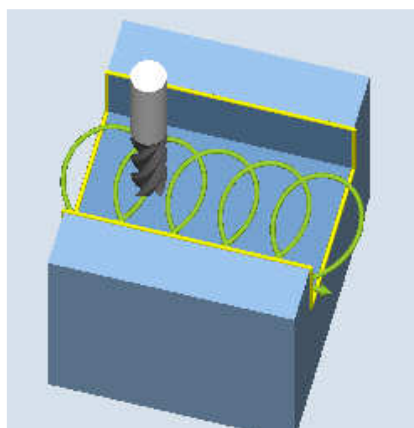
Max. radiálny prísuv: Závisí na šírke rezných platničiek

Veľkosť kroku: Veľkosť kroku v bočnom smere sa vypočítava z požadovanej šírky drážky, priemeru frézy a prídavku pre opracovanie načisto.

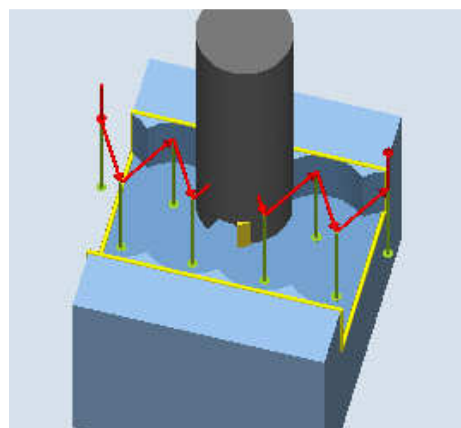
Spätný pohyb: Pokiaľ je uhol opásania menší ako  $180^\circ$ , po nabehnutí pod uhlom  $45^\circ$  sa uskutočňuje spätný pohyb s odchodom nástroja, inak sa spätný chod uskutočňuje ako u vŕtania kolmo k obrobku.

Odchod nástroja: Odchod nástroja kolmo na obrobenú plochu

Bezpečnostná vzdialenosť: Fréza vychádza do bezpečnostnej vzdialenosti nad koncom obrobku, aby sa zabránilo zaobleniu stien drážky na koncoch. [20]



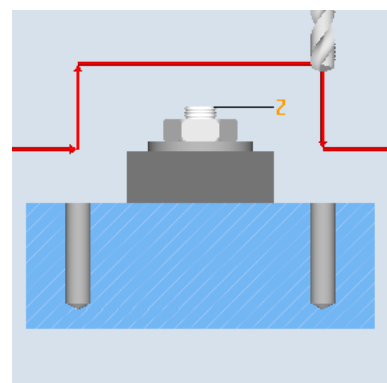
Obr. 1.51 Trochoidné frézovanie



Obr. 1.52 Zapichovacie frézovanie

Poslednou operáciou cyklu Frézovanie je gravírovanie. Slúži na vytváranie textu, ktorý môže byť orientovaný pozdĺž priamky alebo po kruhovom oblúku. Text môžeme zadávať priamo do textového poľa alebo ho môžeme priradzovať pomocou premennej ako variabilný text. Pri gravírovaní používa systém proporcionálne písmo, takže znaky sú rôzne široké. Pre výrobu premenných textov máme na výber rôzne možnosti napr. vytvorenie dátumu a času na danej výrobnej dávke, počet kusov, čísla, text. [20]

*Vrtanie* je ďalší cyklus, ktorý ShopMill ponúka. V prevažnej väčšine bola táto téma prebraná už pri cykle *Vrtanie* u ShopTurn, a keďže sa od seba skoro vôbec nelíšia, nebudeme jej venovať ďalšiu pozornosť. Za zmienku stojí programovanie prekážky napr. úpinka. Prekážku je možné programovať medzi dvoma polohovacími vzormi. Po ukončení prvého polohovacieho vzoru, nástroj vychádza na naprogramovanú výšku zväčšenú o hodnotu bezpečnostnej vzdialenosti a presúva sa na novú polohu, kde schádza na naprogramovanú hodnotu. Všetko sa deje pomocou rýchloposuvu obr. 1.53. [20]

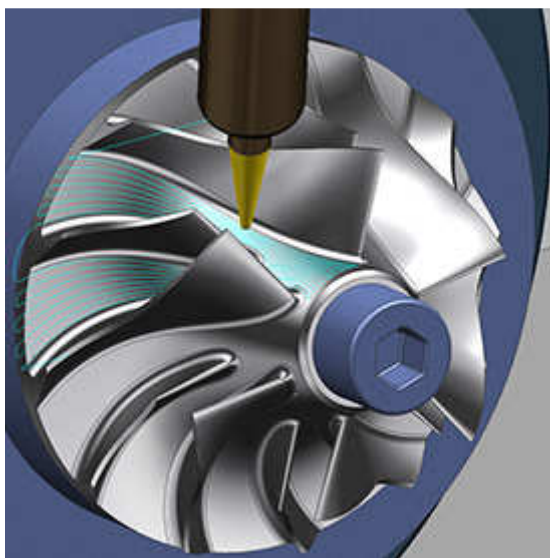


Obr. 1.53 Programovanie prekážky

## 2.4 Programovanie pomocou CAD/CAM technológie

CAD/CAM systémy sú momentálne vrcholom pri NC programovaní. Obrobok sa namodeluje v príslušnom 3D CAD systéme a v CAM sa na neho uplatní niektorá zo stratégií obrábania za vytvorenia NC dát (CL data). Prvotným krokom pre možnosť vytvorenia programu je nahranie modelu uloženého vo vhodnom formáte (IGES, STEP, SET atd.).[8] Keďže vo väčšine prípadov nie je model orientovaný v správnej polohe, je potreba upraviť jeho polohu a orientáciu tak, aby bolo možné danú súčasť obrobiť. Taktiež je potreba zväžiť akým nástrojom sa bude obrobok vyrábať. Po definícii nástroja môžeme

vkladať technologické parametre ako sú hĺbka rezu, otáčky a posuvové rýchlosti atd.. Postupnými krokmi sa dostaneme až k voľbe stratégie obrábania. Po vygenerovaní príslušných dráh nástroja ich môžeme dodatočne optimalizovať, kedy vhodnými úpravami môžeme doceliť zníženie namáhania stroja alebo z pohľadu obrábania minimalizovať tzv. obrábanie vzduchu a tým skrátiť celkový výrobný čas. Výstupom celého programovania sú CL data, v ktorých sú obsiahnuté informácie o polohe nástroja, súradniciach bodov a pohybe nástroja (posuv, rýchloposuv). Tento súbor dát je vstupom pre postprocesory, ktoré modifikujú jednotlivé údaje na data zrozumiteľné pre daný riadiaci systém obrábacieho stroja. Možnosti použitia takýchto systémov je pri málosériovej alebo kusovej výrobe, kde sa stretávame s komplikovanými 3D súčiastkami alebo zložitými tvarovými plochami obr. 1.54. Výhoda takýchto systémov tkvie v tvorbe modelu a následného generovania obrábacích dát pomocou jedného softvéru. Takýmito programami sú napr. Catia, NX, atd.



Obr. 1.54 Ukážka obrábania v systéme NX [22]

### 3 NÁVRH VÝROBY OBRÁBANÉHO KUSU

Pri navrhovaní súčiastky som sa snažili tvar obrobnku prispôbiť tak, aby sa na ňom mohli vykonať viacero z trieskových operácií ako je sústruženie, frézovanie a vŕtanie. Keďže výroba súčasti by na konvenčnom stroji bola ťažko realizovateľná, bolo nutné zvoliť stroj, s ktorým by daná výroba bola možná. Ďalším kritériom bolo vyrobenie súčasti na jedno upnutie, aby sa odstránil čas spojený s manipuláciou, pričom konečnou trieskovou operáciou by bolo upchnutie súčasti. Z toho dôvodu bol vybraný stroj SP180Y, ktorý má k dispozícii poháňané nástroje a programovateľný koník.

#### 3.1 Návrh súčasti

Súčasť Veža bola namodelovaná pomocou softvéru Autodesk Inventor 11. Základ tvorí vonkajšia tvarová kontúra, ktorá je zložená z viacerých prvkov a tie sú vo väčšine spojené rádiusmi obr. 2.1.



a) Navrhnutá súčasť



b) Sústružená kontúra

Obr. 2.1 Veža

### 3.1.1 Materiál súčasti

Keďže tvar súčiastky je zložitý, pri návrhu materiálu som vychádzal z viacerých kritérií. Materiál by mal byť dobre obrobiteľný, mal by odolávať korózii a mal by byť ľahký. Pomocou týchto kritérií som sa rozhodol pre materiál zo zliatiny hliníka kruhového prierezu vid' tab. 2.1.

| Akosť EN         | Stav          | Akosť EN AW        | Eloxo-<br>vateľnosť | Korozi-<br>vzdornosť | Triesková<br>obrobiteľnosť |
|------------------|---------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|
| Al99,5           | H14/24        | EN AW 1050A        | +++                 | +++                  | -                          |
| AlCu4PbMgMn      | T451          | EN AW 2007         | +, ○                | ○, -                 | +++                        |
| AlMg4,5Mn0,7     | H111          | EN AW 5083         | +                   | ++, +                | +                          |
| <b>AlMg3</b>     | <b>H12/22</b> | <b>EN AW 5754</b>  | <b>+++</b>          | <b>+++</b>           | <b>++, +</b>               |
| AlMgSiPb         | T66           | EN AW 6012         | +                   | +                    | ++                         |
| <b>AlMg0,7Si</b> | <b>T66</b>    | <b>EN AW 6063A</b> | <b>++</b>           | <b>++</b>            | <b>+</b>                   |
| <b>AlSi1MgMn</b> | <b>T6/651</b> | <b>EN AW 6082</b>  | <b>++, +</b>        | <b>++</b>            | <b>++,+</b>                |
| AlZn5,5MgCu      | T651          | EN AW 7075         | ○, -                | -                    | ++, +                      |

Tab. 2.1 Zliatiny hliníka [24]

|             |     |            |   |
|-------------|-----|------------|---|
| Výborná     | +++ | Dostatočná | ○ |
| Veľmi dobrá | ++  | Zlá        | - |
| Dobrá       | +   |            |   |

Výber materiálu je taktiež ovplyvnený tým, že sa súčasť po vyrobení bude ešte povrchovo upravovať kvôli estetickému vzhľadu. Ako povrchová úprava sa použije eloxovanie (anodická oxidácia hliníka). Pomocou tabuľky tab. 2.1 boli vybrané tri možnosti. Najlepšou možnosťou sa javí zliatina AlMg3,

ale tento materiál sa primárne vyrába vo forme dosiek a v mäkkom stave je zle obrábiteľný. Preto ako materiál vyberám **AlSi1MgMn**. Ďalším možným variantom je zliatina AlMg0,7Si.

### Zliatina hliníka AlSi1MgMn ČSN 424400

Zliatina hliníku pre tvárenie

Chemické zloženie (hm.%) tab. 2.2:

|     | Si  | Fe  | Cu  | Mn  | Mg  | Cr | Zn  | Ti   | Pb | Ostane(max) | Al    |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|------|----|-------------|-------|
| min | 0,7 |     |     | 0,4 | 0,7 |    |     |      |    |             | zbyt. |
| max | 1,4 | 0,5 | 0,1 | 1,0 | 1,2 |    | 0,2 | 0,05 |    |             |       |

Tab. 2.2 Chemické zloženie AlMg3 [25]

Charakteristické vlastnosti:

Konštrukčný a dekoračný materiál na stredne namáhané konštrukcie, od ktorých sa požaduje chemická stálosť, dobrá tvárnosť, lešiteľnosť a odolnosť proti korózii. Spevňovanie buď tvárnením za studena alebo tepelným spracovaním. Veľmi dobrá tvárnosť za teplôt 450 - 500°C. Použitie: súčasti so strednou pevnosťou ( $R_m = 300\text{MPa}$ ) dlhodobo pracujúci pri teplotách +50 až -70°C (resp. až pri kryogénnych teplotách), výrobky tvarovo zložité, tenkostenné, duté, nitované konštrukcie. Použitie na lietadlá a vozidlá, pre jemnú mechaniku, pre mliekarenský a iný potravinársky priemysel, v stavebnej architektúre (rámy, skrine železničných vagónov, nádrže, stavebné prepážky, potrubia, skrutky, ojnice, rotory, súčasti poľnohospodárskych, textilných a spracovateľských strojov, nosné konštrukcie). Farebné označenie: biela – modrá [25]

Mechanické vlastnosti AlSi1MgMn tab. 2.3:

|         | Rm      | Rp0,2   | A5  | Tvrdosť |
|---------|---------|---------|-----|---------|
| Stav    | [Mpa]   | [Mpa]   | [%] | HB      |
| T6/T651 | 275-310 | 240-260 | 6-9 | 84-94   |

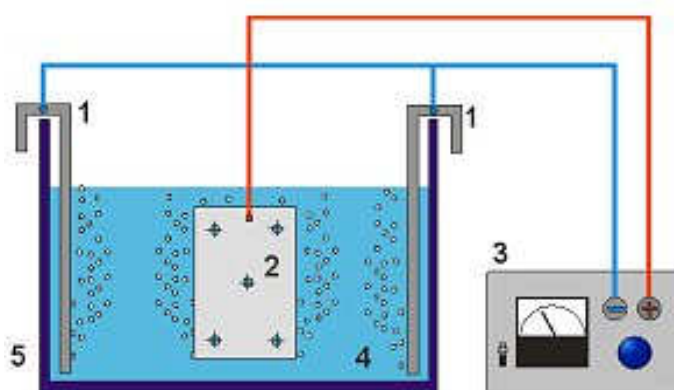
Tab. 2.3 Mechanické vlastnosti lisovaných tyčí [26]

### 3.1.2 Eloxovanie (Anodická oxidácia)

Anodická oxidácia spadá do procesov povrchových úprav hliníka a jeho zliatin. Hlavným cieľom je vytvorenie ochrannej vrstvy pomocou elektrochemickej reakcie. Táto vrstva okrem ochrannej funkcie, môže plniť aj funkciu estetickú a umožňuje nám napr. zmenu farby výrobku. Vrstva vzniká z oxidov hliníka, ktorá sa vytvára na jeho povrchu pri prechode jednosmerným alebo striedavým prúdom.

Princíp metódy:

Súčiastka určená k povrchovej úprave je umiestnená v elektrolytickom kúpeli a je zapojená ako anóda. Počas prechodu prúdu dochádza k elektrochemickej reakcii a tvorbe celistvej vrstvy oxidov, ktorá má výrazne lepšie vlastnosti ako základný materiál vid'. obr. 2.2.



Obr. 2.2 Eloxovanie (anodická oxidácia) [27]

1. Katóda
2. Anóda (Predmet určený k povrchovej úprave)
3. Prúdový zdroj
4. Elektrolytický kúpeľ
5. Kontajner s kúpeľom

Oxidická vrstva je výsledkom rovnovážneho stavu medzi tvorbou a spätným rozkladom vrstvy. Tento stav je ovplyvnený použitým typom elektrolytu, teplotou kúpeľa, trvaním anodizácie a prúdovou hodnotou. Chemické deje na povrchu substrátu prebiehajú podľa Faradayovho zákona. Oxidy sa tvoria podľa chemickej rovnice  $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$ . Rast vrstvy je funkciou materiálu substrátu, predúpravy povrchu a podmienok procesu anodizácie. Hrúbka vrstvy rastie so zväčšujúcim sa napätím a klesajúcou teplotou kúpeľa. Vrstva vzniká nad aj pod pôvodným povrchom, pričom u dekoratívnej anodizácie je rast v pomere 1:2. Časový priebeh anodizácie je väčšinou do 60 min. Podľa použitého prúdu rozlišujeme anodizáciu jednosmerným a striedavým prúdom. Striedavý prúd sa používa na zdobenie, kvôli vzniku slabšej vrstvy oxidu. Najčastejšie používaným elektrolytom je roztok  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (označenie S),  $(\text{COOH})_2$  (označenie X),  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{Cr}_4$  alebo rôzne kombinácie týchto kyselín. Anodizácia môže prebiehať za teplôt od  $-26$  do  $+15^\circ\text{C}$  a vyšších prúdových hustôt ( $2,5 - 8 \text{ A}\cdot\text{dm}^{-2}$ ). Tieto parametre sa používajú k vzniku tvrdej anodickej vrstvy, ktorá má ochrannú funkciu. Pri použití prúdovej hustoty  $1,2 - 2,5 \text{ A}\cdot\text{dm}^{-2}$  pri teplote  $15 - 25^\circ\text{C}$  vzniká vrstva pre dekoratívne účely. [31]

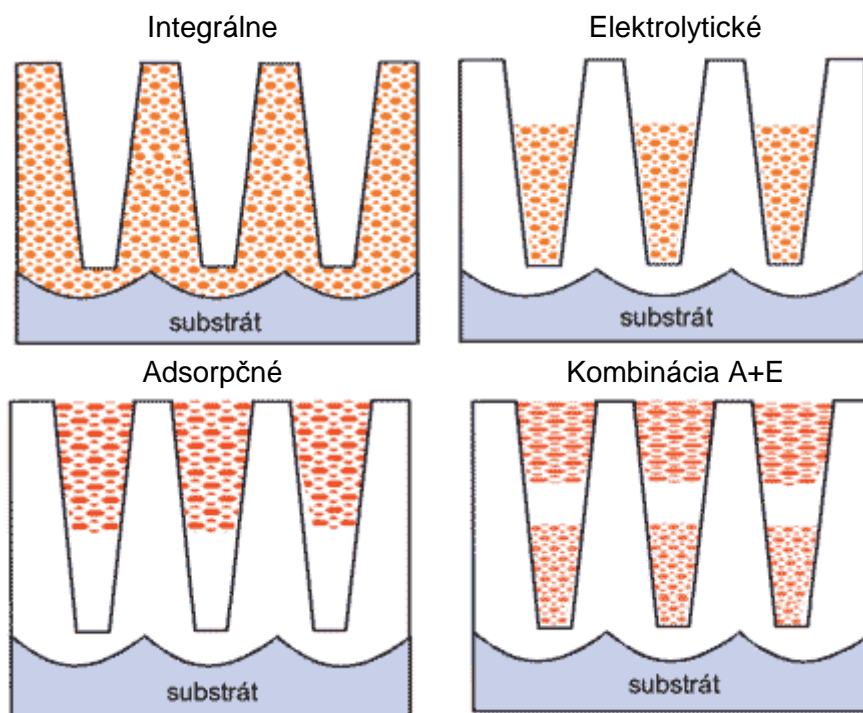
Prehľad metód a dosahovaných hrúbok vrstiev vid' tab. 2.4.

| Metóda                            | Farba vrstvy                      | Hrúbka vrstvy<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Použitie              |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| GS, GSX                           | Nezafarbená                       | 5 - 30                             | Domáce spotrebiče     |
| GS, GSX + adsorbčné farbenie      | Podľa odtieňu                     | 15 - 30                            | Architektúra, nábytok |
| GS, GSX + elektrolytické farbenie | Bronzová - čierna                 | 15 - 25                            |                       |
| Tvrdá anodizácia                  | Nezafarbená - šedá-hnedá - čierna | 25 - 200                           | Strojníctvo           |

Tab. 2.4 Metódy anodizácie [31]

### Základné princípy farbenia

Farebný odtieň u eloxovaných súčastí je možné vytvoriť počas anodizácie - integrálne farbenie alebo pri dokončovacích procesoch, kde sa farbivo ukladá do pórov anodickej vrstvy – adsorpčné (A), elektrolytické (E) alebo ich kombinácia obr. 2.3.



Obr. 2.3 Základné princípy farbenia anodickej vrstvy [31]

*Integrálne farbenie* môže prebiehať v špeciálnych elektrolytoch, ktoré pri vzniku vrstvy spôsobujú ich zafarbenie. Druhou možnosťou sú elektrolyty s legovacími prímiesami, ktoré sa ukladajú do oxidačnej vrstvy a tým vytvárajú sfarbenie. [26]

*Elektrolytické farbenie* je metóda využívajúca pórovitosť vrstvy. Po vzniku anodickej vrstvy sa súčasť umiestni do kúpeľa so soľami kovov. Za prítomnosti striedavého prúdu sa tieto soli rozkladajú a vzniknuté ióny kovov sa vylučujú v póroch. Tieto vrstvy majú nasledujúce vlastnosti: Odolné voči poveternostným podmienkam a vysokým teplotám, stále na svetle. Najčastejšie používané soli cínu a niklu. [26]

*Adsorpčné farbenie* taktiež využíva pórovitosť vrstvy. Prevádza sa bez prítomnosti prúdu v roztokoch anorganických či organických látok. Pre dosiahnutie vyššej sýtosti musí byť anodická vrstva vyššej poretity a hrúbky, pri vyššej koncentracii pigmentu a dlhšej doby farbenia. [31]

### 3.1.3 Obrábanie hliníka a jeho zliatin

Obrábanie Al zliatin nie je veľmi dobré a u niektorých prípadoch až problémové. Pre určenie obrábatelnosti sa v praxi používa kritérium podľa reznej rýchlosti, ktorú taktiež môžeme nazvať kinematická obrábatelnosť. Podľa účelovej obrábatelnosti môžeme povedať, že zliatiny hliníka sú všeobecne veľmi dobre obrábatelné, pretože sa pri opracovaní sústružením používajú vysoké rezné rýchlosti  $v_c = 200 - 2000 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Ako rezné materiály sa u mäkkých

zliatin môžu použiť nástroje z rýchloreznej oceli. Stredne tvrdé zliatiny sa obrábajú nástrojmi vyrobenými zo spekaných karbidov (SK-ISO K05-K10). U najtvrdších zliatin, s obsahom legujúcich prvkov Si 12-27% alebo u najnovších kompozitných materiálov na báze zliatiny hliníka a prísadami B<sub>4</sub>C či SiC, sa odporúčajú v hromadnej výrobe nástroje s hrotmi z polykrystalického diamantu PKD. Použitie je zapríčinené abrazívnym účinkom daných zliatin na rezný nástroj. [28]

Pre obrábanie hliníkových zliatin je rozhodujúca účelová obrábateľnosť podľa tvarovania triesky. Nevhodná trieska spôsobuje prerušenie obrábania skrz odstránenia triesky z pracovného priestoru. Podľa účelovej obrábateľnosti môžeme hliník a jeho zliatiny zaradiť do tried A až E, kde A znamená dobré tvarovanie triesky a E nevhodné (trieska má tvar plynulej stuhy). [28]

|                                       | A       | B       | C       | D        | E        |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|----------|----------|
| Zliatina                              | 2011-T3 | 2024-T4 | 6061-T6 | 3004-H32 | 1100-H12 |
| Rezná rýchlosť [m.min <sup>-1</sup> ] | 120     | 30      | 120     | 120      | 120      |
| Posuv [mm]                            | 0,152   | 0,264   | 0,264   | 0,264    | 0,264    |

Tab. 2.5 Hliníkové zliatiny s parametrami obrábania [28]

Zliatiny uvedené v tab. 2.5 sú označené podľa normy EN 573/3-1 a vyjadrujú:

1xxx - čistý hliník s rôznym stupňom nečistôt, 2xxx - zliatina na báze Al+Cu, 3xxx - zliatina na báze Al+Mn, 4xxx - zliatina na báze Al+Si, 5xxx - zliatina na báze Al+Mg, 6xxx - zliatina na báze Al+Mg+Si, 7xxx - zliatina na báze Al+Zn, 8xxx - zliatina na báze Al+iné prvky. Na obrábateľnosť materiálu priamo pôsobí mechanizmus plastickej deformácie v zóne rezania spolu so zložkami rezných síl a teplotným poľom. Obrábateľnosť podľa dosahovanej kvality obrobenej plochy je účelová obrábateľnosť. Používa sa na posúdenie vhodnosti obrábaných materiálov na dosiahnutie požadovanej drsnosti povrchu (R<sub>a</sub>, R<sub>z</sub>). Výsledná drsnosť obrobenej plochy závisí od:

- rezných podmienok (geometria nástroja)
- materiál obrobku (vysoká ťažnosť znižuje kvalitu povrchu, tvrdosť ju zvyšuje)
- materiál nástroja (opotrebenie)
- tuhosť sústavy stroj – nástroj – obrobok
- proces reznej kvapaliny [28]

### 3.1.4 Geometria rezných nástrojov

Pri sústružení sa odporúča pozitívna geometria rezného klina. Nástrojové uhly pre VRP-SK  $\alpha = 5 - 25^\circ$ ,  $\gamma = 5 - 25^\circ$ ,  $\kappa_r = 60 - 90^\circ$ ,  $\kappa_{r'} = 2 - 15^\circ$

$$\varepsilon_r = 33 - 90^\circ, r_\varepsilon = 0,1 - 0,8 \text{ mm}, \lambda = -4^\circ$$

Nástrojové uhly pre VRP-SK s hrotom PKD

$$\alpha = 6 - 8^\circ, \gamma = 0 - 6^\circ, \lambda = 0^\circ$$

Rezné materiály ako rezná keramika a polykrystalický kubický nitrid bóru nie sú vhodné pre obrábanie hliníka a jeho zliatin a taktiež nástroje s negatívnou geometriou rezného klínu. [28]

AL-zliatiny tvárnené za studena sa obrábajú relatívne ľahko, hoci rezné sily sú o málo vyššie ako v mäkkom stave. Voči sústruženiu ocelí sú rezné sily

menšie a predstavujú cca 30 % hodnôt pre ocele. Teplota rezania pri pozitívnej geometrii a leštenom čele VRP-SK je menšia (o cca 250 – 400 °C). Pozitívna geometria a leštené čelo pri špeciálnom utvárači triesok spôsobujú správne tvarovanie triesky v širokom rozsahu posuvov a hĺbok rezu. [28]

### 3.1.5 Voľba Nástrojov

Keďže obrobok nie je veľkých rozmerov, nástroje boli vybrané pre polohrubovacie a dokončovacie operácie. Technické údaje a rezné podmienky jednotlivých rezných nástrojov sú umiestnené v prílohe3. Zoznam nástrojov použitých pri obrábaní viď tab. 2.6. a obr. 2.4.

Tab. 2.6 Zoznam nástrojov

| č. | Nástroj                               |                          | Operácia    |
|----|---------------------------------------|--------------------------|-------------|
|    | Držiak                                | Platnička                |             |
| 1  | SCLCL 2020K 09                        | CCGX 09 T3 08-AL 1810    | Sústruženie |
| 2  | SVHBL 2020K 16                        | VCGX 11 04 08-AL H10     |             |
| 3  | LF123H13-2020BM                       | N123H2-0400-0004-TM H13A |             |
| 4  | LF123H13-2020BM                       | N123H1-0400-RS CD10      |             |
| 5  | 151.2-21-30                           | L151.2-300 05-4E H13A    |             |
| 6  | HSS-PM 14 mm GARANT 19 1634           |                          | Frézovanie  |
| 7  | HSS- Co8 10mm GARANT 19 1100          |                          |             |
| 8  | HSS- Co8 TiAlN 4mm GARANT 19 1050     |                          |             |
| 9  | HSS-Co8 12 mm GARANT 19 1280          |                          |             |
| 10 | HSS-E UNI 6mm DIN 6539 WNT 10 710 060 |                          | Vŕtanie     |

| Loc. | Type | Tool name  | ST | D | Length X | Length Z | Radius |   |       |    |      |
|------|------|------------|----|---|----------|----------|--------|---|-------|----|------|
| 1    |      | NO2_09     | 1  | 1 | 0.000    | 0.000    | 0.000  | ← | 95.0  | 80 | 9.0  |
| 2    |      | NO2_11     | 1  | 1 | 0.000    | 0.000    | 0.400  | ← | 93.0  | 35 | 11.0 |
| 3    |      | ZAPICH_4   | 1  | 1 | 0.000    | 0.000    | 0.400  |   | 4.000 |    | 24.6 |
| 4    |      | ZAPICH_R_2 | 1  | 1 | 0.000    | 0.000    | 2.000  |   | 4.000 |    | 22.2 |
| 5    |      | UPICH_3    | 1  | 1 | 0.000    | 0.000    | 0.300  |   | 3.000 |    | 0.0  |
| 6    |      | FR_14      | 1  | 1 | 0.000    | 0.000    | 7.000  |   | 4     |    |      |
| 7    |      | FR_10      | 1  | 1 | 0.000    | 0.000    | 5.000  |   | 2     |    |      |
| 8    |      | FR_4       | 1  | 1 | 0.000    | 0.000    | 2.000  |   | 2     |    |      |
| 9    |      | FR_12      | 1  | 1 | 0.000    | 0.000    | 6.000  |   | 3     |    |      |
| 10   |      | UR_6       | 1  | 1 | 0.000    | 0.000    | 3.000  |   | 118.0 |    |      |
| 11   |      | UR_3.15    | 1  | 1 | 0.000    | 0.000    | 3.500  |   | 90.0  |    |      |
| 12   |      |            |    |   |          |          |        |   |       |    |      |
| 13   |      |            |    |   |          |          |        |   |       |    |      |
| 14   |      |            |    |   |          |          |        |   |       |    |      |
| 15   |      |            |    |   |          |          |        |   |       |    |      |
| 16   |      |            |    |   |          |          |        |   |       |    |      |
| 17   |      |            |    |   |          |          |        |   |       |    |      |

Obr. 2.4 Zoznam nástrojov na obrábacom stroji

Pri sústružení načisto sa dosiahne lepšieho povrchu pri dôkladnom chladení, preto ako reznú kvapalinu volíme FEROMAD SC 19 AL, ďalšie technické údaje vid' príloha 4. Návrh kvapaliny bol vybraný podľa jej vlastností a použitia. Pri výbere neboli zohľadnené finančné výdavky spojené s jej likvidáciou.

### 3.1.6 Návrh rezných podmienok

*Sústruženie nožom SCLCL 2020K 09*

*Čelné sústruženie (zarovnanie čela)*

|                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| rezná rýchlosť  | 300 m.min <sup>-1</sup> |
| posuv na otáčku | 0,1 mm                  |
| hĺbka rezu      | 1 mm                    |

*Polohrubovacie sústruženie (predhrubovanie na priemer Ø26)*

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad [30] \quad (2.1)$$

Kde: d [mm] priemer obrobku alebo nástroja  
n [min<sup>-1</sup>] otáčky

Pre priemer d=32, otáčky n=4500 min<sup>-1</sup>  $v_c = \frac{\pi \cdot 32 \cdot 4500}{1000} = 452 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Pre priemer d=26, otáčky n= 4500 min<sup>-1</sup>  $v_c = \frac{\pi \cdot 26 \cdot 4500}{1000} = 367 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

|                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| rezná rýchlosť  | 380 m.min <sup>-1</sup> |
| posuv na otáčku | 0,2 mm                  |
| Hĺbka rezu      | 1.5 mm                  |

*Sústruženie drieku zapichovaním, platnička N123H2-0400-0004-TM H13A*

Pre priemer d=26, otáčky n=4500 min<sup>-1</sup>  $v_c = \frac{\pi \cdot 26 \cdot 4500}{1000} = 367 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Pre priemer d=13, otáčky n=4500 min<sup>-1</sup>  $v_c = \frac{\pi \cdot 13 \cdot 4500}{1000} = 183 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

|                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| rezná rýchlosť  | 190 m.min <sup>-1</sup> |
| posuv na otáčku | v smere x 0,1 mm        |
|                 | v smere z 0,2 mm        |
| hĺbka rezu      | 2 mm                    |

*Sústruženie drieku zapichovaním, platnička N123H1-0400-RS CD10*

*- dokončovanie*

Pre priemer d=13, otáčky n= 4500min<sup>-1</sup>  $v_c = \frac{\pi \cdot 13 \cdot 4500}{1000} = 183 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

$$R_a = \frac{43,9 \cdot f_{ot}^{1,88}}{r_\epsilon^{0,97}} \rightarrow f_{ot} = \sqrt[1,88]{\frac{R_a \cdot r_\epsilon^{0,97}}{43,9}} \quad (2.2)$$

$$f_{ot} = \sqrt[1,88]{\frac{0,8 \cdot 2^{0,97}}{43,9}} = 0,16 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$$

kde: R<sub>a</sub> [µm] stredná drsnosť obrobeného povrchu  
f<sub>ot</sub> [mm.ot<sup>-1</sup>] posuv  
r<sub>ε</sub> [mm] rádius zaoblenia špičky nástroja

|                 |           |                         |
|-----------------|-----------|-------------------------|
| rezná rýchlosť  |           | 180 m.min <sup>-1</sup> |
| posuv na otáčku | v smere x | 0,1 mm                  |
|                 | v smere z | 0,16 mm                 |
| hĺbka rezu      |           | 1 mm                    |

*Sústruženie hlavy nožom SVJBL 2020K 11-B1*

|                 |  |                         |                |
|-----------------|--|-------------------------|----------------|
| rezná rýchlosť  |  | 200 m.min <sup>-1</sup> | polohrubovanie |
| posuv na otáčku |  | 0,2 mm                  |                |
| hĺbka rezu      |  | 1,5 mm                  |                |
| rezná rýchlosť  |  | 300 m.min <sup>-1</sup> | dokončovanie   |
| posuv na otáčku |  | 0,15 mm                 |                |
| hĺbka rezu      |  | 1 mm                    |                |

*Vytvorenie otvoru frézou HSS-Co8 14 mm GARANT 19 1634*

|                 |  |                         |
|-----------------|--|-------------------------|
| rezná rýchlosť  |  | 138 m.min <sup>-1</sup> |
| posuv na zub    |  | 0,029 mm                |
| posuv na otáčku |  | 0,12 mm                 |

*Dokončenie kruhovej kapsy frézou HSS-Co8 10 mm GARANT 19 1100*

|                |  |                        |
|----------------|--|------------------------|
| rezná rýchlosť |  | 83 m.min <sup>-1</sup> |
| posuv na zub   |  | 0,029 mm               |

*Frézovanie drážok HSS-Co8 TiAlN 4 mm GARANT 19 1050*

|                |  |                        |
|----------------|--|------------------------|
| rezná rýchlosť |  | 50 m.min <sup>-1</sup> |
| posuv na zub   |  | 0,008 mm               |

*Frézovanie viac hranu HSS-Co8 12 mm GARANT 19 1280*

|                |  |                        |
|----------------|--|------------------------|
| rezná rýchlosť |  | 83 m.min <sup>-1</sup> |
| posuv na zub   |  | 0,021 mm               |

*Vrtanie HSS-E UNI DIN 1897 WNT 10107060*

|                 |  |                        |
|-----------------|--|------------------------|
| rezná rýchlosť  |  | 67 m.min <sup>-1</sup> |
| posuv na otáčku |  | 0,2 mm                 |

*Upichovanie nožom 151.2-21-30*

|                 |  |                         |
|-----------------|--|-------------------------|
| rezná rýchlosť  |  | 200 m.min <sup>-1</sup> |
| posuv na otáčku |  | 0,1 mm                  |

### 3.1.7 Charakteristika obrábacieho stroja SP180Y

Obrábací stroj SP180Y obr. 2.5 od firmy KOVOSVIT MAS a.s. je univerzálne sústružnícke centrum, ktoré ponúka mnoho možností pri výrobe rozličných súčiastok. Stroj má robustný základ a spolu s ložami dávajú stroju vysokú tuhosť. Stroj je vybavený výkonnými vretenovými jednotkami, ktoré sú poháňané vstavanými synchronnými motormi, ktoré dávajú vretenu vysokú dynamiku a výkonnú rotačnú osu C. Koník, pravý vreteník a suporty lineárnych osí sa pohybujú po valivom vedení, čím dávajú stroju vysokú presnosť polohovania a interpolovania pohybu osí. Tuhosť trojosého prevedenia horného suportu zaisťuje riešenie s virtuálnym pohybom osi Y, ktorý je zložený z interpolácií reálnych osí X a Y' zvierajúci uhol 30°. Možnosť programovania pohybu telesa koníka redukuje zásahy obsluhy do obrábacieho procesu.

SP180Y je možné vybaviť viacerými riadiacimi systémami od firiem ako sú Siemens, Fanuc alebo Heidenhain. V našom prípade využijeme možnosť stroj vybaviť riadiacim systémom Sinumerik 840D s dielensky orientovaným programovaním ShopTurn od firmy Siemens.[23] Technické data o stroji vid' tab. 2.7



Obr. 2.5 Univerzálne sústružnícke centrum SP180Y [23]

Stroj je možné vybaviť aj ďalším zvláštnym príslušenstvom. V našom prípade bude stroj ešte vybavený lopatkou na odber dielcov po upichnutí. Tá môže byť obložená pre zníženie možnosti poškodenia obrobku.

Obrobok môžeme upnúť do skľučovadla alebo do klieštín s hydraulickým upínaním. Výhodou klieštinového upínača je: menší zdvih – rýchlejšie upnutie, viac priestoru pre upichovanie – teleso klieštinového upínača je menšie ako skľučovadlo. Upínanie volím pomocou klieštinového upínača SPANNAX TS 42/5D vid' príloha5.

Tab. 2.7 Technické údaje stroja SP180Y [23]

| Technické údaje  |                                  |                      | SP 180Y |
|------------------|----------------------------------|----------------------|---------|
| Pracovný rozsah  | Obežný priemer nad ložom         | [mm]                 | 530     |
|                  | Max. priemer sústruženia         | [mm]                 | 180     |
|                  | Max. dĺžka sústruženia           | [mm]                 | 325     |
|                  | Počet vretien                    |                      | 1       |
|                  | Počet nástrojových hláv          |                      | 1       |
| Hlavné vreteno   | Max. priemer tyče                | [mm]                 | 43      |
|                  | Výkon hlavného motoru            | [kW]                 | 16,8    |
|                  | Max. otáčky vretena              | [min <sup>-1</sup> ] | 6000    |
| Nástrojová hlava | Počet polôh                      |                      | 12      |
|                  | Max. otáčky nástrojového vretena | min <sup>-1</sup>    | 5000    |
| Koník            | Kužel dutiny – MORSE             |                      | Mo 5    |
| Rozmery stroja   | Dĺžka                            | [mm]                 | 3875    |
|                  | Šírka                            | [mm]                 | 2122    |
|                  | Výška                            | [mm]                 | 2345    |
|                  | Hmotnosť                         | [kg]                 | 7500    |

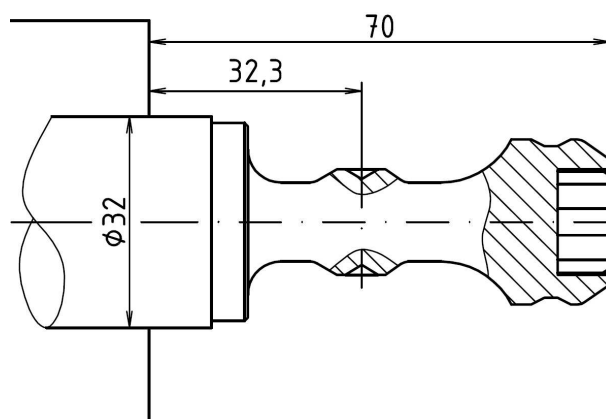
### 3.2 Návrh technológie výroby

Pri navrhovaní sledu operácií, sa vychádzalo z navrhnutého výrobného výkresu VEŽA vid' príloha 1. Program bol spracovaný užívateľskom prostredí ShopTurn vo výukovej verzii Sinutrain Operate 2.6.1.

Súčiastka bude vyrábaná z polotovaru tyčového materiálu EN AW 6082 T6. Keďže konečnou trieskovou operáciou vykonanou na obrábacom stroji bude upichovanie, polotovar bude podávaný pomocou LNS HYS 6.42 (tyče od pr.6mm, max. dĺžka 3000mm). Aj z tohto dôvodu som uprednostnil výber tyčového materiálu pred odliatkom, pretože u odliatku by nastal problém s upínaním.

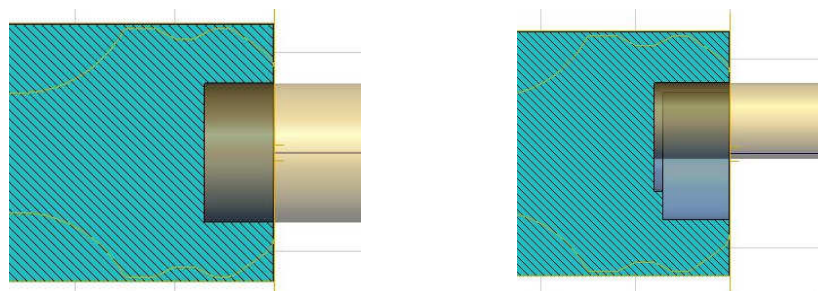
#### Spracovanie CNC programu pomocou ShopTurn

Úplným začiatkom práce po vytvorení súboru VEŽA.mpf bolo vyplnenie základných údajov o polotovare vrátane jeho upnutia. Priemer tyče v našom prípade činí 32mm. Vyloženie z klieštín bolo zvolené po konzultácii s p. Janom Stejskalom z firmy KOVOSVIT MAS. Vyloženie musí byť minimálne 30 mm od osi frézovania viac hranu, aby sa predišlo kolízii s klieštinovým upínačom obr. 2.6.



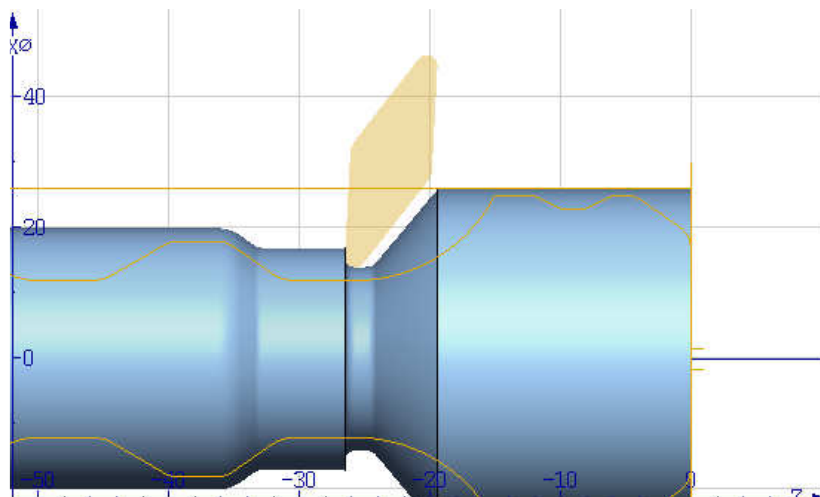
Obr. 2.6 Zobrazenie odsadenia od klieštín

Prvou operáciou je zarovnanie čela obrobku načisto, po ktorom nasleduje operácia hrubovania vonkajšieho plášťa. Všetko sa uskutočňuje pomocou jedného nástroja. Ďalším krokom bola zvolená výroba otvoru  $\text{Ø}16$ . Ten môžeme vytvoriť buď cyklom vytvorenia kruhovej kapsy frézovaním alebo stredovým vŕtaním pomocou drážkovacej frézy. Nevýhodou vŕtania je, že pri spätnom pohybe s veľkou pravdepodobnosťou vznikne ryha v tvare špirály. Preto som navrhol postup, pri ktorom sa najprv diera predvŕta na rozmer  $\text{Ø}14$  pomocou drážkovacej frézy a následne sa drážka obrobí načisto na požadovanú hodnotu dna a priemeru obr. 2.7.



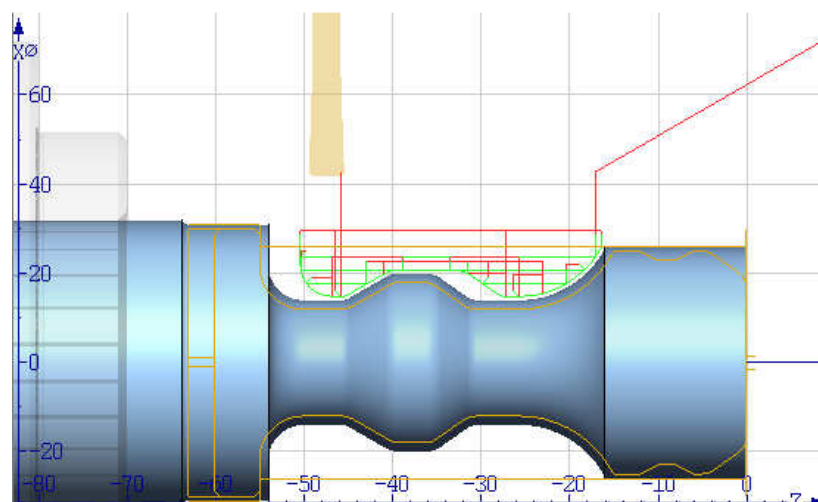
Obr. 2.7 Vytvorenie otvoru

Ďalšou operáciou je vyhrubovanie tvarovej kontúry drieku. Pri tejto operácii sa vytvára problém so zanorením nástroja pri výrobe rádiusu R12. Voľba ľavého sústružníckeho noža so štandardnou VRP nie je veľmi dobrým riešením, pretože pri zanorení noža dochádza k značnej zmene predpísaného prídavku pre obrábanie načisto. Nástroj nedokáže kopírovať tvar kontúry, a tak v mieste rádiusu necháva nežiaduci prídavok obr.2.8.

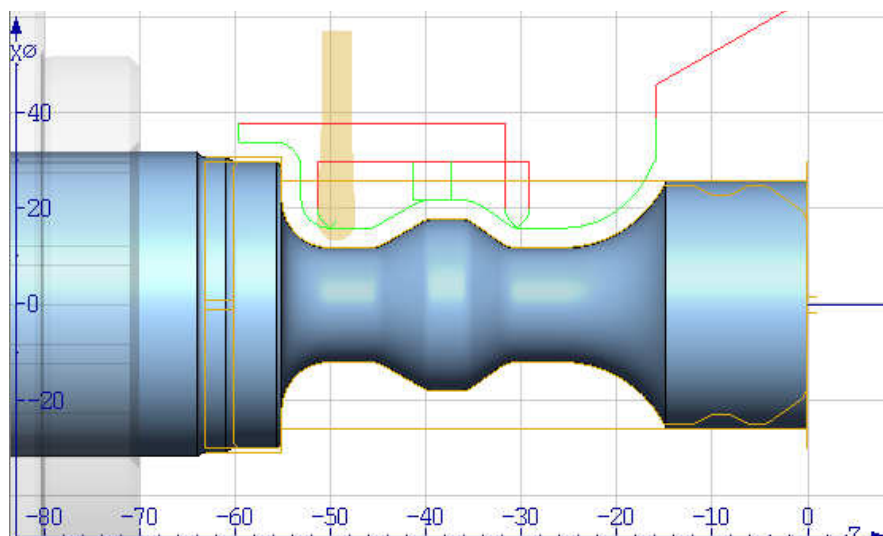


Obr. 2.8 Zanorenie nástroja

Kvôli tomuto nedostatku som pre vyhrubovanie a následné dokončenie drieku použil stratégiu zapichovacieho sústruženia. Pri tomto sústružení sa nástroj pohybuje v radiálnom aj axiálnom smere, čo umožňuje obrobiť aj materiál v mieste rádiusu. Pre tento druh sústruženia bolo potrebné zvoliť špeciálnu VRP. Prvotným návrhom bola platnička s polomerom špičky 3mm. Po odsimulovaní obrábania som zistil, že v miestach rádiusov R3 vznikol väčší prídavok na obrábanie, ako bolo predpísané v programe, a preto som zvolil VRP s plochou reznou hranou a šírkou reznej platničky 4mm, ktorá súčiastku obrobila s požadovaným prídavkom obr. 2.9. Pri obrábaní načisto bola zvolená platnička s rádiusom špičky 2mm, aby sa docielilo čo najkvalitnejšieho povrchu obr. 2.10.



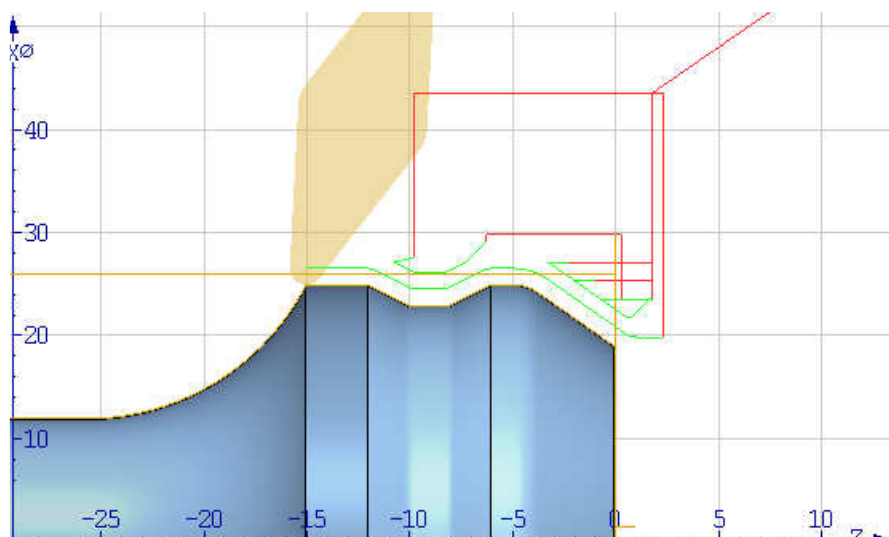
Obr. 2.9 Vyhrubovanie tvarového drieku veže



Obr. 2.10 Sústruženie tvarového drieku veže načisto

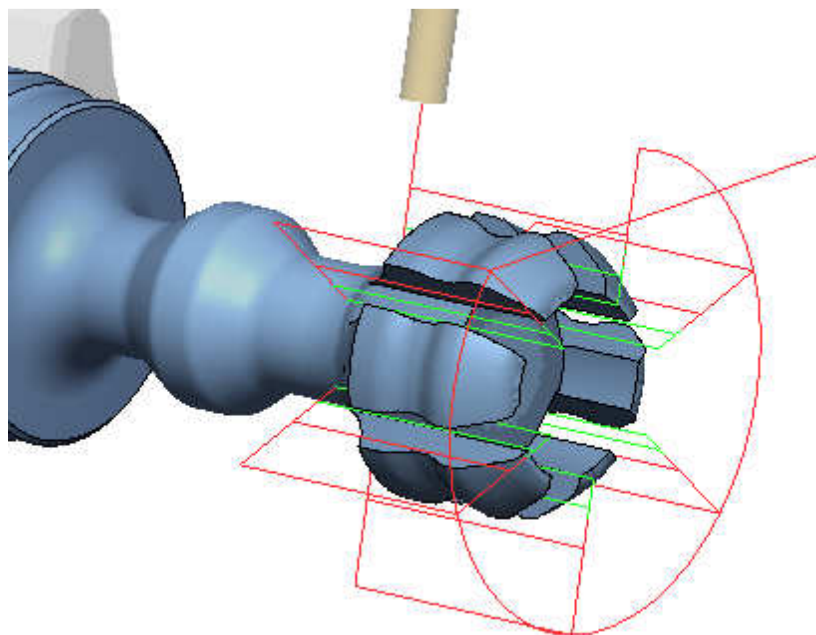
Pri dokončovaní drieku Veže sa v miestach rádiusov zvolil menší posuv ( $f=0,1\text{mmot}^{-1}$ ) pre lepšie kopírovanie tvaru krivky a pre zníženie možnosti vzniku vibrácií.

Nasledujúcou operáciou je dohrubovanie kontúry hlavičky so zanorením nástroja a vytvorením zápichu na jej povrchu. Aby nástroj čo najpresnejšie kopíroval tvar zápichu, opäť sa na zraziach zvolil nižší posuv. Následne sa celá kontúra obrobí načisto obr. 2.11



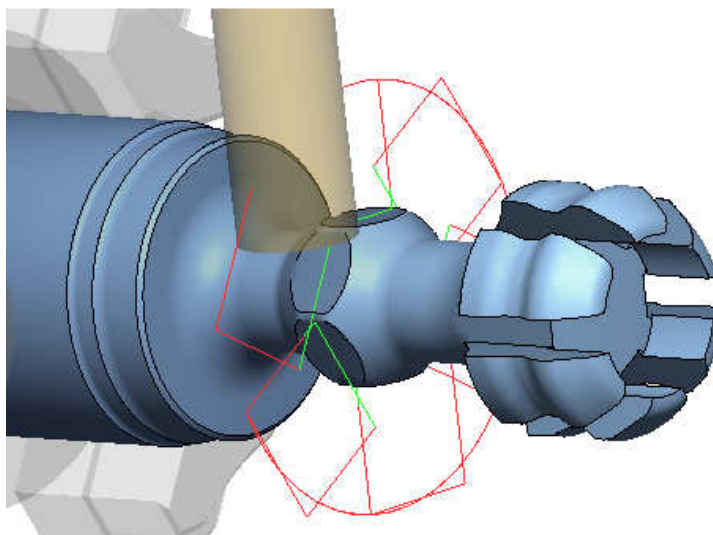
Obr. 2.11 Vyhrubovanie a dokončenie hlavy veže

Pri obrábaní hlavy veže pokračujeme tvorbou drážok, ktoré nám vo výsledku vytvoria cimburie. Dráha frézy je naprogramovaná pomocou kontúry a následné opracovanie je pomocou cyklu frézovanie po dráhe. Aby sme dosiahli rovnomerné rozmiestnenie drážok po celom obvode hlavy veže, polotovar pootáčame pomocou vretena o  $60^\circ$  cyklom rotácie osi C obr. 2.12.



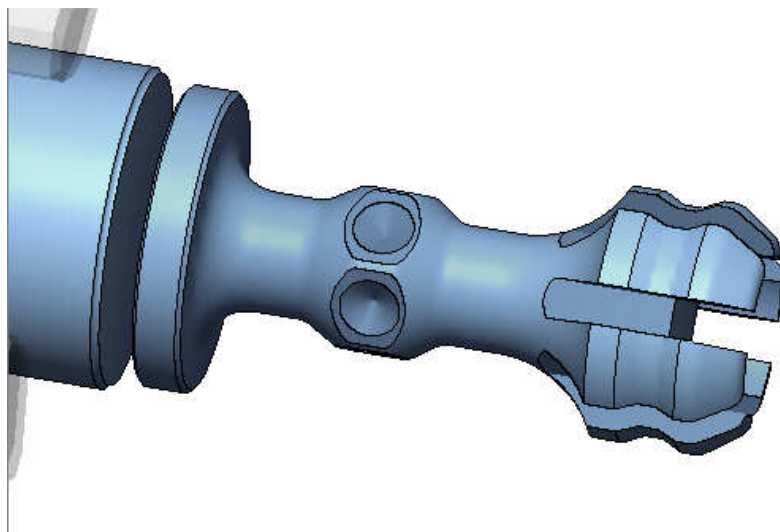
Obr. 2.12 Vytvorenie drážok

Podobne sa naprogramuje aj obrábanie viac hranu na drieku Veži. Pred samotným obrábaním sa ešte pootočí osa C o  $30^\circ$ . Dráha nástroja je naprogramovaná v smere osi Y pri použití cyklu frézovania po dráhe obr. 2.13. Na plochách vytvorených frézovaním sa následne navrtávajú radiálne otvory v tvare špičky vrtáku s vrcholovým uhlom  $118^\circ$ . Postupuje sa obdobne ako u predchádzajúcich prípadoch a navrtávanie sa strieda s pootáčaním osi C o  $60^\circ$ .



Obr. 2.13 Vytvorenie viac hranu

Poslednou trieskovou operáciou je upichnutie, pri ktorom sa vytvorí zrazenie. Pri použití ľavej platničky nevznikne na dne súčasti výstupok po upichovaní. Nevýhodou je väčšie zaťaženie nástroja ako pri použití neutrálnej platničky a nižšia životnosť. Pri použití takejto platničky treba dbať aj na to, aby sa posuv pri dorezaní znížil (25%), kvôli redukcii vibrácií. Vhodné je tiež znížiť reznú rýchlosť. Výsledná súčasť po obrobení vyzerá nasledovne obr. 2.14. Ukážka časti programu obr. 2.15, celý program vid' prílohu č.6



Obr. 2.14 Ukážka obrobenej súčiastky Veža

| Local drive/Diplomka/VEZA |      |                 |     | 18                                     |
|---------------------------|------|-----------------|-----|--|
| P                         | N10  | Program header  |     | Work offset G54                        |
|                           | N20  | Stock removal   | ▽▽▽ | T=NOZ_09 F0.1/rev U=300m Face X0=30    |
|                           | N30  | Contour         |     | KONTURA_PREDHRUB                       |
|                           | N40  | Stock removal   | ▽   | T=NOZ_09 F0.2/rev U=300m               |
|                           |      | Drilling        |     | ⊕ T=FR_14 F0.12/rev U=83m Z1=-7        |
|                           |      | ØØ7: Positions  |     | ⊕ Z0=0 CP=0 X0=0 Y0=0                  |
|                           |      | Circular pocket | ▽▽▽ | ⊕ T=FR_10 F0.021/t U=83m X0=0 Y0=0     |
|                           | N60  | Contour         |     | KONTURA_VEZA                           |
|                           | N70  | Part            | ▽   | T=ZAPICH_4 FX0.2/rev FZ0.2/rev U190m   |
|                           | N80  | Part            | ▽▽▽ | T=ZAPICH_R_2 FX0.16/rev FZ0.16/rev     |
|                           | N90  | Contour         |     | UYBRANIE                               |
|                           | N100 | Stock removal   | ▽   | T=NOZ_11 F0.3/rev U=200m               |
|                           | N110 | Stock removal   | ▽▽▽ | T=NOZ_11 F0.3/rev U=300m               |
|                           | N120 | Contour         |     | ⊕ DRAZKA                               |
|                           | N130 | Path milling    | ▽▽▽ | ⊕ T=FR_4 F0.04/t U=50m Z=12.5 Z1=-5inc |
|                           | N140 | C axis rotation |     | C=60                                   |
|                           | N150 | Contour         |     | ⊕ DRAZKA_60                            |
|                           | N160 | Path milling    | ▽   | ⊕ T=FR_4 F0.04/t U=50m Z=12.5 Z1=-5inc |
|                           | N170 | C axis rotation |     | C=120                                  |
|                           | N180 | Contour         |     | ⊕ DRAZKA_120                           |

Obr. 2.15 Ukážka programu Veža

Tento variant výroby bol vypracovaný bez podoprenia koníkom. Ak by pri výrobe dochádzalo k vibráciám, ktoré by znehodnotili nástroj alebo obrábanú súčasť, je potreba použiť koník pre zvýšenie tuhosti upnutia. V tom prípade sa zmení aj technológia výroby. Najprv sa zarovná čelo, následne sa navŕta strediaci otvor a súčiastka sa podoprie hrotom. Ďalšou operáciou je obrobenie tvarovej kontúry, pričom po skončení operácie sústruženia sa koník uvoľní a pokračuje sa vyvŕtaním otvoru a vyfrézovaním kapsy na čele súčiastky. Postupne sa na hlave vytvoria drážky. Nasleduje frézovanie viac hranu

a navŕtanie otvorov na drieku a upichnutie súčiastky. Program doplnený o naprogramovanie koníku vid' obr. 2.16

| Local drive/Diplomka/VEZA_S_KONIKOM |      |                 |     | 37                                     |
|-------------------------------------|------|-----------------|-----|--|
| P                                   | N10  | Program header  |     | Work offset G54                        |
|                                     | N20  | Stock removal   | ▽▽▽ | T=N02_09 F0.1/rev U=300m Face X0=30    |
|                                     | N30  | Centering       |     | ⊕ T=UR_3.15 F0.025/rev U=42.097m       |
|                                     | N40  | 009: Positions  |     | ⊕ Z0=0 CP=0 X0=0 Y0=0                  |
| G                                   | N50  | M27¶            |     |  |
|                                     | N60  | Contour         |     | KONTURA_PREDHRUB                       |
|                                     | N70  | Stock removal   | ▽   | T=N02_09 F0.2/rev U=300m               |
|                                     | N80  | Contour         |     | KONTURA_VEZA                           |
|                                     | N90  | Part            | ▽   | T=ZAPICH_4 FX0.1/rev FZ0.1/rev         |
|                                     | N100 | Part            | ▽▽▽ | T=ZAPICH_R_2 FX0.1/rev FZ0.1/rev       |
|                                     | N110 | Contour         |     | UYBRANIE                               |
|                                     | N120 | Stock removal   | ▽   | T=N02_16 F0.3/rev U=200m               |
|                                     | N130 | Stock removal   | ▽▽▽ | T=N02_16 F0.3/rev U=300m               |
| G                                   | N140 | M28¶            |     |  |
|                                     | N150 | Drilling        |     | ⊕ T=FR_14 F0.025/rev U=83m Z1=-7       |
|                                     | N160 | 008: Positions  |     | ⊕ Z0=0 CP=0 X0=0 Y0=0                  |
|                                     | N170 | Circular pocket | ▽▽▽ | ⊕ T=FR_10 F0.021/t U=83m X0=0 Y0=0     |
|                                     | N180 | Contour         |     | ⊕ DRAZKA                               |
|                                     | N190 | Path milling    | ▽   | ⊕ T=FR_4 F0.04/t U=50m Z=12.5 Z1=-5inc |

Obr. 2.16 Ukážka programu Veža s programovaným koníkom

Koník programujeme pomocou M-funkcií. Po navŕtaní strediaceho otvoru sa program preruší a v ručnom režime sa súčasť podoprie koníkom pomocou nožného ovládača a následne sa opäť uvoľní. Pritom sa automaticky zapíše upínacia poloha pre automatický režim pre funkciu M27. Potom sa program opätovne spustí v automatickom režime. Pre uvoľnenie koníka v automatickom režime môžeme použiť príkaz M28 (uvoľnenie koníka) alebo M25 (uvoľnenie koníka do krajnej upínacej polohy).

Program bol naprogramovaný aj pomocou ISO kódu v programovacom prostredí Sinutrain Operate 2.6.1. Hlavnou výhodou takéhoto programovania, je detailnejšie popísanie dráhy nástroja. Tým môže programátor redukovať čas a zefektívniť tak výrobu. Zredukovanie výrobného času pri sériovej výrobe čo i len o pár sekúnd, môže v konečnom výsledku viesť k veľkým úsporám. Ukážka celého programu je v prílohe č.7.

```

N10 G54 G18 G90 DIAMON
N20 G0 X200 Z10
N30 M6 T1 D1
;STRANOVY UBERACI NOZ
N40 G96 S280 M4
N50 LIMS=5000
N60 G0 X34 Z1
N70 G1 Z0 F0.1 M8
;ZAROVNANIE CELA
N80 G1 X-1.6
N90 G0 Z1

```

N100 X31  
;HRUBOVANIE PLASTA  
N110 G96 S380 F0.2  
N120 G1 Z-63  
N130 G0 X32  
N140 Z1  
N150 X26  
N160 G1 Z-54  
N170 G0 X32 M9  
N180 X200 Z10  
;FREZA FI 14  
N190 M6 T6 D1  
N200 G96 S138 F0.13  
N210 G0 X0 Z3 M8  
;VŔTANIE OTVORU  
N220 CYCLE82(3,0,1,-8,,0,0,1,12)  
N230 X200 Z10 M9  
;FRÉZA FI 10  
N240 M6 T7 D1  
N250 G96 S83 M8  
N260POCKET4(3,0,1,8,16,0,0,8,0.01,0.01,0.029,0.029,0,12,40,9,8,0,2,0,1,2,1  
0100,111,110)  
N270 G0 X200 Z10 M9  
;ZAPICHOVACI NOZ  
N280 M6 T3 D1  
N290 G96 S190 F0.2  
N300 G0 X27 Z-15 M8  
;SÚSTRUŽENIE KONTURY DRIEKU  
N310  
CYCLE952("DRIEK", "", 101311,0.1,0.2,0,2,0.1,0.1,1,1,0.1,1,1,26,1,,,,,2,2,1,30,  
0,1,,0,32,1000110)  
N320 X200 Z10 M9  
;ZAPICHOVACI NOZ R2  
N330 M6 T4 D1  
N340 G96 S180 F0.2  
N350 G0 X27 Z-15 M8  
;SÚSTRUŽENIE KONTURY DRIEKU NAČISTO  
N360  
CYCLE952("DRIEK", "", 101321,0.1,0.16,0,1.5,0.1,0.1,1,1,0.1,1,1,26,0,,,,,2,2,1,  
30,0,1,,0,32,1000110)  
N370 X200 Z10  
;KOPIROVACI NOZ  
N380 M6 T2 D1  
N390 G96 S200 M8  
N400 G0 X26 Z2

## ZÁVER

Cieľom diplomovej práce bolo objasnenie problematiky programovania pomocou riadiaceho systému Sinumerik 840D. Táto problematika je veľmi široká, a preto zameranie práce bolo, čo najstručnejšie vysvetliť princípy a metódy programovania.

Pre realizáciu experimentu bola navrhnutá tvarovo zložitá súčiastka v tvare šachovej figúrky, na ktorú boli použité cykly obsiahnuté v systéme ShopTurn. Keďže v momentálnej situácii sa v školských laboratóriách nenachádza sústružnícke centrum, pomocou ktorého by sa dala súčiastka vyrobiť, bol navrhnutý stroj SP180Y spolu s poháňanými nástrojmi a programovateľným koníkom. Výstupom experimentu je dynamická simulácia vo výukovom programe Sinutrain Operate 2.6.1, ktorý je prakticky identický z ovládacím panelom obrábacieho stroja.

Pri obrábaní sa použili nástroje od rôznych výrobcov. Pre sústružnícke operácie sa použili platničky od firmy Sandvick Coromant a frézy od firmy Garant. Tvarové plochy drieku súčiastky sa obrábali pomocou zapichovacieho sústruženia, kvôli lepšej možnosti obrobenia tvarových plôch. Ako materiál bola zvolená zliatina hliníka. Polotovár je vo forme tyčového materiálu pre jeho lepšie možnosti upnutia ako odliatok. Keďže sa výroba previedla iba v simulačnom prostredí, výroba nebola optimalizovaná, dôraz sa kládol na životnosť nástrojov.

Pre diplomovú prácu boli navrhnuté:

Technologická dokumentácia obsahujúca výkres a technologický postup  
Program vytvorený pomocou dielenského programovania ShopTurn a ISO  
Nástrojové vybavenie od rôznych výrobcov  
Stroj a príslušenstvo

**ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV**

[1] MAJERÍK, J.; BAJČÍK, Š. Programovanie CNC obrábacích strojov : Spôsoby a úrovne. *Strojárstvo* [online]. 2008, č. 12, [cit. 2011-02-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.strojarstvo.sk/inc/casopis/122008/42-43.pdf>>.

[2] *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2011-01-27]. Sinumerik slaví půlstoletí. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/sinumerik-slavi-pulstoleti>>.

[3] *Siemens press picture* [online]. 2010 [cit. 2011-01-27]. 50 years of SINUMERIK – timeless and reliable. Dostupné z WWW: <[http://www.siemens.com/press/pool/de/pressebilder/2010/drive\\_technologies/072dpi/idt2010052321-01\\_072dpi.jpg](http://www.siemens.com/press/pool/de/pressebilder/2010/drive_technologies/072dpi/idt2010052321-01_072dpi.jpg)>.

[4] URBANOVÁ, R. Programovanie CNC obrábania. *Výrobné inžinierstvo* [online]. 2007, č.1, [cit. 2011-02-26]. Dostupný z WWW: <<http://web.tuke.sk/fvtpo/journal/pdf07/1-str-38-39.pdf>>.

[5] URBANOVÁ, R; HAVRILA, M. Súčasný systémy dielenského programovania. *Výrobné inžinierstvo* [online]. 2007, č. 2, [cit. 2011-02-27]. Dostupný z WWW: <<http://web.tuke.sk/fvtpo/journal/pdf07/2-str-31-35.pdf>>.

[6] POLZER, A. Technický týdeník : Příklady úloh CNC programování [online]. c2011 [cit. 2011-03-24]. Dílenské programování v systémech ShopTurn. Dostupné z WWW: <[http://www.techtydenik.cz/priklady\\_cnc.php](http://www.techtydenik.cz/priklady_cnc.php)>.

[7] SIEMENS – AUTOMATIZACE A POHONY [online]. c2011 [cit. 2011-03-24]. SINUMERIK 840D sl ShopTurn. Dostupné z WWW: <[http://cache.automation.siemens.com/dnl/zM/zM0Mjk4MwAA\\_28739059\\_HB/BATsl\\_0108\\_cz.pdf](http://cache.automation.siemens.com/dnl/zM/zM0Mjk4MwAA_28739059_HB/BATsl_0108_cz.pdf)>.

[8] *E-learning Sinumerik 820T* [online]. 2003 [cit. 2011-03-26]. Typy programovania NC. Dostupné z WWW: <[http://www.kvs.sjf.stuba.sk/sinumeric/typy\\_programovania.html](http://www.kvs.sjf.stuba.sk/sinumeric/typy_programovania.html)>.

[9] ŠTULPA, M. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství BEN, 2008. 126 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

[10] POLZER, A. Technický týdeník : Příklady úloh CNC programování [online]. c2011 [cit. 2011-03-29]. Parametrické programování a skoky v NC programování. Dostupné z WWW: <[http://www.techtydenik.cz/priklady\\_cnc.php](http://www.techtydenik.cz/priklady_cnc.php)>.

[11] SIEMENS – AUTOMATIZACE A POHONY [online]. c2011 [cit. 2011-03-29]. SINUMERIK 840D sl / 828D Fundamentals. Dostupné z WWW: <[http://support.automation.siemens.com/CZ/llisapi.dll?func=cslib.csSearch&objaction=cssearch&lang=en&siteid=cseus&query=&query2=PG\\_0310&content=adsearch%2Fadsearch.aspx](http://support.automation.siemens.com/CZ/llisapi.dll?func=cslib.csSearch&objaction=cssearch&lang=en&siteid=cseus&query=&query2=PG_0310&content=adsearch%2Fadsearch.aspx)>.

[12]SIEMENS – AUTOMATIZACE A POHONY [online]. c2011 [cit. 2011-03-24]. SINUMERIK 840D sl / 828D Job planning. Dostupné z WWW: <[http://support.automation.siemens.com/CZ/llisapi.dll?func=cslib.csSearch&objaction=cssearch&lang=en&siteid=cseus&query=&query2=PGA\\_0310&content=adsearch%2Fadsearch.aspx](http://support.automation.siemens.com/CZ/llisapi.dll?func=cslib.csSearch&objaction=cssearch&lang=en&siteid=cseus&query=&query2=PGA_0310&content=adsearch%2Fadsearch.aspx)>.

[13]STEPtoWEB [online]. c2011 [cit. 2011-04-01]. News. Dostupné z WWW: <<http://www.steptoweb.de/images/sinumerik840d2.jpg>>.

[14]Western CNC [online]. 2003 [cit. 2011-04-01]. Fagor controls. Dostupné z WWW: <<http://westerncncinc.com/wp-content/uploads/2010/10/Fagor-8055-Large.jpg>>.

[15]Elec-intro [online]. c2011 [cit. 2011-04-01]. Heidenhain cnc. Dostupné z WWW: <<http://www.elec-intro.com/EX/05-14-15/itnc530b.jpg>>.

[16]Ymt technologies [online]. c2011 [cit. 2011-04-01]. Fancu control system. Dostupné z WWW: <[http://www.ymtltd.co.uk/images/control\\_fanucside.jpg](http://www.ymtltd.co.uk/images/control_fanucside.jpg)>.

[17]POLZER, A. Technický týdeník : Příklady úloh CNC programování [online]. c2011 [cit. 2011-04-12]. ShopTurn Open V 06.04. Dostupné z WWW: <[http://www.techtydenik.cz/priklady\\_cnc.php](http://www.techtydenik.cz/priklady_cnc.php)>.

[18]Sinumerik : Shop mill cz [online]. c2011 [cit. 2011-04-15]. CNC - Computer Numerical Control. Dostupné z WWW: <<http://cnc.fme.vutbr.cz/?page=sinumerik>>.

[19]POLZER, A. Technický týdeník : Příklady úloh CNC programování [online]. c2011 [cit. 2011-04-15]. Dílenské programování v systémech ShopMill. Dostupné z WWW: <[http://www.techtydenik.cz/priklady\\_cnc.php](http://www.techtydenik.cz/priklady_cnc.php)>.

[20]SIEMENS – AUTOMATIZACE A POHONY [online]. c2011 [cit. 2011-04-15]. SINUMERIK 840D sl ShopMill. Dostupné z WWW: <[https://a248.e.akamai.net/cache.automation.siemens.com/dnl/TE/TExMzM4OQAA\\_28739039\\_HB/BASsl\\_0108\\_cz.pdf](https://a248.e.akamai.net/cache.automation.siemens.com/dnl/TE/TExMzM4OQAA_28739039_HB/BASsl_0108_cz.pdf)>.

[21]Trochoidní frézování [online]. c2011 [cit. 2011-04-16]. Seco Tools. Dostupné z WWW: <<http://www.secotools.com/sk/Global/Services--Support/Tool-Selection-Support/Trochoidal-Milling/#>>.

[22]NX CAM [online]. c2011 [cit. 2011-04-17]. Siemens. Dostupné z WWW: <[http://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/Images/CAM\\_main\\_tcm1023-60709.jpg](http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/CAM_main_tcm1023-60709.jpg)>.

[23]KOVOSVIT MAS [online]. c2011 [cit. 2011-05-11]. SP 180. Dostupné z WWW: <[http://www.kovosvit.cz/\\_data\\_app\\_sections/259\\_sp\\_180\\_smc.jpg](http://www.kovosvit.cz/_data_app_sections/259_sp_180_smc.jpg)>.

[24] *ThyssenKrupp Ferrosta* [online]. c2011 [cit. 2011-05-14]. Neželezné kovy – hliník. Dostupné z WWW: <<http://www.thyssenkrupp-ferrosta.cz/nezelezne-kovy-hlinik.php>>.

[25] *PROAL* [online]. 2009 [cit. 2011-05-15]. Hliník AlMgSi - ČSN 424401. Dostupné z WWW: <<http://www.proal.cz/info/424401.htm>>.

[26] *SAUTER EDELSTAHL AG* [online]. c2011 [cit. 2011-05-15]. Lieferprogramme - download. Dostupné z WWW: <[http://www.sedag.ch/downloads/lieferprogramm/alu\\_inox/techn\\_infos/13\\_tech\\_n\\_infos\\_alu.pdf](http://www.sedag.ch/downloads/lieferprogramm/alu_inox/techn_infos/13_tech_n_infos_alu.pdf)>.

[27] HROCH, M. *Přírodní vědy a technika* [online]. c2011 [cit. 2011-05-15]. Elo xování hliníku. Dostupné z WWW: <<http://www.astronom.cz/procyon/chemistry/elox.html>>.

[28] *Strojárstvo* [online]. c2011 [cit. 2011-05-16]. Strojárstvo Extra - Apríl 2011. Dostupné z WWW: <[http://www.engineering.sk/images/stories/pdf/april\\_2011\\_EXTRA.pdf](http://www.engineering.sk/images/stories/pdf/april_2011_EXTRA.pdf)>.

[29] SANDVIK COROMANT, *Katalog nástrojů*, [online]. 2009. [cit.2011-05-16]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.coroguide.com/>>

[30] *Pramet : Katalóg nástrojov* [online]. c2011 [cit. 2011-05-17]. Sústruženie. Dostupné z WWW: <<http://www.pramet.com/indexffaa.html?lang=sk&menu=sortiment1>>.

[30] Řídící systémy pro každou technologii. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, 4, [cit. 2011-05-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/ridici-systemy-pro-kazdou-technologie>>.

[31] *Lakovna* [online]. c2011 [cit. 2011-05-15]. Anodická oxidace (Struktura a růst vrstvy) . Dostupné z WWW: <<http://www.lakovna.cz/anodicka-oxidace-struktura-a-rust-vrstvy.html>>.

**ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV**

| Skratka/symbol  | Jednota                | popis  |
|-----------------|------------------------|--|
| 2d              | [-]                    | dvojmerný priestor   |
| 3d              | [-]                    | trojmerný priestor   |
| $\alpha$        | [°]                    | uhol chrbta  |
| $\varepsilon$   | [°]                    | uhol špičky  |
| $\chi_r$        | [°]                    | nástrojový uhol nastavenia hlavného ostria                                   |
| $\chi_r'$       | [°]                    | nástrojový uhol nastavenia vedľajšieho ostria                                |
| $\gamma$        | [°]                    | uhol čela  |
| $\lambda$       | [°]                    | uhol sklonu reznej hrany   |
| A               | [%]                    | ťažnosť  |
| $r_\varepsilon$ | [mm]                   | polomer špičky   |
| CAD             | [-]                    | počítačom podporovaná konštrukcia<br>(computer aided design)                 |
| CAM             | [-]                    | počítačom podporovaná výroba<br>(computer aided manufacturing)               |
| CNC             | [-]                    | počítačom číslicovo riadený<br>(computerized numerical control)              |
| CL              | [-]                    | údaje o polohe nástroja<br>(cutter location)                                 |
| DNC             | [-]                    | priame číslicové riadenie<br>(direct numerical control)                      |
| HMI             | [-]                    | rozhranie typu človek-stroj<br>(human machine interface)                     |
| HSC             | [-]                    | vysokorýchlostné obrábanie<br>(high speed cutting)                           |
| MMC             | [-]                    | komunikácia obsluhy so strojom<br>(man machine communication)                |
| NC              | [-]                    | číslcové riadenie<br>(numerical control)                                     |
| NCU             | [-]                    | procesorová jednotka<br>(numerical control unit)                             |
| OP              | [-]                    | ovládací panel   |
| PC              | [-]                    | osobný počítač<br>(personal computer)  |
| PCU             | [-]                    | počítačová jednotka<br>(personal computer unit)                              |
| PKD             | [-]                    | polykryštalický diamant  |
| PLC             | [-]                    | programovateľná logická riadiaca jednotka<br>(programmable logic controller) |
| $R_a$           | [ $\mu$ m]             | stredná aritmetická odchýlka profilu   |
| $R_m$           | [MPa]                  | pevnosť v ťahu   |
| $R_{p0.2}$      | [MPa]                  | zmluvná medza klzu   |
| RS              | [-]                    | riadiaci systém  |
| $R_z$           | [ $\mu$ m]             | aritmetický priemer najväčších výšok profilu                                 |
| SK              | [-]                    | spekané karbidy  |
| $v_c$           | [m.min <sup>-1</sup> ] | rezná rýchlosť   |
| VRP             | [-]                    | vymeniteľná rezná platnička  |

**ZOZNAM PRÍLOH**

|             |  |
|-------------|--|
| príloha č.1 | Výkres súčasti Veža                      |
| príloha č.2 | Technologický postup výroby súčasti Veža |
| príloha č.3 | Nástrojové vybavenie                     |
| príloha č.4 | Rezná kvapalina                          |
| príloha č.5 | Upínače a podávače                       |
| príloha č.6 | Program ShopTurn                         |
| príloha č.7 | Program ISO                              |