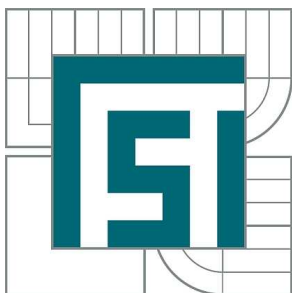


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## TECHNOLOGIE CNC FRÉZOVÁNÍ

TECHNOLOGY OF CNC MILLING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAN VONDRÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAREL OSIČKA, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/10

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Vondrák Jan, Bc.

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

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

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

### **Technologie CNC frézování**

v anglickém jazyce:

### **Technology of CNC milling**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Technologická příprava výroby součástky pro CNC frézovací centrum zaměřené na rozbor možných variant řešení programu.

Cíle diplomové práce:

Rozbor obecných možností frézovacích operací na CNC strojích.

Rozbor technologičnosti konstrukce.

Řešení technologického postupu.

Návrh technologie pro konkrétní CNC frézovací obráběcí stroj včetně zpracování řídicího programu pro konkrétní řídicí systém.

Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam odborné literatury:


1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. KOČMAN, K a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. KOČMAN, K. Speciální technologie – Obrábění. 2. vyd. Brno: PC- DIR Real, 1998.
4. SVOBODA, E. Technologie a programování CNC strojů. 1. vyd.H.Brod: FRAGMENT, 1998.
5. PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M., VAČKÁŘ, J. Jakost a metrologie: Část metrologie. 2.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 151 s. ISBN 80–214–1997–0.

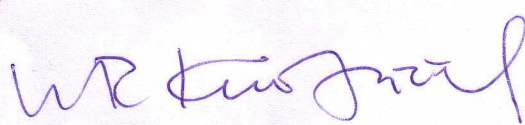
Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Osička, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 19.11.2009



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

  
\_\_\_\_\_  
doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

**ABSTRAKT**

Rozbor obecných možností na frézovacích strojích, rozbor možností při programování v dílensky orientovaném frézování v systému Sinumerik 840D ShopMill. Návrh variant technologie výroby, včetně vytvoření NC programů součásti a technicko ekonomického hodnocení pro Domek kuličkového šroubu v ose X.

**Klíčová slova**

ShopMill, řídicí systém Sinumerik 840D, NC program, technologie výroby

**ABSTRACT**

Common possibility analysis on milling machine, analysis possibility for programming in workshop oriented milling in system Sinumerik 840D ShopMill. Project alternative manufacturing technology including creation NC programme and technical economic valuation for part of Suspension globular screw in axis X.

**Key words**

ShopMill, control system Sinumerik 840D, NC programme, manufacturing technology

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

VONDRÁK, Jan. *Technologie CNC frézování: Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 66s., 12 příloh. Ing. Karel Osička Ph.D..

**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Technologie CNC frézování vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

23.5.2010

.....  
Jan Vondrák, Bc.

## **Poděkování**

Děkuji tímto Ing. Karlovi Osičkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Dále děkuji firmě Fermat CZ, s.r.o. a Bc. Janovi Svobodovi za technickou podporu při vypracování diplomové práce.

**OBSAH**

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod.....	8
1 ROZBOR OBECNÝCH MOŽNOSTÍ NA FRÉZOVACÍCH CNC STROJÍCH.....	9
1.1 Geometrické základy a nastavení nástrojů.....	9
1.1.1 Vztažné body CNC stroje.....	9
1.1.2 Korekce nástrojů.....	10
1.2 Možnosti operací na CNC frézovacích strojích.....	11
1.2.1 Frézovací operace.....	12
1.2.2 Vrtací operace.....	20
1.2.3 Vyvrtávací operace.....	25
1.2.4 Závitovací operace.....	26
1.3 Rozbor možností dílensky orientovaného frézování.....	27
1.3.1 Rozbor možností a tvorba NC programu.....	27
1.3.2 Strategie lineární a kruhové interpolace.....	29
1.3.3 Strategie vrtání, vystružování a závítování.....	30
1.3.4 Strategie frézování.....	32
1.3.5 Strategie konturového frézování.....	34
1.3.6 Strategie různé a transformace.....	38
1.3.7 Simulace obrábění.....	40
2 TECHNOLOGICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY SOUČÁSTI.....	41
2.1 Technnlogičnost konstrukce.....	42
2.1.1 Popis horizontálního frézovacího vyvrtávacího stroje TK6511 CNC.....	44
2.1.2 Technické parametry TK6511 CNC.....	45
2.1.3 Návrh nástrojového vybavení.....	46
2.2 Technologický postup.....	49
2.3 Návrh technologie výroby.....	50
2.3.1 Návrh technologie výroby varianty č.1.....	50
2.3.1 Návrh technologie výroby varianty č.4.....	55
2.4 Technicko ekonomické hodnocení.....	58
Závěr.....	63
Seznam použitých zdrojů.....	64
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	65
Seznam příloh.....	66

## ÚVOD

Vývojový trend ve strojírenství v oblasti obráběcích strojů je dán použitelností výpočetní techniky pro řízení strojů. Pro dosažení co možná nejlepších technologických vlastností při obráběcích operacích je nahrazován lidský element výpočetní technikou - řídicím systémem. Obráběcí stroje vybavené CNC řídicími systémy jsou schopné opakovaně dosáhnout tvarové i rozměrové přesnosti i u tvarově složitých výrobků. Pro složité součásti obráběné ve více osách je dnes standardním řešením použití CAM systémů. CAM moduly umožňují v efektivním čase splnit i náročné požadavky zákazníků. Současným trendem z důvodu neustálého zvyšování produktivity výroby je zavádění tzv. „štíhlé výroby“, což je úplná automatizace výrobních linek, kdy je lidský faktor nahrazen CNC obráběcími centry s manipulátory a roboty. Tento trend je možný pouze v hromadné výrobě. Při malosériové výrobě není technologie výroby propracována stejně detailně jako u hromadné výroby a orientace je spíše zaměřena na kvalifikované dělníky ve výrobě. Pro takovou to formu výroby je specifikován systém ShopMill, který klade pouze na znalosti technologie obrábění. Malosériová výroba je realizována i ve firmě Fermat CZ, s.r.o., která se zabývá výrobou horizontálních vyvrtávaček. Problematice technologie výroby uložení pohonu domku kuličkového šroubu pro horizontální vyvrtávací stroj WFT 13 CNC je věnována tato práce.



Obr.1.1 Uložení kuličkového šroubu na stroji WFT 13 CNC

# 1 ROZBOR OBECNÝCH MOŽNOSTÍ NA FRÉZOVACÍCH CNC STROJÍCH

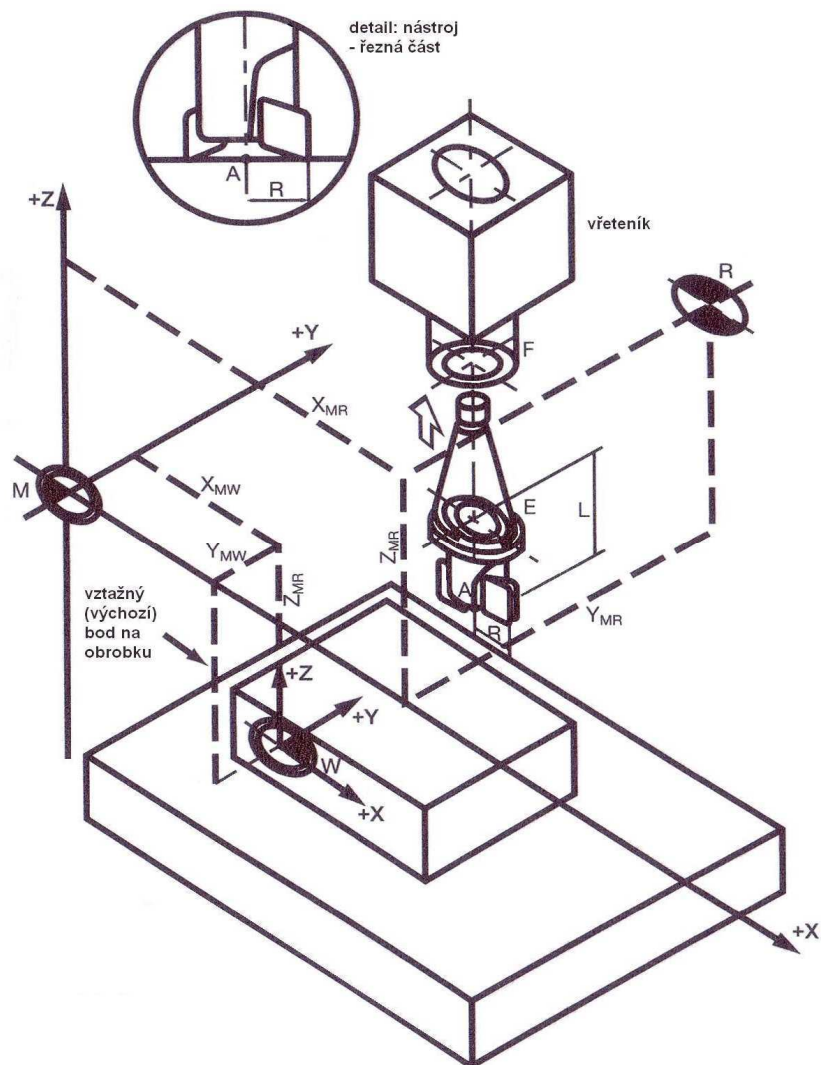
## 1.1 Geometrické základy a nastavení nástrojů

### 1.1.1 Vztažné body CNC stroje

Vztažné body stroje jsou body, které vymezují pracovní prostor obráběcího stroje, nebo v tomto prostoru určují polohu daného bodu vzhledem k souřadnému systému. Vztažné body se nechají rozdělit na vztažné body souřadného systému, které jsou pevně dány výrobcem a nenechají se měnit a na programovatelné body, jež volí sám programátor.

#### M - Nulový bod stroje:

Nulový bod stroje je pevně stanoven výrobcem a nelze jej měnit. Je výchozím bodem pro všechny další souřadnicové systémy a vztažné body na stroji. Nulový bod stroje je umístěn v místě krajní polohy stolu frézky v obou osách <sup>1</sup>.



Obr.1.2 Vztažné body frézky <sup>1</sup>

**W - Nulový bod obrobku:**

Nulový bod obrobku je volně programovatelný bod, který volí programátor dle tvaru obrobku. Nastavení může být pomocí funkce G54 až G59 posunutím souřadnicového systému, nebo indikací polohy dotekem nástroje.

**R - Referenční bod stroje:**

Referenční bod stroje je pevný bod stanovený výrobcem. Je realizován pomocí koncových spínačů. Vzdálenost mezi nulovým bodem stroje a referenčním bodem je přesně odměřena a zapsána jako strojní konstanta do řídicího systému. Na tento bod je stroj schopen automaticky najet a po zapnutí stroje stanovit polohu. Moderní stroje vybavené absolutním odměřováním polohy referenční bod převážně nepoužívají.

**E - Bod nastavení nástroje**

Bod nastavení nástroje je programovatelný bod na upínači nástroje, ke kterému se vztahují korekce nástroje. Po upnutí upínače se tento bod ztotožní se vztažným bodem vřetene.

**F - Vztažný bod vřetene**

Vztažný bod vřetene je umístěn v ose na čele vřetene. Při upnutí upínače nástroje do vřetena je ztotožněn s bodem nastavení nástroje.

**1.1.2 Korekce nástrojů**

Pro bezpečné a přesné pohybování nástrojem v pracovním prostoru i pro samotné obrábění je velice důležité znát polohu špičky rezného nástroje. Vzdálenosti špičky nástroje od bodu nastavení nástroje se nazývá korekce. Korekce je možno měřit na stroji i mimo něj. Měření mimo stroj je realizováno pomocí měřicího přístroje do kterého se upne upínač s měřeným nástrojem. Na stroji lze korekce měřit pomocí dotykových nástrojových sond, pomocí kterých je nástroj kontaktně změřen. Na stroji může být korekce nástroje změřena i klasickou metodou tzv. „škrábnutí“ obráběného materiálu, kde se rezný nástroj dotkne obrobené plochy polotovaru. Tento způsob je nepřesný. Po zjištění korekcí nástrojů jsou data zapsána do tabulky korekcí ve stroji. Rozlišují se 3 druhy korekcí:

**- korekce délková:**

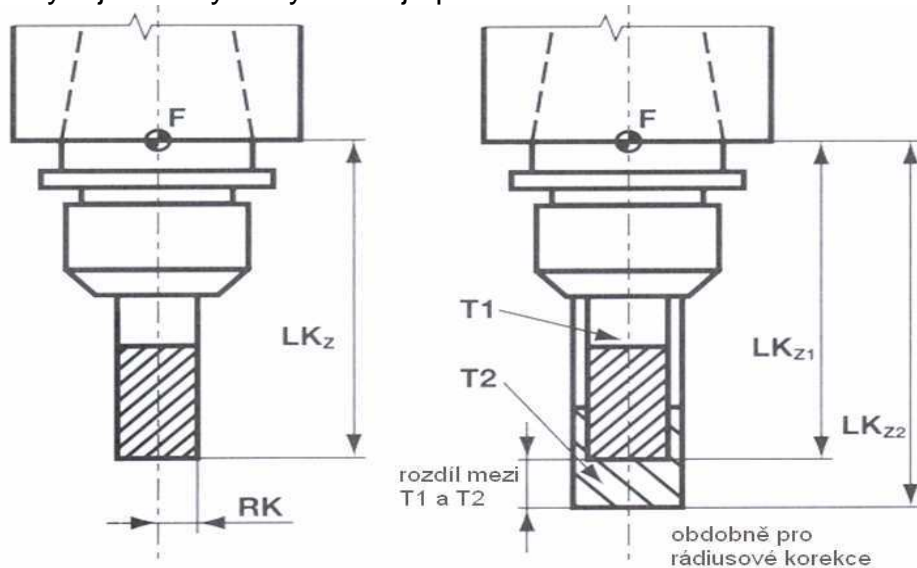
Délkové korekce jsou vzdálenosti v ose nástroje od vztažného bodu vřetena k čelu frézy, špičce vrtáku nebo kulového vrchlíku u kulové frézy. Pro osové nástroje typu vrták, výhrubník, výstružník či závitník se zjišťují pouze délkové korekce. Dle zjištěných korekcí nástroje se koriguje dráha v programu.

**- korekce rádiusová:**

Zjištění rádiusových korekcí je důležité, protože každý rezný nástroj je vyroben s určitou rozměrovou tolerancí. Aby mohla být naprogramovaná geometrie kontury vyrobená, musí být rádiusová korekce zjištěná. Při válcovém frézování dané kontury ji vytváří bok frézy o určitém rádiusu. Střed frézy jede po ekvidistantě kterou by bylo obtížné počítat, proto systém umožňuje programové zapnutí korekce nástroje vlevo nebo vpravo, které používá matematický aparát pro výpočet ekvidistanty.

**- korekce výsledná:**

Je superpozicí obou korekcí, která vytváří ekvidistantu kontury obroku, po níž se pohybuje bod výměny nástroje při obrábění <sup>1</sup>.



Obr.1.3 Délkové korekce nástroje <sup>1</sup>

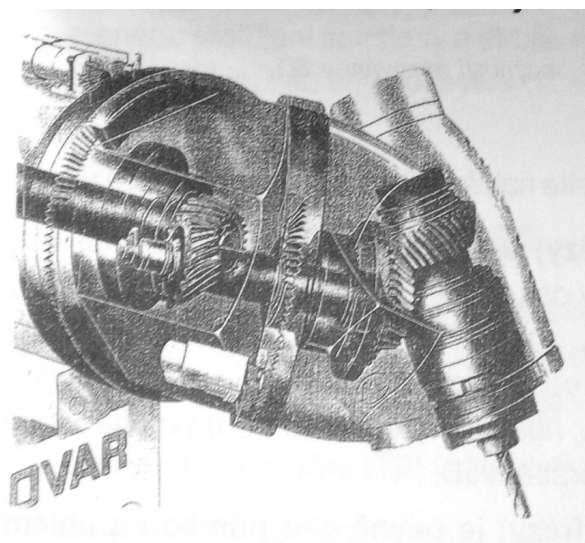
## 1.2 Možnosti operací na CNC frézovacích strojích

V dnešní době je snaha realizovat co možná nejvíce obráběcích operací na jednom stroji, na jedno upnutí s co nejméně nástroji. Tento trend minimalizace způsobů technologií vede ke značnému zefektivnění výroby. Hlavními důvody integrace technologií výroby z několika obráběcích strojů do jediného obráběcího CNC stroje (centra) jsou odstranění vedlejších časů, např. upínání a odepínání součástí na jiných strojích, časy čekání na další operaci nebo odstranění časů manipulace s materiálem mezi stroji. Dále pak snížení nákladů na nákup a provoz strojů, úspora výrobních prostor, snadnější možnost automatizace výroby a značné zvýšení přesnosti obrábění.

Moderní CNC stroje mohou mít až 5 os řízených najednou. Pětiosé obrábění může být řešeno pomocí posuvu vřeteníku os X, Y, Z, naklápění kolébky (osa A nebo B) a otáčením stolu (osa C) (obr.1.4). Dalším způsobem pětiosého frézování může být použití úhlové frézovací hlavy, kde posuv stolu koná pohyby v osách X, Y, Z a úhlová hlava realizuje výkyvné pohyby v osách B a C (obr.1.5). Horizontální frézovací a vyvrtávací stroj TK 6511 CNC je řízen v pěti osách: podélný posuv stolu - osa X, svislý posuv vřeteníku - osa Y, příčný posuv stojanu - osa Z, výsuv vřeteníku - osa W a otáčení stolu - osa B. Na přání zákazníka může být stroj vybaven univerzálními frézovacími hlavami. Moderní CNC frézovací stroje jsou schopny pomocí svých přídavných modulů obrábět i tvarově náročné součásti, se zaručením přesnosti polohování, jakostí struktury povrchu a geometrické přesnosti, které by se dříve jen velice pracně vyráběly. Ve spojení s nástroji s povlakovanými VBD ze slinutých karbidů, kubického nitridu bóru či polykrystalického diamantu lze obrábět i těžkoobrobitelné materiály.



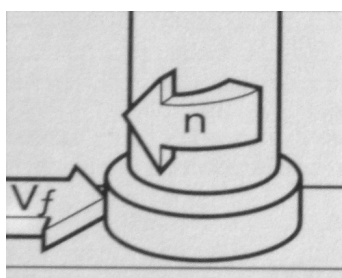
Obr.1.4 Pětiosé frézovací centrum  
MCV 1210 firmy TAJMAC ZPS <sup>2</sup>



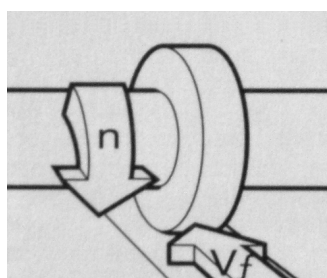
Obr.1.5 Detail úhlové frézovací  
frézovací hlavy <sup>1</sup>

### 1.2.1 Frézovací operace

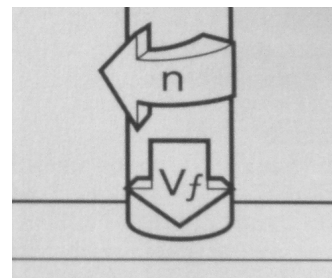
Frézování je obráběcí proces definovaný rotačním pohybem řezného nástroje a posuvem obrobku. Díky moderním obráběcím centrům a vyspělým řídicím systémům lze pohyb zajistit plynule ve všech směrech najednou. Tím lze dosáhnout obrobení i tvarově složitých součástí. Vzhledem k obráběcí operaci a typu stroje, lze rozlišit základní druhy frézování: rovinné frézování čelní frézou (obr.1.6), frézování kotoučovou frézou (obr.1.7) a frézování s axiálním posuvem (obr.1.8).



Obr.1.6 Čelní fréza <sup>3</sup>



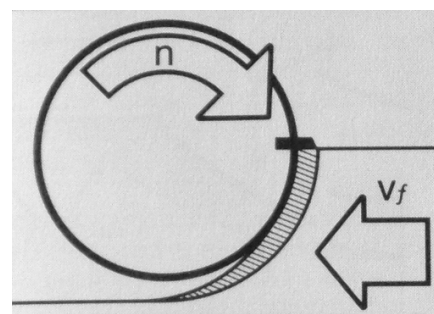
Obr.1.7 Kotoučová fréza <sup>3</sup>



Obr.1.8 Axiální posuv <sup>3</sup>

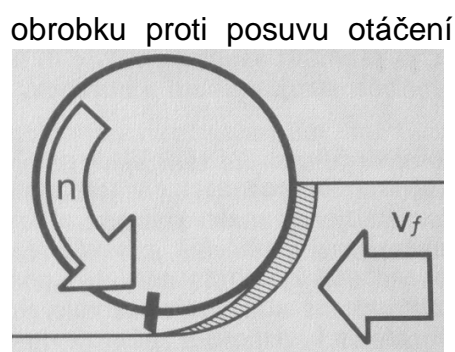
Vzhledem ke směru rotace a posuvu lze frézování rozdělit na sousledné a nesousledné. Při sousledném frézování (obr.1.9) je souhlasný směr rotace nástroje a posuvu obrobku. Tloušťka třísky materiálu je největší na počátku záběru a s posuvem klesá na nulu. Při nesousledném způsobu frézování nevzniká kluzný efekt, při kterém by se zpevňovala povrchová vrstva a nástroj by se rychleji otupoval. Vyvíjené teplo je nižší než při nesousledném frézování. Při obrábění materiálů lehko ulpívajících na nástroji se „nalepená“ tříska odstraní s dalším záběrem. Nástroj je rázově zatížen a tlačí řeznými silami obrobek ke

stolu. Na moderních strojích je v kombinaci s dobrým upnutím dávana přednost souslednému frézování před nesousledným. Do nevýhod sousledného frézování lze zařadit vtahování obrobku řeznými silami, které mohou zvýšit posuv obrobku, popř. i zničit břit nástroje<sup>3</sup>.



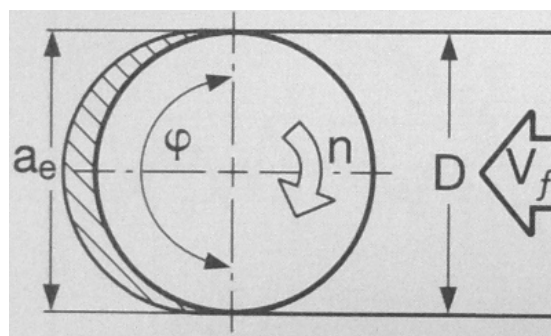
Obr.1.9 Sousedné frézování<sup>3</sup>

Při nesousledném frézování je směr posuvu nástroje. Břit odřezává třísku z nulové hodnoty do maxima. Při najetí břitu do záběru vznikají velké řezné síly, které způsobují kluzný efekt se zpevněním povrchové vrstvy obrobku. Díky zpevnění je nástroj vystaven větším teplotám a třením a vzniká větší opotřebení. Při tomto druhu obrábění směřují řezné síly směrem vzhůru a zvedají obrobek. Proto je důležité stabilní upnutí obrobku na stole. Při obrábění materiálů lehkou ulpívajících na řezném nástroji může dojít ke vtažení třísky mezi obrobek a břit a nastat porušení vyměnitelné břitové destičky. Nesousledné frézování (obr.1.10) je výhodné při obrábění úzkých hlubokých drážek, z důvodu lepšího odvodu třísek z místa řezu<sup>3</sup>.



Obr.1.10 Nesousledné frézování<sup>3</sup>

Při rovinném frézování čelní vřetovkou frézou může nastat stav, kdy úhel styku frézy  $\varphi$  s obrobkem je roven  $180^\circ$  (obr.1.11), v takovém případě břit frézy najíždí do záběru z nulové hodnoty, obrábí nesousledně až do maxima do osy řezu a po té obrábí sousledně do nulové hodnoty. Takové obrábění nastává např. při obrábění drážek. Při tomto obrábění může být objem odebraného materiálu nedostatečný a průběh obrábění být nepříznivý. Z tohoto důvodu by měli být optimalizovány parametry obrábění, aby odpovídali minimální odebrané tloušťce třísky<sup>3</sup>.

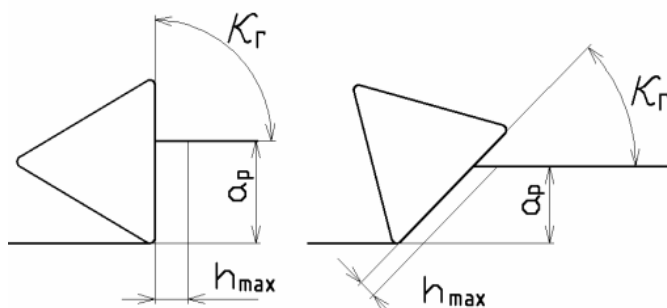


Obr.1.11 Frézování drážky<sup>3</sup>

Frézovací strategie by se nechaly rozdělit dle použití pro frézování: rovinných ploch a osazení, pro frézování drážek včetně uzavřených, pro frézování hran a pro tvarové frézování.

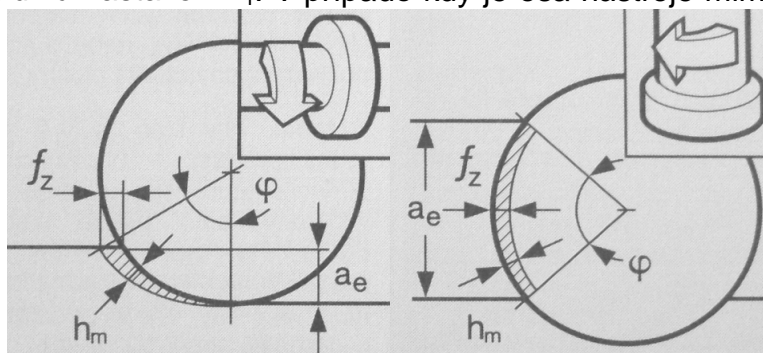
Frézování rovinných ploch a osazení je základní frézovací operací. Pro tuto strategii jsou zpravidla využívány čelní vřetovkové frézy nebo frézovací hlavy s VBD. Frézovací hlavy jsou standardně vyráběny s úhlem nastavení hlavního ostří  $\kappa_r = 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$  a  $90^\circ$ . Pro pravouhlé osazení je výhodné používat vřetovkové čelní frézy nebo frézovací hlavy s úhlem nastavení  $\kappa_r = 90^\circ$ , které jsou

schopny požadované osazení vyrobit. S těmito frézami lze obrábět i rovinné plochy, ale vzhledem k tloušťce třísky je výhodnější použít frézovací hlavy s menším úhlem nastavení  $\kappa_r$ , kdy se tloušťka třísky  $h_{\max}$  zmenšuje se sinem tohoto úhlu (obr.1.12). Při použití fréz s úhlem  $\kappa_r = 90^\circ$  jsou tloušťka třísky a posuv na zub totožné, axiální zatížení je minimální, ale radiální zatížení břitu je větší, než-li u fréz s menším úhlem  $\kappa_r$ . Frézovací hlavy s úhlem nastavení  $\kappa_r = 45^\circ$  mají lepší odvod třísek z místa řezu a jsou vhodnější pro stroje s menším výkonem<sup>3</sup>.



Obr.1.12 Úhly nastavení  $\kappa_r = 90^\circ$  a  $45^\circ$ <sup>3</sup>

Z důvodu přetěžování nástroje by měla být překontrolována tloušťka třísky. Tloušťka třísky je proměnný parametr, který lze obtížně stanovit, proto byl zaveden parametr střední tloušťky třísky  $h_m$ . Tento parametr vychází z úhlu kruhové výseče styku nástroje a obrobku  $\varphi$ , z poměru radiální hloubky řezu a průměru frézy, posuvu a úhlu nastavení  $\kappa_r$ . V případě kdy je osa nástroje mimo obrobek (obr.1.13) dochází ke zmenšení úhlu  $\varphi$  a ke zmenšení střední tloušťky třísky, např. u rovinného frézování čelní frézou nebo frézování kotoučovou frézou. Při frézování s doporučenými posuvy na zub nebývá  $h_m$  kritickým parametrem<sup>3</sup>.



Obr.1.13 Střední tloušťka třísky<sup>3</sup>

Rovnice střední tloušťky třísky pro válcovou frézu<sup>3</sup>

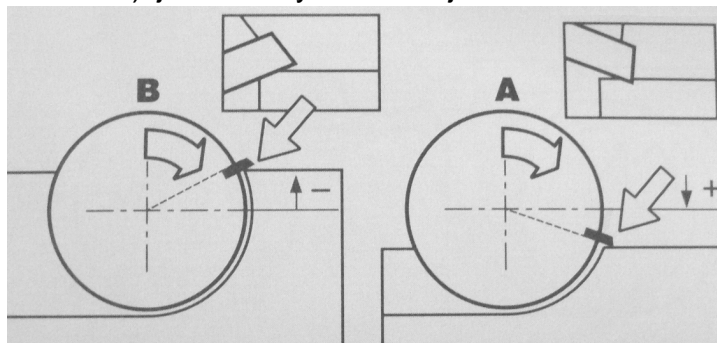
$$h_m = f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} \quad (1.1)$$

Rovnice střední tloušťky třísky pro čelní frézu<sup>3</sup>

$$h_m = \frac{\sin \kappa \cdot 180 \cdot a_e \cdot f_z}{\pi \cdot D \cdot \arcsin\left(\frac{a_e}{D}\right)} \quad (1.2)$$

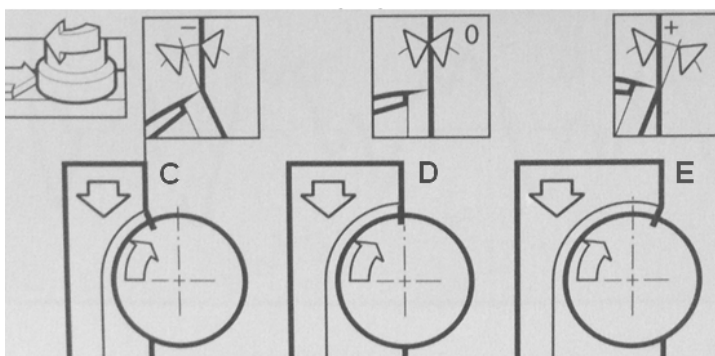
Dalším významným parametrem je poloha frézy vůči obráběnému materiálu. Pro rovinné frézování čelní frézou by měl být volen průměr frézovací hlavy 1,2x až 1,5x větší, než je šířka obráběné plochy. Frézování by mělo být s ohledem na upnutí voleno sousledné, z důvodu minimální tloušťky třísky při

výjezdu břitu ze záběru. Poloha osy nástroje by měla být nad obrobkem (obr.1.14-B), kdy negativní úhel vstupu břitu do obráběného materiálu je příznivější. Kontakt břitu VBD s obrobkem dochází dále od ostří, kde má VBD větší pevnost a lépe zvládá rázová zatížení. Vstupuje-li fréza do řezu pod pozitivním úhlem vstupu (obr.1.14-A) je úhel styku nástroje a obrobku menší a v záběru je méně zubů. Kontakt frézy s obrobkem je realizován v nepříznivém místě v oblasti břitu, který musí snášet rázová zatížení<sup>3</sup>.



Obr.1.14 Poloha frézy ovlivňující záběr břitu<sup>3</sup>

Poloha osy frézy vůči obrobku má důležitý význam i z pohledu způsobu vyjetí břitu ze záběru. Při výjezdu břitu ze záběru je materiál deformován a hrozí porušení břitu nástroje. Proto je důležité, aby byl břit zatížen tlakovým napětím. Tahové napětí působí negativně, obzvláště když je geometrie břitu pozitivní. Z pohledu namáhání břitu je nejméně výhodné, když osa nástroje je totožná s hranicí výjezdu břitu ze záběru (obr.1.15-D). V tomto případě je tloušťka třísky v době výjezdu největší. Negativní (obr.1.15-C) a pozitivní (obr.1.15-E) úhly výstupu břitu nástroje z obrobku mají charakter příznivého efektu, z důvodu



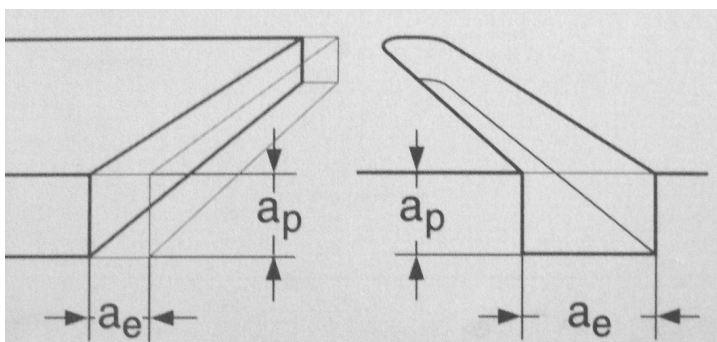
Obr.1.15 Poloha osy frézy vůči obrobku<sup>3</sup>

menší tloušťky třísky na výstupu. Poloha osy nástroje a obrobku ovlivňuje i délku styku ostří s obráběným materiálem, počet zubů v záběru a velikost a směr řezných sil. Při frézování kdy je střed nástroje totožný s osou obrobku dochází k nejkratšímu styku nástroje s obrobkem. Směr pasivních složek

řezných sil kolísá od vstupu do materiálu až do výstupu ze záběru. To může vyvolat vibrace vřetene a může nastat i porušení VBD. Výhodnější možností je naprogramování dráhy nástroje excentricky mimo osu obrobku. Tato strategie zajistí větší úhel styku nástroje s obráběným materiálem, větší počet zubů v záběru a konstantnější směr působení pasivní složky řezné síly<sup>3</sup>.

Strategie frézování drážek a osazení je běžnou, často se vyskytující operací na rotačních i skříňovitých součástech. Frézování drážek může být realizováno pomocí čelních válcových stopkových fréz nebo pomocí kotoučových fréz. V případě stopkových fréz jde o kombinaci čelního a obvodového frézování. Vzhledem k velikosti drážky je důležité znát parametry radiální a axiální hloubky řezu (obr.1.16), které určují velikost nástroje. Při frézování průběžných, polozavřených nebo plných drážek dochází k odebrání třísek na třech plochách současně. Pro frézování plných drážek je nezbytné,

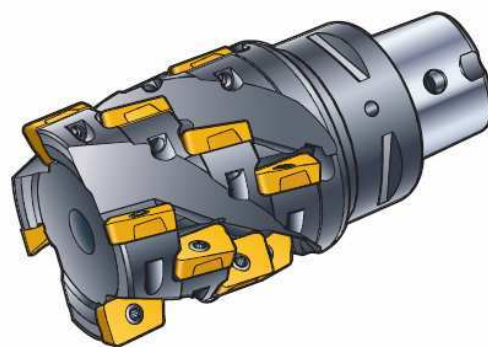
aby fréza byla schopná zavrtat se v axiálním směru. Při frézování je velice důležité odvádění třísek z místa řezu. Hromadění třísek by mohlo způsobit porušení rezného nástroje, proto je nutné třísky odvádět procesní kapalinou nebo stlačeným vzduchem. Stopkové frézy umožňují frézování ploch nacházejících se často hluboko v obrobku, při dlouhém vyložení nástroje s obvykle velkou axiální hloubkou řezu. Tyto parametry ovlivňují vychylování a vibrace nástroje a rozměrovou přesnost. Z tohoto důvodu by měl být pečlivě vybírán typ a materiál nástroje, vhodný pro takovéto aplikace. Čelní válcové frézy se používají s materiálu HSS, SK nebo z ocelového držáku osazeného



Obr.1.16 Velikosti axiální a radiální hloubky řezu <sup>3</sup>

VBD. Nástroje z HSS jsou méně produktivní a mají menší tuhost než nástroje ze SK. Při velkém vyložení nástroje může dojít k odtlačování z místa řezu. Mají broušené břity ve šroubovici, schopné obrábět polotovary s větší axiální hloubkou řezu. Nástroje ze SK jsou vysoce produktivní a tuhé <sup>3</sup>. Stopkové frézy s

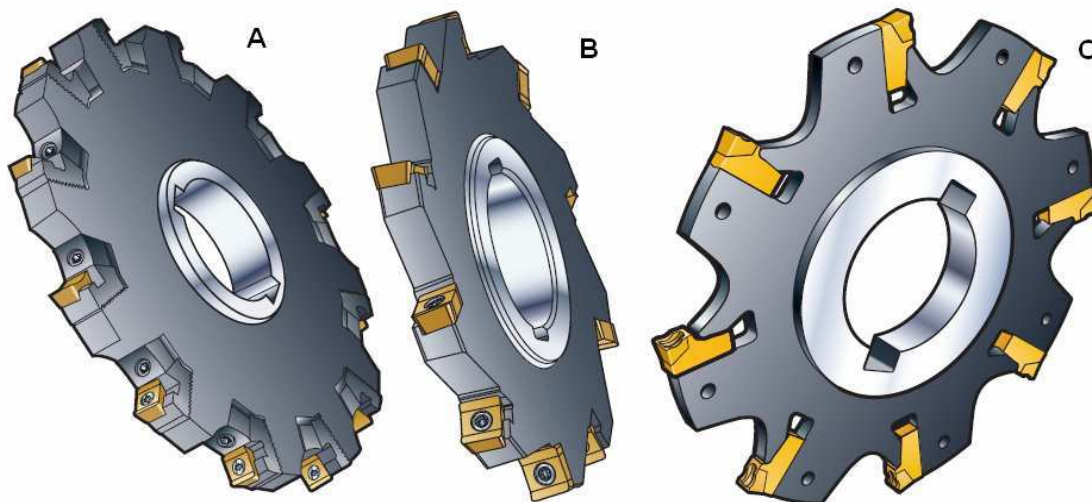
VBD jsou vysoce výkonné nástroje, ale jsou limitovány axiální hloubkou řezu. Pro větší axiální hloubky řezu mohou být použité stopkové čelní válcové frézy s VBD s dlouhými břity ve šroubovici (obr.1.17). Takové nástroje jsou vybaveny VBD po obvodě v několika řadách nad sebou. Tyto frézy zaručují vysoký výkon obrábění, ale kladou vysoké nároky na stabilitu a výkon stroje, tuhost vřetene a upnutí nástroje a obrobku. Při frézování stopkovou čelní válcovou frézou s dlouhými břity ve šroubovici by se neměla překračovat hodnota radiální hloubky řezu  $0,5D$ . Úhel sklonu šroubovice zajistí, aby i v případě malé radiální hloubky řezu, byl co největší počet břitů v řezu. Pro dosažení co nejpřesnějších hodnot kolmosti a jakosti povrchové vrstvy se doporučuje použití přeostřitelné monolitní stopkové frézy. <sup>3</sup>



Obr.1.17 Čelní válcová fréza <sup>4</sup>

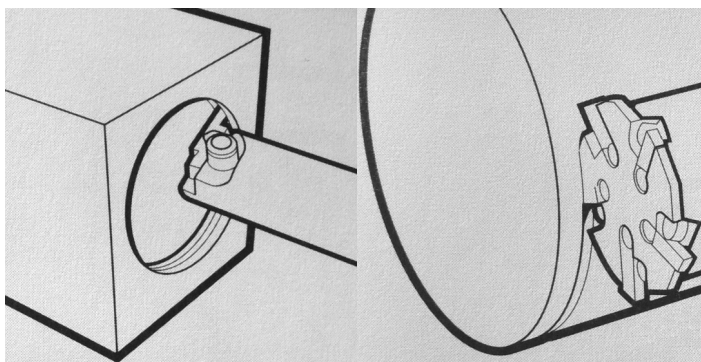
V druhém případě lze drážky vyrábět pomocí kotoučových fréz. Drážky frézované kotoučovými frézami, jsou hospodárnější v případě, jedná-li se o dlouhé, hluboké průběžné drážky. Určujícím parametrem zvolení stopkové nebo kotoučové frézy je typ stroje, parametry drážky a sériovost výroby. V případě většího množství drážek je hospodárnější použití fréz kotoučových. Vhodnými stroji pro použití tohoto nástroje mohou být např. vodorovná konzolová nebo stolová frézka. Kotoučové frézy mohou být použity i pro operace frézování rovinných ploch a osazení. Pro správné frézování těmito nástroji musí být dosažena vhodná hodnota posuvu na zub, vhodné upnutí, minimální vyložení nástroje a správné hodnoty radiální a axiální hodnoty řezu. Pro obrábění je

volen sousledný typ frézování. Obrobek je tlačěn ke stolu, ale stejný smysl posuvu a složky řezné síly zapříčiňuje vtahování obrobku do řezu, proto je důležitá tuhost konstrukce stroje a bezvúlové uložení posuvů. Kotoučové frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami mohou být jednostranné (obr.1.18-A),



Obr.1.18 Kotoučová fréza jednostranná (A), oboustranná (B) a drážkovací (C)<sup>4</sup>

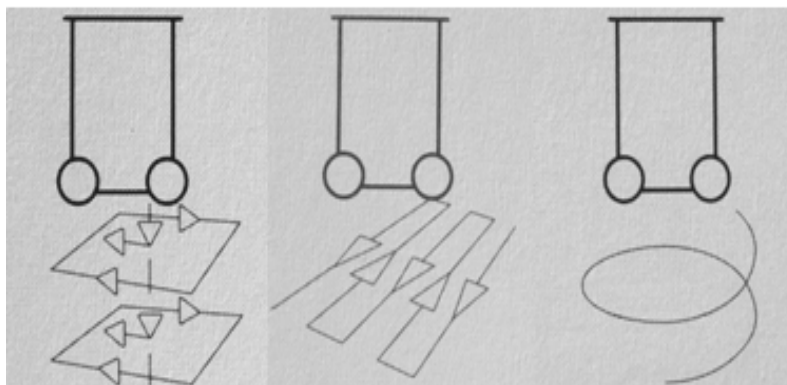
kteří mají břity rozmístěné na čele na jedné straně a jsou určeny pro obrábění osazení, nebo oboustranné, které mají břity rozmístěné na čele po obou stranách frézy (obr.1.18-B). Oboustranné kotoučové frézy se používají pro frézování plných průběžných drážek, díky přesazení je v záběru na každé straně jen každý druhý břit. Oboustranné provedení může být aplikováno i pro kruhové destičky, kde je v záběru délka ostří odpovídající 180°. Pro frézování úzkých drážek nebo dělení materiálu jsou používány pilové kotouče s VBD nebo drážkovací frézy (obr.1.18-C). Na frézovacích centrech mohou být drážkovací frézy využívány pro zhotovení vnějších nebo vnitřních drážek na rotačních plochách. Drážky jsou frézovány jedním nebo více břity v díře nebo na povrchu obrobku planetovým pohybem nástroje (obr.1.19)<sup>3</sup>.



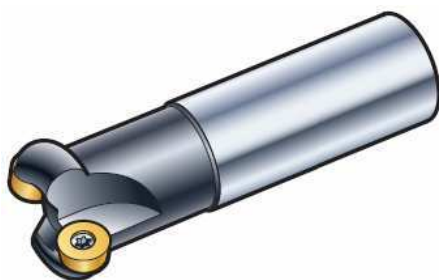
Obr.1.19 Frézování drážek planetovým způsobem<sup>3</sup>

Podobnou problematikou frézování drážek je frézování dutin. Dutiny mohou být pravoúhlé nebo rotační kapsy nebo dutiny jiných tvarů. Pro frézování uzavřených dutin platí, že se nástroj buď axiálně zavrtává a následně obrábí v radiálním směru, nebo šikmo zajíždí do materiálu v axiálním i radiálním směru současně po dané dráze (obr.1.20). V případě, když se stopková fréza zavrtává, musí jeden zub přesahovat osu frézy. Zavrtání může být realizováno s nepřerušeným posuvem až na dno dutiny, v tomto případě je důležité, zda-li je nástroj schopen obrábět danou axiální hloubku řezu. Nebo může být

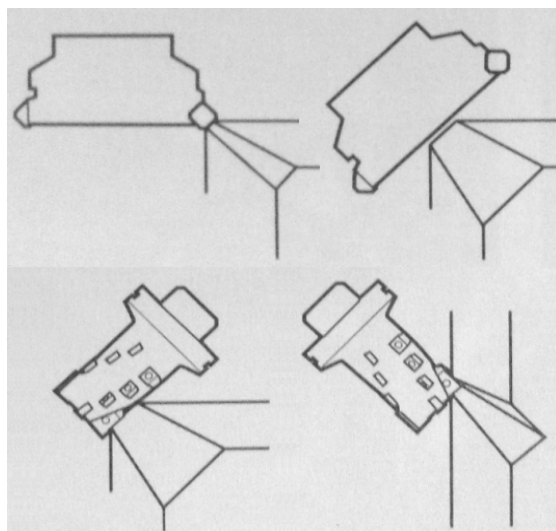
realizováno na několik axiálních vrstev, z nichž v každé se daná vrstva frézuje v radiálním směru. Pro frézování dutin mohou být voleny čelní válcové frézy z HSS, ze slinutého karbidu nebo s VBD, nebo vrtací stopkové frézy s VBD.

Obr.1.20 Způsoby zajiždění do materiálu<sup>3</sup>

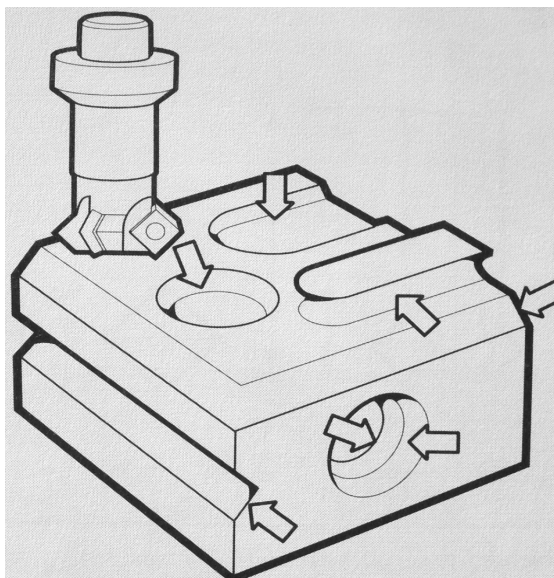
jsou univerzálními nástroji, které mohou čelně i válcově frézovat i vrtat. Nástroje tohoto typu jsou schopné splňovat i druhý typ zhotovení dutin, zajižděním šikmo do materiálu v axiálním a radiálním směru. Při šikmém zajiždění do materiálu by měli být sníženy posuvy rezného nástroje. Úhel pod kterým je možné zanoření do materiálu provést, je závislý na průměru frézy, přičemž čím je průměr frézy větší, tím menší úhel zanoření bude. Pro obrábění dutin s šikmým zajižděním do materiálu je výhodné používat stopkové čelní válcové frézy, osazené VBD kruhového tvaru (obr.1.21). Tyto nástroje mají velkou stabilitu bříty, vysoký výkon obrábění a dostatečně velký prostor okolo VBD<sup>3</sup>.

Obr.1.21 Stopková čelní válcová fréza s kruhovými VBD<sup>4</sup>

Další frézovací strategií může být obrábění hran. Obrábění hran je častou aplikací vyskytující se na obrobcích skříňovitého i válcového tvaru. Dle úhlu sražení a typu stroje mohou být voleny různé, navzájem rozdílné strategie. V případě možnosti nastavení sklonu vřetene je možné použít pro frézování hran čelní válcové frézy nebo frézovací hlavy. Sklon vřetene musí být nastavitelný pro odpovídající úhel sražení. Čelní válcové frézy nebo frézovací hlavy osazené VBD jsou schopny progresivně obrábět pod úhlem zkosené plochy čelním nebo válcovým způsobem (obr.1.22). V případě že je vřeteno pevné a nenechá se nastavovat, lze k obrobení hran použít frézovací hlavy s úhlem nastavení hlavního ostří stejným jako je požadovaný úhel sražení hrany. Pro obrábění venkovních i vnitřních hran v dírách a kapsách lze s dobrými výsledky použít čelní frézy pro sražení

Obr.1.22 Frézování hran<sup>3</sup>

s úhlem nastavení hlavního ostří  $\kappa_r=60^\circ$  a  $45^\circ$  (obr.1.23). Tyto nástroje poskytují dobrý přístup a vysokou stabilitu. Díky dlouhým stopkám lze obrábět horní i spodní hrany na jedno upnutí nástroje i obrobku. Tím lze sloučit několik nástrojů do jednoho, případně sloučit více upnutí do jediného. Pro menší velikosti srážení hran, frézování drážek, odstraňování ostřin atd. je možné využít tvarových monolitních stopkových technických fréz (rotační pilníky) z nástrojové oceli nebo slinutých karbidů (obr.1.24). Technické frézy jsou vyráběny v různých tvarech např. válcovém, homolovém nebo kuželovém (i komolý kužel) se zuby ve šroubovici, které



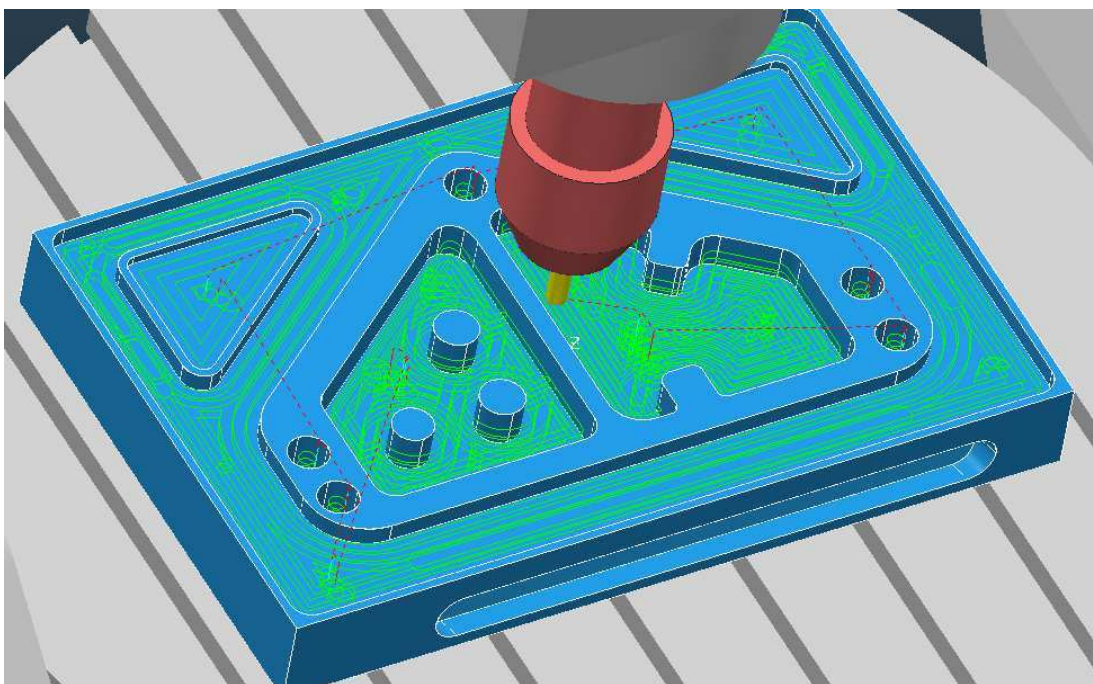
Obr.1.23 Příklad použití čelních fréz pro srážení<sup>3</sup>



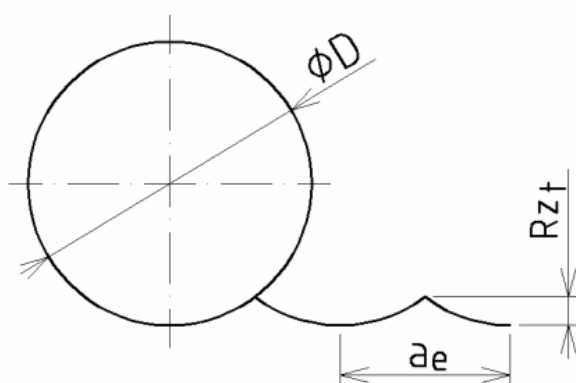
zajišťují co největší počet zubů v záběru a vysokou trvanlivost břitů nástroje. Vzhledem k malým rozměrům nástroje, (rozsah průměrů 3÷16 mm) je nutné dosáhnout poměrně vysokých otáček - řádově desítek tisíc otáček, aby byla dodržena řezná rychlost<sup>3</sup>.

Obr.1.24 Příklad technických fréz<sup>5</sup>

Poslední popisovanou strategií je strategie tvarového frézování. Tvarové frézování je v dnešní době často používáno na moderních frézovacích centrech se spojením s CAD/CAM aplikacemi. Takovéto obrábění představuje v podstatě vrchol frézování, kdy je možno vyrobit velice obtížné součásti, např. lopatky turbín. Technologie pro takto složité součásti bývá zpravidla vytvoření obráběcích strategií v daném CAM systému importováním 3D modelu a následné vytvoření programu pro daný postprocesor řídicího systému stroje (obr.1.25). Pro výrobu složité součásti je zpravidla nutné použít víceosé frézovací centrum. Pro méně tvarově složité prvky obrobku nabízejí řídicí systémy stroje základní cykly, s kterými je možné frézovat pravoúhlé nebo kruhové drážky, čepy nebo kapsy. Pro náročnější prvky je možné použít import CAD kontury obrysu, nebo použít tzv. parametrické programování. Při tomto programování je vytvářen program pomocí Q resp. R parametrů, pro které jsou přiřazeny hodnoty nebo funkce. Toto programování je náročnější na práci programátora. Pro frézování tvarových ploch jsou běžně využívány kulové frézy nebo nástroje s VBD kruhového tvaru. Při obrábění je vzhledem k požadované jakosti obrobenej plochy nutné určit optimální nástroj a jeho řezné podmínky. Při každé otáčce řezného nástroje vzniká na obrobenej ploše profil vlnového tvaru.



Obr.1.25 Ukázka technologie v CAM systému Powermill



Takový profil je závislý na rádiu břitové destičky a pracovní šířce záběru nástroje (obr.1.26). Pro lepší jakost obrobenej plochy je výhodnější použití většího rádiu břitové destičky s menším posuvem. Pro teoretickou výšku profilu byla vyjádřena rovnice, zohledňující pouze teoretické chyby při obrábění.

Obr.1.26 Teoretická výška profilu

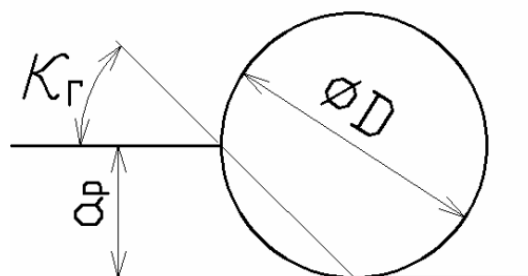
Rovnice teoretické výšky profilu

$$Rz_t = \left[ \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - 0,25 \cdot a_e^2} \right] \cdot 10^3 \quad (1.3)$$

Při frézování nástroji s VBD kruhového tvaru je průřez třísky a úhel nastavení hlavního ostří závislý na hloubce záběru ostří. Při odebrání minimální třísky se úhel nastavení  $\kappa_r$  blíží k nule. Se zvětšující se hloubkou záběru  $a_p$  roste i úhel nastavení  $\kappa_r$ . Pro maximální možnou hloubku řezu odpovídající polovině průměru břitové destičky je úhel nastavení  $\kappa_r$  roven  $45^\circ$  (obr.1.27). Frézování s kruhovými VBD lze úspěšně aplikovat i pro čelní válcové frézování rovinných ploch. Výkonnost není omezena pouze pro těžkoobrobitelné materiály, ale lze použít pro obrábění většiny materiálů. Přednostmi kruhových destiček jsou vysoká stabilita břitu, vysoké posuvy na zub při hrubování a vyšší hospodárnost. Kruhová destička má břit po celém svém obvodu, tudíž při

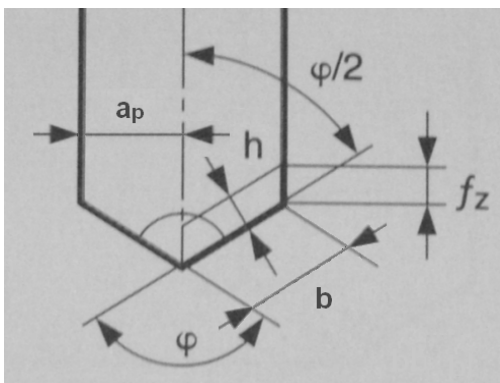
postupném otáčení po každém otupení bříty je kruhová destička schopna nabídnout více pozic než-li jiné tvary VBD<sup>3</sup>.

Obr.1.27 Úhel nastavení  $\kappa_r$  při frézování kruhovou VBD<sup>3</sup>



### 1.2.2 Vrtací operace

Vrtání se nechá zařadit mezi další operace běžné pro CNC frézovací stroje. Vrtací operace zahrnují nejen výrobu krátkých a dlouhých děr pomocí vrtáků, ale patří sem i navrtávání, vyhrubování, vystružování či zahlubování. Společným znakem těchto operací je rotační pohyb nástroje a kolmý směr jeho pohybu k ploše do které vstupuje. Pro výrobu děr do plného materiálu byla v dřívější době využívána strategie navrtání středícího důlku, následné vyvrtání a dle požadavků na rozměrovou přesnost díry mohlo být zařazeno vyhrubování a vystružování. V dnešní době za použití moderních vrtáků s VBD lze vrtat bez předvrtání s dosaženou tolerancí až IT10. Samotný proces odebrání třísky při vrtání je řízen řeznou rychlostí a posuvem na otáčku. Řezná rychlost je při vrtání určena průměrem nástroje. Jelikož vrták obrábí celým čelem není řezná rychlost konstantní, ale směrem k ose nástroje se zmenšuje k nule. Posuv na otáčku definuje posunutí vrtáku ve směru osy za jednu otáčku. Polovina posuvu na otáčku u šroubovitého dvoubřitého vrtáku je posuv na zub. Posuv na zub  $f_z$  společně s radiální hloubkou řezu  $a_p$  určuje plochu materiálu odebranou jedním břitem viz obr.1.28<sup>3</sup>.



Obr.1.28 Parametry na vrtáku<sup>3</sup>

Rovnice řezné rychlosti<sup>3</sup>

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.4)$$

Síly vyskytující se při vrtání jsou řezné a posuvové síly. Pasivní síly jsou v ideálním případě nulové, proto se zanedbávají. Složky řezných sil jsou hodnoty závislé na měrné řezné síle, šířce záběru ostří a posuvu. Pro jednotlivé vrtání děr lze vypočítat řezný moment. Řezný moment je definován jako součin řezné síly a středového bodu teoretického čela<sup>3</sup>.

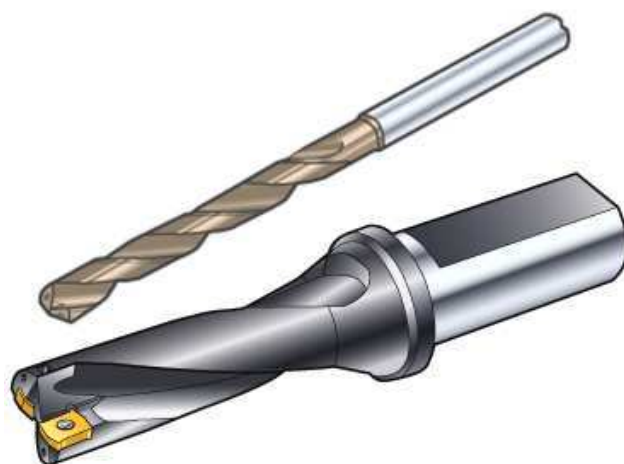
Rovnice řezné síly při vrtání<sup>3</sup>

$$F_c = k_c \cdot a_p \cdot f \quad (1.5)$$

Rovnice řezného momentu při vrtání <sup>3</sup>

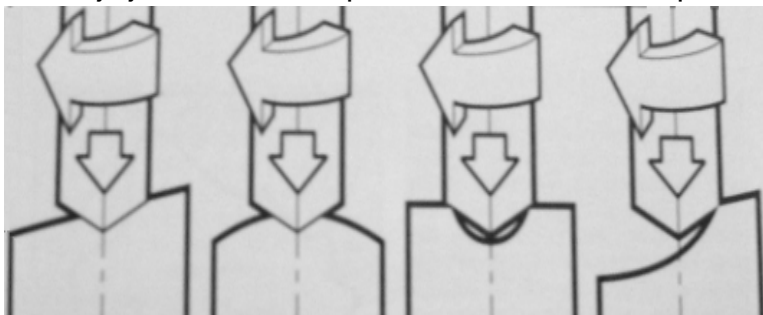
$$M_k = F_c \cdot \frac{D}{2} \quad (1.6)$$

Pro volbu řezného nástroje je rozhodující průměr díry, její délka, rozměrové a tvarové tolerance díry, materiál obrobku, objem výroby a použitý stroj. Základním rozdělením pro vrtání by mohl být poměr vrtané délky ku průměru vrtáku. Tento poměr rozděluje nástroje pro vrtání krátkých a dlouhých děr. Pro vrtání krátkých děr mohou být použity monolitní přeastřitelné vrtáky z rychlořezné oceli či slinutých karbidů nebo vrtáky s VBD (obr.1.29). Přeastřitelné monolitní nástroje z HSS se většinou používají pro vrtání děr do průměru 13 mm. Z hlediska hospodárnosti nespĺňují vrtáky z HSS větších průměrů požadovanou výkonnost a při používání na moderních frézovacích centrech s vysokou hodinovou sazbou nezajistí požadovanou hospodárnost. Z tohoto důvodu jsou přeastřitelné vrtáky vyráběny také ze slinutých karbidů. Vrtáky ze slinutých karbidů dosahují mnohem větší výkonnosti než vrtáky z HSS, mají větší pevnost, ale i větší křehkost než vrtáky z HSS. Pro použití vrtáků ze SK je zapotřebí, aby stroj byl stabilní a zvládal použití větších otáček. Moderní vrtáky od firmy Sandvik Coromant používající geometrii břitu delta mají samostředící schopnost, dosahují výhodných tolerancí díry až IT9 a jakosti obrobeného povrchu  $R_a$  až 1 $\mu$ m. Tyto vrtáky nemají příčné ostří, protože ve středu vrtáku je ostří zakončené rádiusem. Příčné ostří v podstatě neodřezává materiál, ale pouze jej odtlačuje. Při vysokých posuvech může dojít k radiálnímu vyosení vrtáku, nebo až k porušení nástroje. Pro zlepšení pracovních podmínek bývá příčné ostří na klasických vrtácích z HSS zúženo, zvětšením drážky pro odvod třísek. Vrtání monolitními vrtáky by mělo být realizováno kolmo na obráběnou plochu, po té se dosáhne nejlepší kvalita díry. Pokud jsou díry vrtané na šikmou, nebo asymetrickou plochu, jsou břity vystaveny nestejnomyernému tlaku, což vede k vychýlení vrtáku z osy do excentrické polohy a vrták se rychleji opotřebává (obr.1.30). Proto by měl být posuv v místě zavrtání regulován. Dnes rozšířenou variantou vrtání děr větších průměru je realizováno vrtáky s VBD. Vrták je osazen několika břity, které nemusí být ze stejného SK ani stejné geometrie. Tím je možné optimalizovat řezné podmínky, zhoršující se ke středu obrábění. Destičky jsou asymetricky umístěny na čele vrtáku, aby se navzájem překrývaly a byla pokryta celá plocha vrtání. Na kraji vrtáku je umístěn vnější břit a ke středu nástroje je umístěn vnitřní břit, který přesahuje osu nástroje. Obrobené díry nedosahují stejné rozměrové přesnosti a jakosti obrobené plochy jako šroubovitě vrtáky. Tyto



Obr.1.29 Monolitní vrták a vrták s VBD <sup>6</sup>

nástroje mají větší produktivitu vrtání, než-li šroubovitě vrtáky. Při sériové výrobě mají tyto nástroje nízké náklady na obrobení jednoho kusu. Vrtání těmito nástroji je vhodné do plného materiálu bez předvrtání. Pokud je vrtáno do

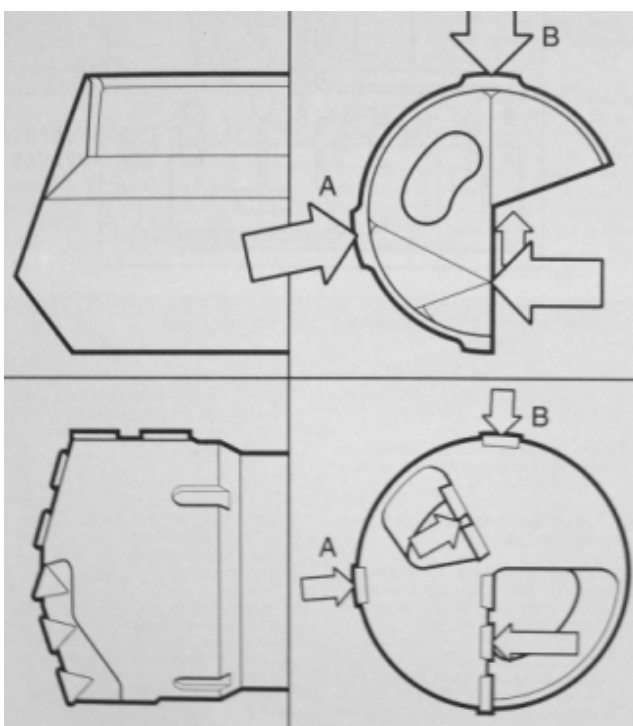


Obr.1.30 vrtání do asymetrických ploch<sup>3</sup>

předvrtané díry, musí být otvor menší než  $\frac{1}{4}$  vrtané díry. Narozdíl od šroubovitých vrtáků je možné vrtat i do šikmých, asymetrických, konvexních nebo konkávních ploch bez nežádoucího radiálního vyosování nástroje.

Doporučené je snížení posuvu při zajištění do takových ploch. Pro obě technologie vrtání šroubovitými vrtáky i pro vrtání vrtáky osazené VBD je nutné zajistit dobrý odvod třísek z místa řezu. Většina krátkých vrtáků má pro odvádění třísek dvě drážky. Tvar a délka třísky je hlavně ovlivněna řeznou rychlostí a posuvem. Důležitým aspektem odvodu třísky je přivádění procesní kapaliny do místa řezu a následné vyplavení třísek ven z otvoru. Do místa řezu může být procesní kapalina přiváděna po obvodu nástroje, nebo efektivně kanálky uvnitř vrtáku pod vysokým tlakem. Vnitřní chlazení nástroje má nejen dobré vlastnosti odvodu třísek, ale i chlazení břitů nástroje zejména při vrtání do větších délek<sup>3</sup>.

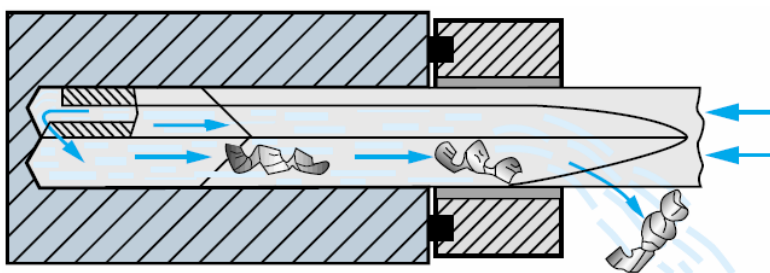
Dalším způsobem vrtání je vrtání dlouhých děr. Za dlouhé díry jsou považovány ty, jejichž poměr délky a průměru je větší než 5. Dlouhé díry mohou být vyrobeny dlouhými šroubovitými vrtáky, jednobřítými hlavňovými vrtáky nebo vrtáky s přívodem procesní kapaliny kolem vrtáku na pracující na principu EJEKTOR nebo STS. Kritéria pro volbu nástroje a technologie vrtání jsou průměr, délka vrtané díry, druh a přesnost stroje, požadovaná jakost obrobené plochy, rozměrová a tvarová přesnost, materiál obrobku a hospodárnost obrábění. Šroubovitě vrtáky se nechají použít pro vrtání až do poměru  $L:D = 15:1$ . Mají zesílené jádro a zvětšený prostor pro lepší odvod třísek. Zpravidla bývají povlakované. Mohou být použity na frézovacích centrech i na soustruzích. Pro lepší odvod třísek z místa řezu jsou vybaveny kanálky pro vnitřní chlazení a vrtání je přerušované s výjezdy pro odstranění třísek. Typičtějšími technologiemi pro vrtání dlouhých děr jsou použití jednobřítých vrtáků, systémů EJEKTOR nebo STS. Tyto technologie používají vrtáky s asymetrickou geometrií břítu. Vzniklé řezné síly by měli mít negativní směr, proto jsou vrtáky vybaveny opěrnými a vodícími lištami, které zajišťují působení složek řezných sil proti sobě a zmenšují tlak na opěrnou lištu (obr.1.31). Dalším důležitým faktorem je dostatečné vedení vrtáku při navrtávání díry. Pro správné zavedení vrtáku se používá vrtacích pouzder nebo vodících děr. Vrtací pouzdra jsou vyráběna ze slinutých karbidů nebo z kalené oceli s příslušnou tolerancí. Vrtací pouzdro se umísťuje k obrobku do osy řezu. V případě přesazení os pouzdra a obrobku dochází k nestejnomyernému zatížení břitů, a k radiálnímu vychylování vrtáku. Výsledkem je vlnitý povrch nálevkovitého tvaru se zhoršenou jakostí povrchu. Za předpokladu nepoužití vrtacích pouzder by měla být zhotovena vodící díra. Vodící díra se vyrábí s

Obr.1.31 Vliv sil na opěrné a lišty<sup>3</sup>

tolerancí G6 pro daný průměr. Vodící díry nelze aplikovat pro technologie STS. Při vrtání dlouhých děr se rozlišují tři různé metody. První metodou je vrtání do plného materiálu. Je to nejčastější metoda používaná pro menší až střední díry vyvrtané v jedné operaci. Druhou metodou je vrtání již existující díry, kdy se u předlité, vykované, tažené nebo vyvrtané díry zvětšuje průměr. Metoda se používá v případě, kdy jsou požadovány velké nároky na přesnost a jakost obrobené plochy, nebo když nestačí příkon stroje pro vrtání do plného materiálu. Třetí metodou je vrtání na jádro<sup>3</sup>. Při této metodě se odebírá materiál pouze z mezikruží v jedné operaci. Střed díry

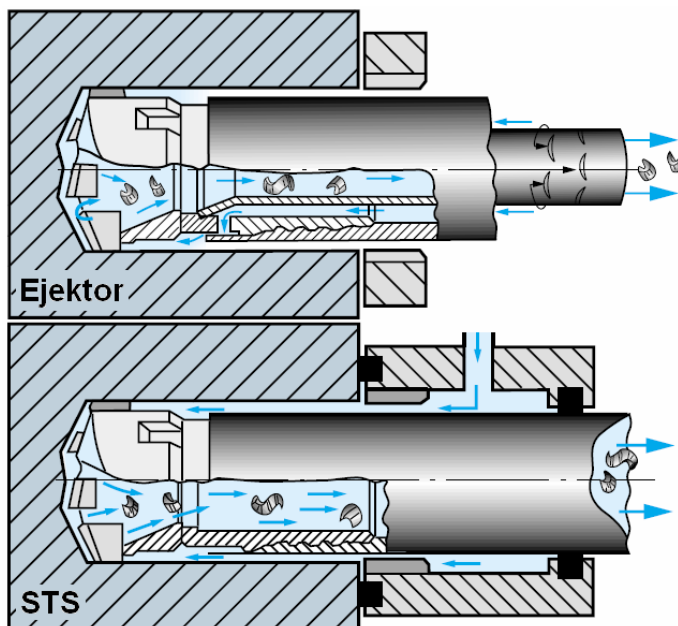
(jádro) zůstává a je možné jej použít pro účely zkoušek materiálu. Vrtání na jádro je používáno pro vrtání velkých průměrů z důvodu menšího příkonu stroje, nižšího odběru materiálu a možnosti dalšího použití jádra. Aplikace je používána pro systém vrtání STS. Dle typu použitého stroje je možné vrtání realizovat ve třech metodách. Lze použít metodu rotujícího obrobku, rotujícího nástroje nebo rotujícího obrobku i nástroje. Nejčastěji je používána metoda rotujícího obrobku. Metody rotujícího nástroje je používáno u asymetrických obrobků, z důvodu nedostatečného počtu otáček pro nevyváženost obrobku. Tyto metody však dosahují horší souososti. V případech že je důležitým kritériem souosost a přímot otvorů, používá se aplikace rotujícího obrobku i nástroje<sup>3</sup>.

Při vrtání dlouhých děr pomocí jednobřitého vrtáku se dosahuje přesnosti IT8 až IT9 a výborné jakosti obrobené plochy  $Ra\ 0,1\div 0,2\ \mu m$  v jedné operaci. Pro vrtání dlouhých děr o malém průměru je to jediná volba. Jednobřité vrtáky jsou vyráběny jako monolitní nástroje ze slinutých karbidů používané pro malé otvory, nebo jako nástroje osazené pájenými břity ze slinutých karbidů, používané pro vrtání děr větších průměrů (obr.1.32). Procesní kapalina je přiváděna vnitřkem nástroje a odváděna je spolu s třískami vnější drážkou tvaru V.

Obr.1.32 Jednobřitý vrták<sup>7</sup>

Vzhledem k systémům STS a EJEKTOR má jednobřitý vrták menší produktivitu, ale neklade přílišné nároky na stroj a lze aplikovat na většině strojů<sup>3</sup>.

Ejektorový vrtací systém umožňuje vrtání s přesností IT 10 a jakosti obrobene plochy  $Ra\ 2\div 3\ \mu m$ . Metoda používá dvoutrubkový systém, kdy je procesní kapalina přiváděna mezi vnější a vnitřní trubkou. Většina kapaliny je přiváděna k vrtací hlavě a zbytek k vnitřní trubce (obr.1.33). Tím vytváří podtlak a procesní kapalina spolu s třískami je odváděna vnitřní trubkou pryč. Metoda má vyšší požadavky na tvorbu třísky a používá se pro vrtání až do 100D v horizontálním použití a až pro 50D pro vertikální použití. Vrtací hlavy jsou osazené VBD nebo pájenými deštičkami ze SK. Pro vrtání není potřeba speciální stroj,



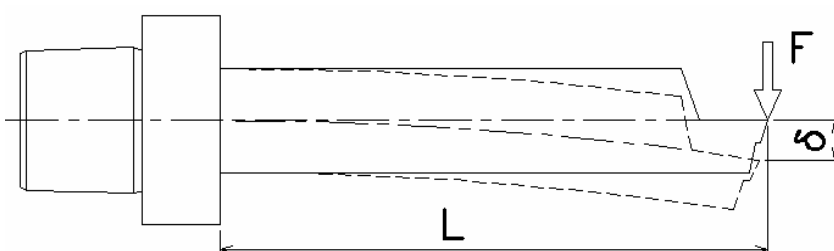
Obr.1.33 Vrtací systémy STS a EJEKTOR <sup>7</sup>

vrtání lze aplikovat i pro součásti s více vstupy a výstupy z materiálu. Vrtací systém STS dosahuje stejné přesnosti a jakosti povrchové vrstvy jako systém EJEKTOR. Metoda využívá jednotrubkový systém s přívodem procesní kapaliny mezikružím okolo nástroje a stěny vrtané díry (obr.1.33). Třísky jsou odváděny s kapalinou vnitřkem vrtáku. Metoda používá vysokého tlaku procesní kapaliny, to klade velké nároky na stroje, proto jsou používány speciální stroje. Je důležité, aby styk nástroje s obrobkem byl utěsněný. Metoda je vysoce produktivní, je vhodná pro vrtání materiálů s obtížným utvářením třísky, pro vrtání velkých průměrů a pro vrtání na jádro <sup>3</sup>.

### 1.2.3 Vyvrtávací operace

Vyvrtávací operace jsou používány pro zvětšování existujících děr s úzkými rozměrovými tolerancemi a s dobrými vlastnostmi jakosti obrobene plochy. Základním principem vyvrtávání je rotace nástroje v ose díry a axiální posuv do díry. Nástroje pro vyvrtávání jsou vyvrtávací tyče s VBD. Vyrábějí se jako jednodílné, dělené s vyměnitelnými nástrojovými hlavicemi nebo jako modulární radiálně přestavitelné nástroje s nebo bez tlumičů kmitů (obr.1.35). Vícebřité nástroje jsou určeny pro hrubování a jednobřité jsou používány pro dokončování. Těla vyvrtávacích tyčí jsou vyráběné z oceli, ze SK nebo z oceli vyztužené SK. Nástroje z oceli jsou houževnaté, ale vzhledem k nižšímu modulu pružnosti než má SK podléhají ocelové nástroje větším deformacím. Nástroje ze SK mají větší tuhost, ale i větší křehkost a v důsledku vibrací mohou vznikat v nástroji trhliny a po určitém čase dojít k porušení nástroje. V tyčích bývají provedené kanálky pro přívod procesní kapaliny, která pomáhá vyplavovat třísky a prodlužuje trvanlivost břitu. Deformace tyče je závislá krom materiálu obrobku a nástroje také na průměru tyče, délce vyložení a velikosti složek rezných sil. Rezné síly vychylují při obrábění nástroj z řezu a ovlivňují

rozměrovou přesnost. Tangenciální složka řezné síly vytláčuje nástroj z osy rotace a zmenšuje velikosti úhlů hřbetu a čela. Zmenšení úhlu hřbetu může



Obr.1.34 Vychýlení nástroje

působit negativně z důvodu styku nástroje se stěnou vyvrtané díry. Radiální složka řezné síly odtlačuje nástroj z řezu a zmenšuje šířku záběru ostří<sup>3</sup>.

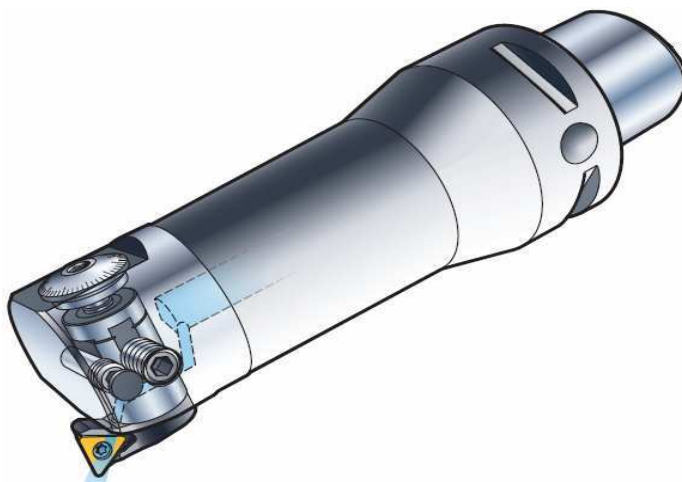
Rovnice deformace nástroje<sup>3</sup>

$$\delta = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (1.7)$$

Rovnice kvadratického momentu průřezu pro kruhový průřez<sup>3</sup>

$$I = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \quad (1.8)$$

Z těchto vztahů je patrné že vychýlení nástroje klesá s menším vyložení, s větším průměrem a s vyšším modulem pružnosti materiálu. Pro dosažení nejlepšího možného výsledku je nutné splňovat základní podmínky pro vyvrtávání. Měl by být volen největší možný průměr vyvrtávací tyče s nejmenším možným vyložení pro dosažení větší stability a přesnosti. Důležité je zajištění vzájemné čistoty a nepoškozenosti upínacích ploch. Úhel nastavení hlavního ostří by měl být volen v rozmezí 75÷90° z důvodu minimalizace radiální složky řezné síly. Úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$  ovlivňuje velikosti axiálních a radiálních složek řezných sil. V případě malých hodnot úhlu  $\kappa_r$  se radiální složka zvětšuje, nástroj je vytláčován z řezu a může dojít k vibracím. VBD by měla být pozitivní, nepovlakovaná z houževnatějšího druhu SK z důvodu snížení řezných sil a odolávání rázových zatížení a vibracím. Poloměr špičky ostří VBD by měl být menší než hloubka



Obr.1.35 Dokončovací vyvrtávací tyč<sup>4</sup>

řezu, pro snížení radiálních řezných sil. Důležité je také správné utváření třísek a jejich odvod z místa řezu. Třísky by měli být krátké ve tvaru šroubovice. V případě nedostatečného odvodu třísek vzniká nebezpečí hromadění třísek v díře. Třísky jsou natlačeny mezi stěnu obrobku a nástroje a je možné poškození nástroje nebo zhoršení povrchové vrstvy. Pro dlouhé díry bývá zpravidla používáno vnitřního přívodu procesní kapaliny<sup>3</sup>.

### 1.2.4 Závítovací operace

Zhotovování závitů na frézovacích centrech je běžnou, často se vyskytující se operací. Principem je odstraňování materiálu z vytvářené šroubovitě drážky na vnitřní nebo vnější ploše. Závítování bývá prováděno závitníky nebo závítovými frézami. Závitník vytváří závit do předvrtané díry a osa nástroje je totožná s osou otvoru. Na frézovacích strojích bývá používáno strojních závitníků, které mají integrovány přeřezávací, řezací a kalibrovací část do jednoho nástroje (obr.1.36). Tyto monolitní nástroje jsou vyráběny z HSS nebo ze SK bez nebo s vnitřním chlazením. Závity lze vyrábět v průchozích i



neprůchozích otvorech. Pro slepé díry bývá závitník upnut v pojistné hlavě, která zajišťuje protočení nástroje po dojetí na dno díry.

Obr.1.36 Strojní závitníky <sup>8</sup>

Závitníky se na moderních strojích používají většinou jen pro malé průměry závitů. Pro zvýšení produktivity může být používáno sdružených závitníků, které slučují vrták a závitník do jednoho nástroje. Používání závitníků v sériové výrobě je v dnešní době nahrazováno frézováním závitů. Principem frézování závitů je rotace závitové frézy a okružní pohyb po obvodě díry. Závitové frézy se vyrábí jako monolitní nástroje z HSS nebo SK (obr.1.37), nebo jako frézy s VBD nebo vyměnitelnými hlavicemi ze SK bez a s vnitřním chlazením. Frézování závitů je vysoce produktivní metoda pro výrobu přesných závitů velkých průměrů a velkých stoupání. Při obrábění vznikají nižší síly a kratší řezné časy. Při frézování závitů je oproti závitníku dosažena lepší kvalita povrchu závitů i jeho tolerance. Obrábět lze vnitřní i vnější závity i do kalené oceli. Cenově výhodné je použití jednoho nástroje pro výrobu více závitů různých průměrů při stejném stoupání závitů. Současný trend je zvyšování řezivosti nástrojů. Používání povlakovaných nástrojů ze SK nitridem titanu a výrazné zvýšení trvanlivosti břitů nebo možnost zvýšení řezné rychlosti <sup>9</sup>.



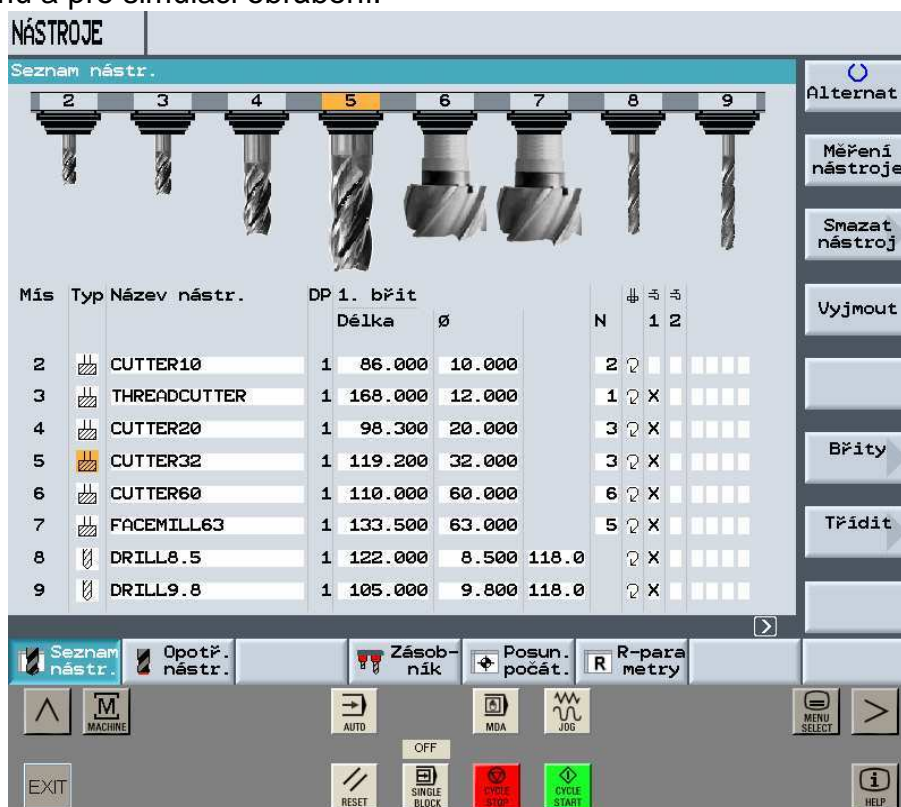
Obr.1.37 Monolitní závitová fréza <sup>5</sup>

## 1.3 Rozbor možností dílensky orientovaného frézování

### 1.3.1 Rozbor možností a tvorba NC programu

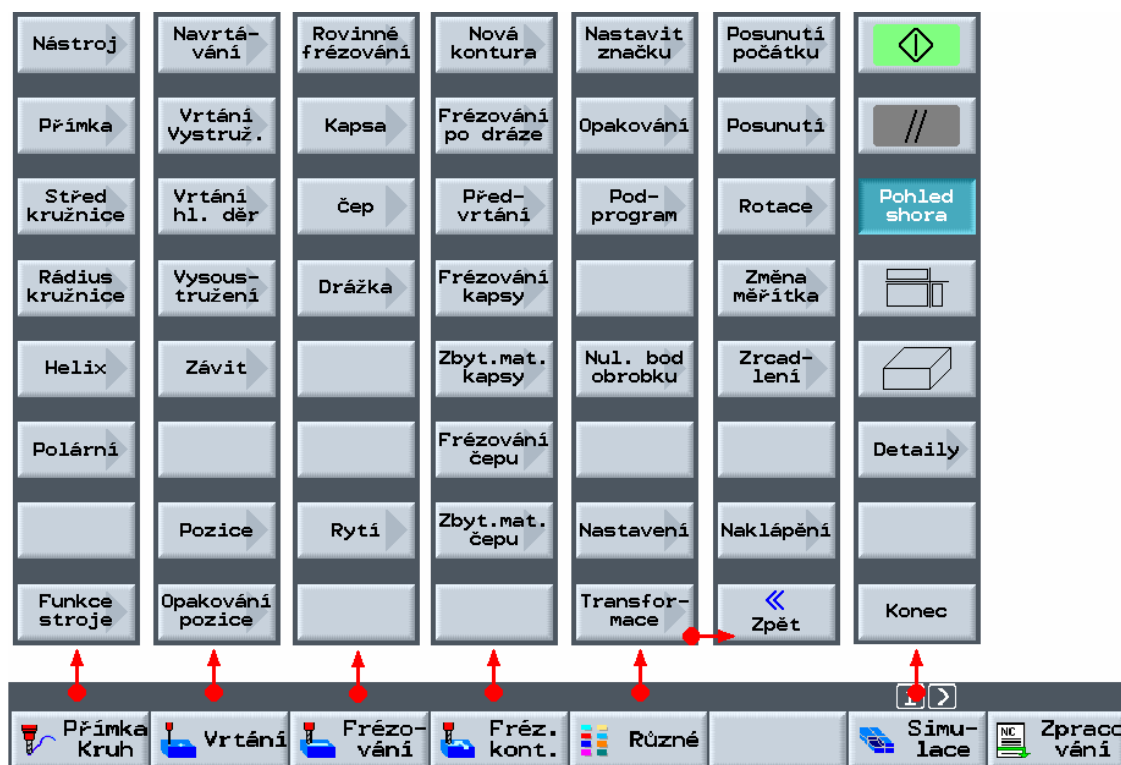
Program ShopMill není v této práci realizován přímo na obráběcím stroji v řídicím programu Sinumerik 840D, ale pomocí programu SinuTrain v dílensky orientovaném prostředí ShopMill Open V 06.04. Dílensky orientované prostředí ShopMill zjednodušuje problematiku vytváření programu. Software umožňuje zvýšit efektivitu práce. Pro naprogramování nejsou potřebné znalosti kódování, stačí pouze znalosti technologie obrábění. Výkres obrobku nemusí být zcela zakótován, program je schopen dopočítat některé tvary automaticky. Software

je obzvláště vhodný při malosériové nebo kusové výrobě, kdy řídicí programy může vytvářet přímo obsluha stroje. Program může být graficky simulován ve 2D nebo 3D zobrazení. Systémové programové vybavení je k dispozici v několika světových jazycích a na přání zákazníka i češtině. Pro zahájení vytváření programu je nutné spustit ShopMill, v této práci z programu SinuTrain. Po spuštění aplikace ShopMill se zobrazí program se strojními funkčními klávesami nebo bez nich. Program lze ovládat pomocí klávesnice nebo myši. Program se ovládá pomocí horizontálních resp. vertikálních tlačítek aktivovaných pomocí klávesnice funkčními klávesami F1 až F8, resp. Shift + F1 až F8. Program může být vytvořen pomocí založení nového souboru nebo editací již vytvořeného souboru. Při založení nového souboru ShopMill nabízí zda bude program realizován pomocí ISO programování nebo pomocí technologických bloků programu. V dílensky orientovaném programování ShopMillu se program zpravidla vytváří pomocí položek technologického postupu. První blok definuje rozměry polotovaru, odjezdy a bezpečné vzdálenosti. Další technologické bloky jsou vytvářeny dle pracovního postupu. Pro snadnější orientování v programu může uživatel využít on-line grafickou nápovědu, která poskytuje vizuální kontrolu zadaných hodnot<sup>11, 12</sup>. V případě když se více technologických operací vztahuje k jedné poloze (např. navrtávání, vrtání, závitování, atd.) mohou být tyto operace „zřetězeny“ s jednou pozicí. Pro složitější tvary obrazců je možné použít přehledný konturový editor. Před samotným vytvářením programu je vhodné definovat databázi nástrojů (obr.1.38). Odtud jsou nástroje následně používány v programu. V databázi je možné definovat typ nástroje, jeho délku, průměr, počet břitů, směr otáčení, popř. úhel nastavení hlavního ostří. Řezný nástroj je použitý pro výpočtu programu a pro simulaci obrábění.<sup>11, 12</sup>



Obr.1.38 Tabulka nástrojů s funkčními klávesami

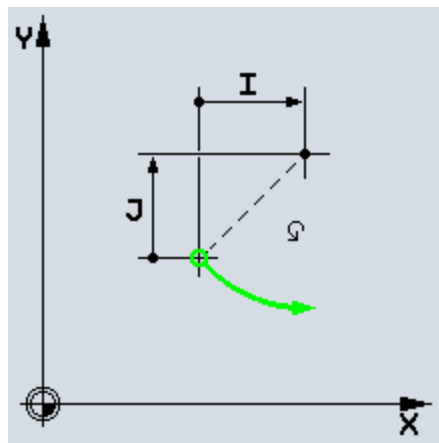
Program v dílensky orientovaném frézování je vytvářen pomocí skupin cyklů, které jsou umístěny v horizontální liště. Po zvolení skupiny jsou ve vertikální liště nabízeny jednotlivé strategie, které jsou dále editovatelné v dialogovém okně. Některé cykly z vertikální lišty se dále větví (obr.1.39) <sup>11, 12</sup>.



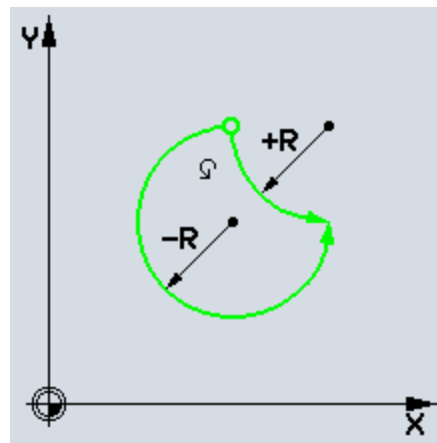
Obr.1.39 Nabídka skupin cyklů horizontální a vertikální lišty

### 1.3.2 Strategie lineární a kruhové interpolace

Programování lineární a kruhové interpolace je definováno elementárním pohybem nástroje po přímkové dráze (obr.1.42) nebo po kruhovém oblouku (obr.1.40 a obr.1.41). Zpravidla se tyto pohyby většinou používají pro technologické nájezdy nástroje. Pro obrábění se vzhledem k vybavenosti ShopMillu cykly, tyto interpolace nepoužívají. Programování interpolace probíhá definicí

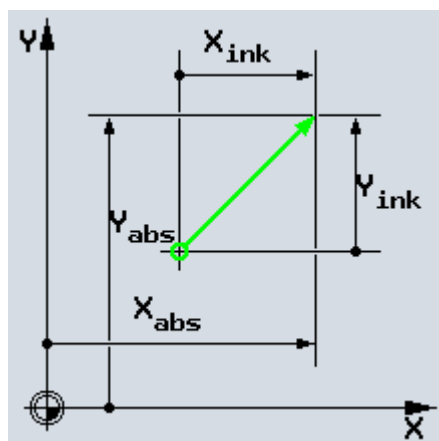


Obr.1.40 Kruhová interpolace

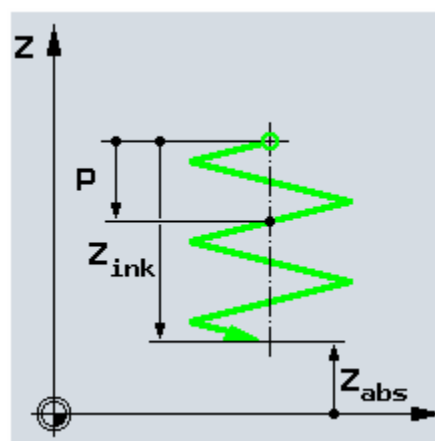


Obr.1.41 Kruhová interpolace

koncového elementu lineárního nebo rotačního pohybu. Pro všechny cykly ve vertikální liště je nutné nejdříve definovat řezný nástroj a jeho řeznou rychlost. Pro přímkový pohyb se definuje pouze koncový bod pohybu, posuv a důležitým faktorem je vypnutí nebo zapnutí korekce poloměru nástroje vlevo nebo vpravo. Pro naprogramování kruhové dráhy software nabízí cykly střed kružnice a rádius kružnice. V těchto cyklech se definuje bod na kružnici, střed kružnice resp. rádius, posuv a korekce nástroje. V případě pohybu po kruhovém oblouku bez korekce nástroje musí být zohledněn rádius nástroje při programování oblouku. Pohyby po přímce či oblouku mohou být zadány i pomocí polárních souřadnic. Pro definování elementů musí být nejdříve zadán pól polohy otáčení. Posledním prvkem z první skupiny cyklů je strategie Helix (obr.1.43). Tato strategie aplikuje radiální pohyb po kruhové dráze s axiálním přísuvem. Frézování probíhá po spirále s přísuvem v ose vřetene. Frézování po šroubovitě interpolaci je definované kružnicí, koncovým bodem v ose vřetene a velikostí přísuvu na otáčku. Tato strategie je vhodná pro nástroje, které jsou přizpůsobené pro zanořování<sup>13</sup>.



Obr.1.42 Lineární interpolace

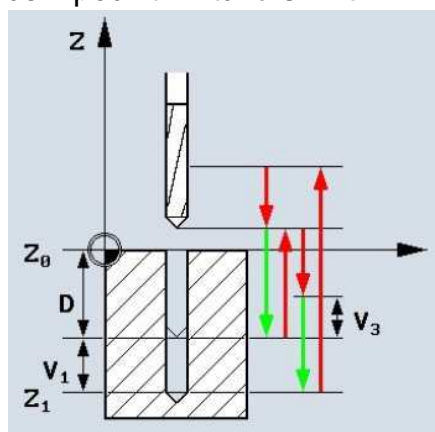


Obr.1.43 Helix

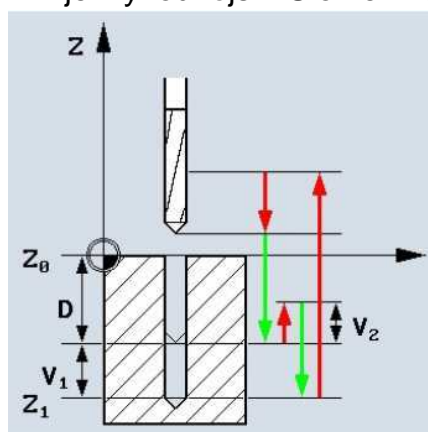
### 1.3.3 Strategie vrtání, vystružování, závitování

Strategie vrtání v horizontálním menu nabízí několik vrtacích cyklů včetně závitovacích operací. Pro všechny tyto operace platí navolení řezného nástroje ze zásobníku a definice řezných parametrů. Nástroj může být definován řeznou rychlostí nebo otáčkami, posuvem na otáčku nebo posuvem minutovým, ekvivalent si software dopočítává sám. Základním cyklem je cyklus navrtávání. Navrtávání je definováno špičkou nebo průměrem vrtaného otvoru. V případě špičky je definována hloubka vrtání, v případě průměru je definována hloubka vrtání průměrem vrtané díry a úhlem  $\kappa_r$ . Druhým cyklem je vrtání/vystružování. Vrtání je charakterizováno 1 řezem na dno definovatelné hloubky řezu. Hloubka řezu může být vztažena ke špičce vrtáku nebo ke stopce řezné části. Cyklus vystružování je charakterizován stejně jako cyklus vrtání. Jedinou změnou je definice posuvu návratu nástroje. Často používanou strategií je určité vrtání hlubokých děr. Tento cyklus nevrtá díry na jeden řez, ale vrtaná hloubka je rozdělena na několik elementů. Vrtané elementy mohou mít stejnou velikost, nebo se mohou s každým krokem zmenšovat. Lze definovat i minimální velikost vrtaného elementu. Pro odstraňování třísek z řezu software nabízí varianty

odstranění (obr.1.44) nebo ulomení třísky (obr.1.45). Princip odstraňování třísky je výjezd nástroje z řezu s následným posuvem do díry a vrtáním dalšího elementu. Při tomto pohybu je tříška ulomena a snadněji odstraněna z otvoru. Časově je tato technologie méně výhodná, ale za předpokladu vrtání hlubokých děr bez použití vrtáků s vnitřním chlazením je výhodnější. Ulomení třísky je

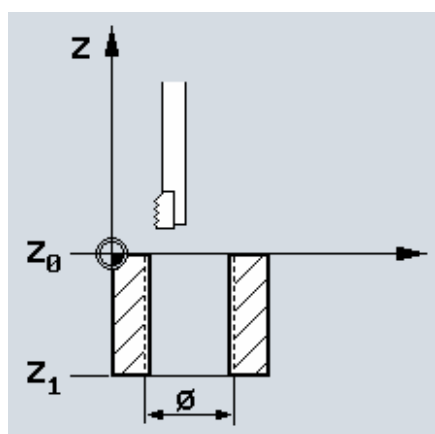


Obr.1.44 Odstranění třísky

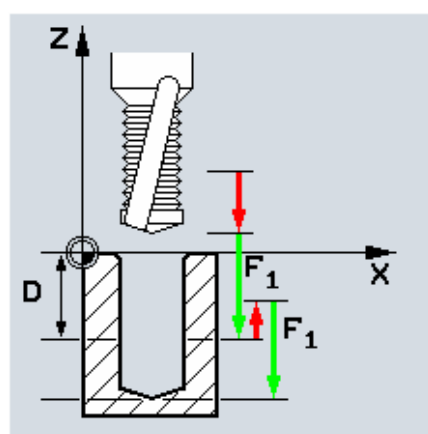


Obr.1.45 Ulomení třísky

realizováno krátkým posuvem zpět a následným pracovním posuvem. Tato technologie vytváří krátké třísky a je časově optimálnější než odstraňování třísky<sup>12</sup>. Dalším cyklem je vysoustružení. Vysoustružování je používáno pro obrábění vyvrtávacími nástroji. Technologie je definována hloubkou díry a odjetím nástroje. Pro odjetí je nutné zadat úhel orientace nástroje při oddálení a hodnotu oddálení nástroje, aby nevzniklo nebezpečí kolize nástroje. Pro výrobu závitů systém nabízí 3 varianty: závitování, frézování závitu a frézování a vrtání závitu. Výroba závitů pomocí Závitování je realizována závitníkem v ose díry. Definují se parametry rezné rychlosti, rychlosti zpětného pohybu, stoupání závitu a způsob vytvoření závitu. Závit může být vytvořen na jeden řez nebo s ulomením resp. odstraněním třísky. Tato technologie je obdobná jako u hlubokého vrtání. Cyklus frézování závitu umožňuje vytvářet vnitřní i vnější závit (obr.1.46). Pro definování je nutné zadat jmenovitý průměr závitu, stoupání, hloubku, počáteční úhel, počet břítů frézy a směr vytváření závitu. Poslední strategií je vrtání a frézování závitu (obr.1.47). Pro tuto technologii je důležité použití nástroje schopného vrtat a frézovat závit. Tato strategie je

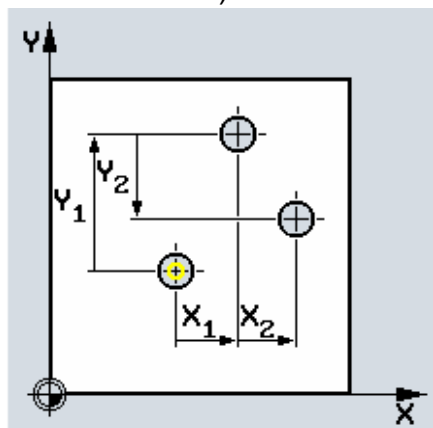


Obr.1.46 Frézování závitu

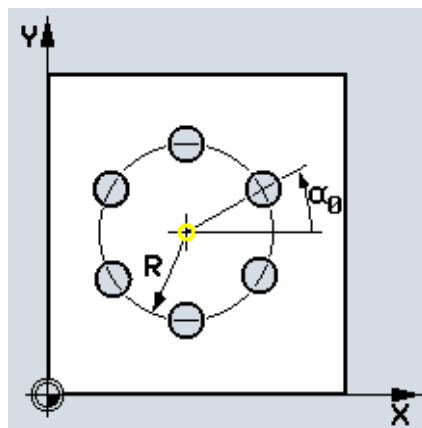


Obr.1.47 Vrtání a frézování závitu

definována vrtacími prvky a prvky frézování závitu. Pro všechny cykly ze strategie vrtání z horizontálního menu je nutné specifikovat polohu bodů ve třech osách. V nabídce ShopMillu je definice polohy např. pomocí přímky, mřížky, části nebo celého kruhu, nebo v pravouhlých či polárních souřadnicích (obr.1.48 a obr.1.49).



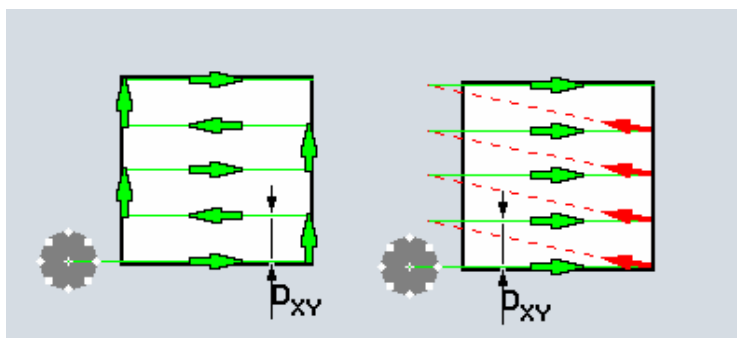
Obr.1.48 Pozice pravouhle



Obr.1.49 Pozice na roztečné kružnici

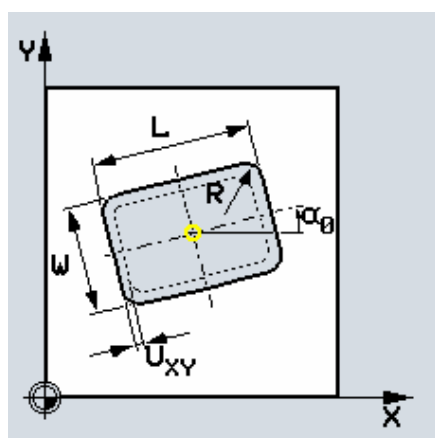
### 1.3.4 Strategie frézování

Strategie frézování poskytuje ve své vertikální liště několik cyklů pro frézování kapes, čepů, drážek, rytí znaků nebo rovinné frézování. Stejným znakem pro všechny tyto cykly je opět zvolení nástroje z databáze nástrojů a doplnění rezných podmínek. Posuv může být zadán v hodnotě mm na zub nebo mm za minutu. Na výběr je zadání rezné rychlosti nebo otáček vřetene. První strategií je rovinné frézování. Rovinné frézování je často používaná strategie např. pro zarovnání plochy obrobku. Definice je velice jednoduchá. Vyplnění dialogové tabulky zahrnuje zvolení hrubovací nebo dokončovací alternativy, směru opracování, zadání polohy výchozího a konečného bodu obrábění, maximálního přísmuvu v rovině a do hloubky a pro hrubovací strategii ještě přídavek na dokončení v ose Z. Hodnoty lze zadávat absolutně nebo inkrementálně a hodnoty maximálního přísmuvu v rovině lze zadat procentuálně nebo rozměrově. Směr opracování lze volit v jednom směru, kdy se nástroj rychloposuvem přesune do dalšího bodu obrábění ve stejném smyslu, nebo obousměrné, kdy nástroj obrábí pracovním posuvem v sousledném i nesousledném směru (obr.1.50). Směr opracování ovlivňuje čas obrábění a jakost obrobenej plochy<sup>12, 13</sup>.

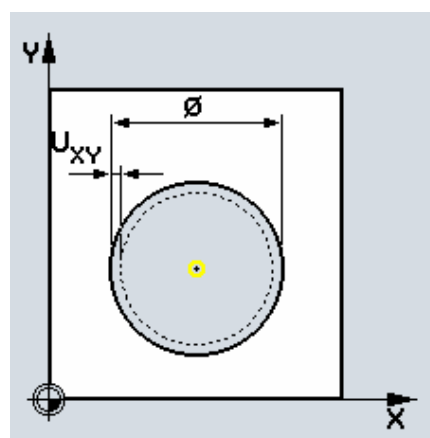


Obr.1.50 Směr opracování rovinného frézování

Cyklus obrábění kapes nabízí frézování kapes pravoúhlých (obr.1.51) nebo kruhových (obr.1.52). Strategie frézování kapes je definována polohou vztažného bodu. Vztažný bod může být umístěn ve středu kapsy nebo v libovolném rohu kapsy. Vztažný bod je určen polohou v osách X,Y a Z. Definována je šířka, délka a rohový poloměr kapsy, resp. průměr pro kruhovou kapsu. Opracování lze měnit pomocí tlačítka alternativa: nahrubo, načisto, načisto okraje nebo sražení hran. Pro pravoúhloú kapsu lze měnit úhel natočení kapsy vzhledem k souřadnému systému. Pro oba typy drážek je nutná definice maximálního přísluvu v rovině a pro hloubku. V případě hrubovací strategie musí být uveden přírůstek pro dokončení stran a dna kapsy. Poslední údaj specifikuje styl zanoření nástroje do materiálu. Na výběr je zanoření středem nástroje nebo pendlováním pod úhlem resp. frézováním po šroubovici pro kruhové kapsy.

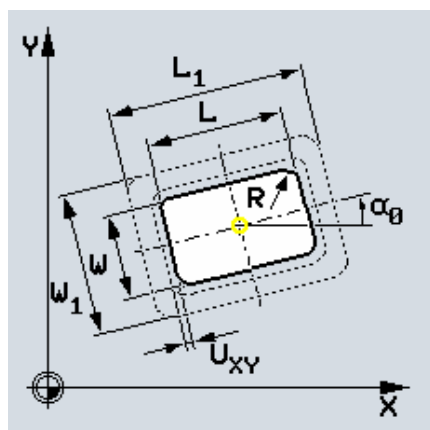


Obr.1.51 Pravoúhlá kapsa

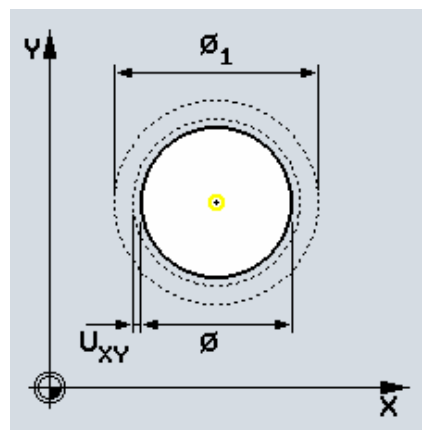


Obr.1.52 Kruhová kapsa

Frézování čepů je obdobnou technologií jako frézování kapes. Software nabízí frézování čepů pravoúhlých (obr.1.53) nebo válcových (obr.1.54). Pro frézování čepu jsou opět vyplňovány data polohy vztažného bodu včetně jeho souřadnic, typ opracování, šířky, délky a rohového poloměru pravoúhlého čepu, resp. průměru u kruhového čepu. Definována je hloubka a maximální přísluv do hloubky, přírůstky na dokončení dna a stran čepu a šířka a délka polotovaru resp. průměr výchozího polotovaru pro obrábění kruhového čepu.

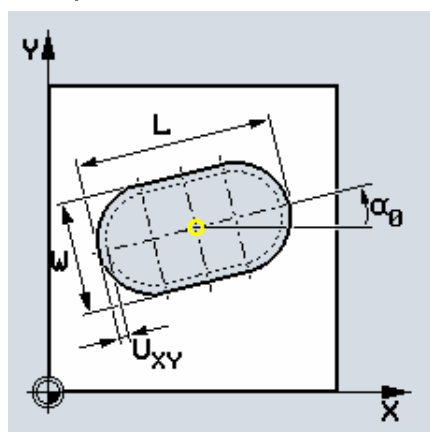


Obr.1.53 Pravoúhlý čep

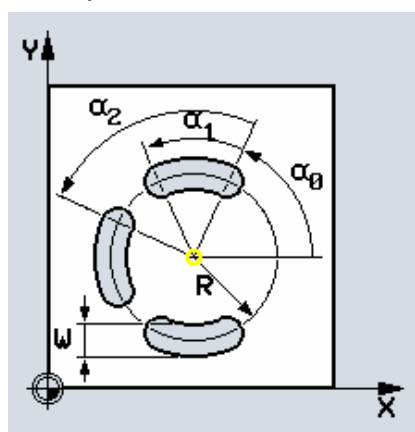


Obr.1.54 Kruhový čep

Další strategií je frézování drážek. Drážky lze frézovat podélné (obr.1.55) nebo kruhové (obr.1.56). Definice podélné drážky je obdobná jako definice pravouhlé kapsy. Kruhová drážka je mimo pracovního posuvu definována i posuvem pro zanořování. Na výběr je obrábění drážky ve formě celého nebo části kruhu. Drážka je orientována k vztažnému bodu určeného kartézským souřadným systémem. Definovány jsou hodnoty šířky, hloubky, rádiusu, maximálního přísunu do hloubky a přídatku na dokončení v rovině. V případě, že má drážka tvar části kruhu, musí být určena počátečním a vrcholovým úhlem. Takto je definována poloha a úhel rozevření drážky. Pro více stejných drážek může být cyklus doplněn úhlem indexování a informací o počtu drážek <sup>13</sup>.

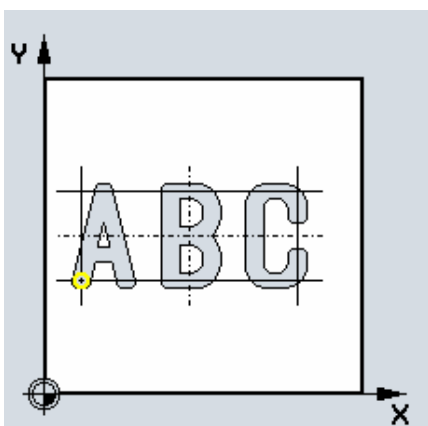


Obr.1.55 Podélná drážka



Obr.1.56 Kruhová drážka

Posledním cyklem z horizontálního menu frézování je technologie rytí. Rytí bývá používáno pro popisování nebo značení obrobků (obr.1.57). Nástrojem zpravidla bývá monolitní gravírovací fréza. Cyklus rytí je může být proveden podélně nebo na rádiusu ve vypouklém nebo vydutém tvaru. Definována musí být opět poloha vztažného bodu a hloubka obrábění, včetně posuvu do hloubky. Pro rytý text musí být zadána výška a rozestup znaků. Pro podélný styl zarovnání lze nastavit úhel natočení a pro styl na rádiusu lze zadat úhel otevření rádiusu.

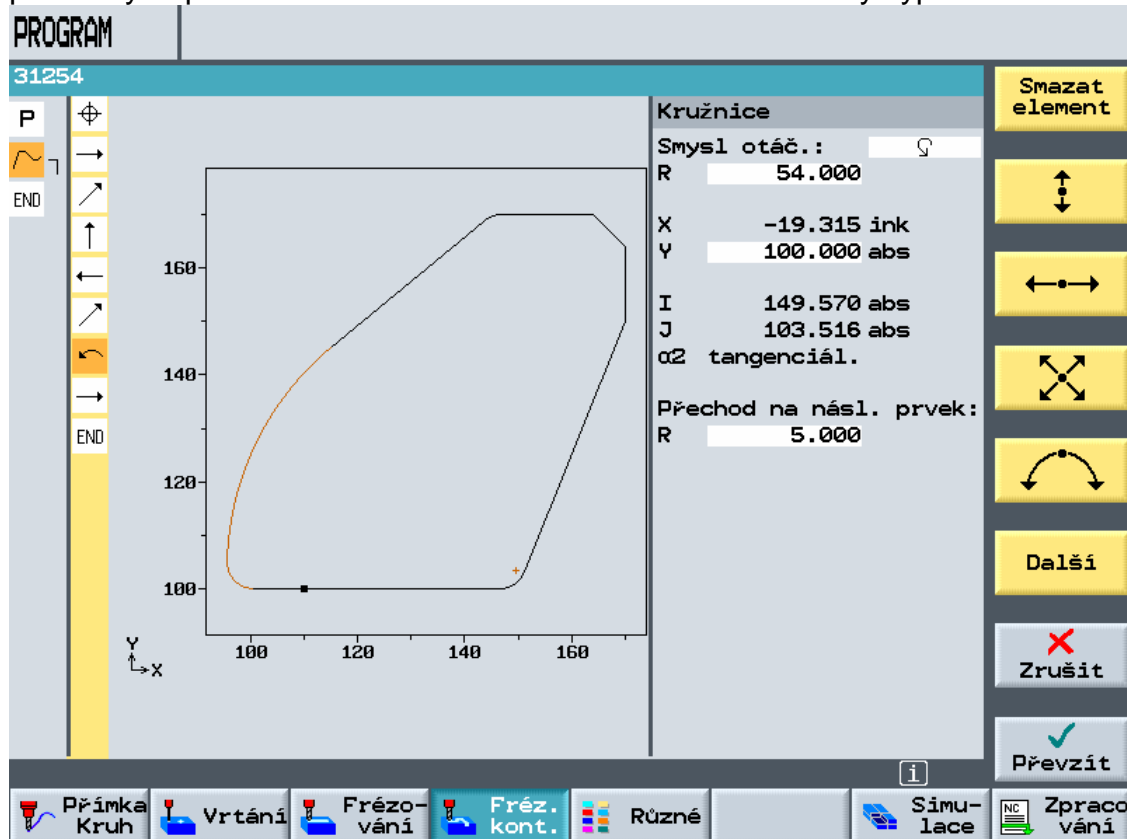


Obr.1.57 Rytí

### 1.3.5 Strategie konturového frézování

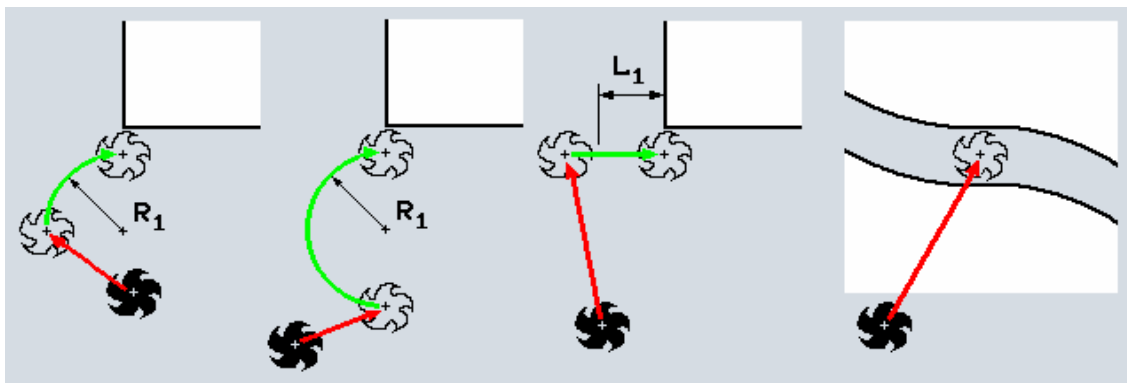
Konturové frézování nabízí rozšířené metody frézování oproti skupině cyklů frézování. Jednotlivé cykly vertikálního menu jsou zřetězeny s předem vytvořenou konturou v konturovém editoru. V konturovém editoru po založení nové kontury lze jednoduchými elementy přímek a kružnic nakreslit i tvarově složité kontury (obr.1.58). Definice kontury začíná zadáním startovního bodu. Dále lze použít z menu horizontální, vertikální nebo obecnou přímku v prostoru, nebo kružnici. Přímky jsou definovány koncovým bodem elementu v dané ose, úhlem a přechodem na další prvek resp. koncovým bodem ve dvou osách nebo

úhly pro případ obecné přímky. Přechod na další prvek zahrnuje zkosení zadané a navazující entity o danou velikost, nebo zaoblení definovaným rádiusem. Kružnice je definovaná smyslem otáčení, rádiusem, koncovým bodem elementu a případně středem kružnice. Možné je použití napojení tangentou u přechodu pro zajištění správné křivosti. Pro všechny elementy platí zadávání všech prvků elementu nemusí být úplné, systém si některé hodnoty a přechody dopočítá sám a nabídne uživateli možné alternativy výpočtu.



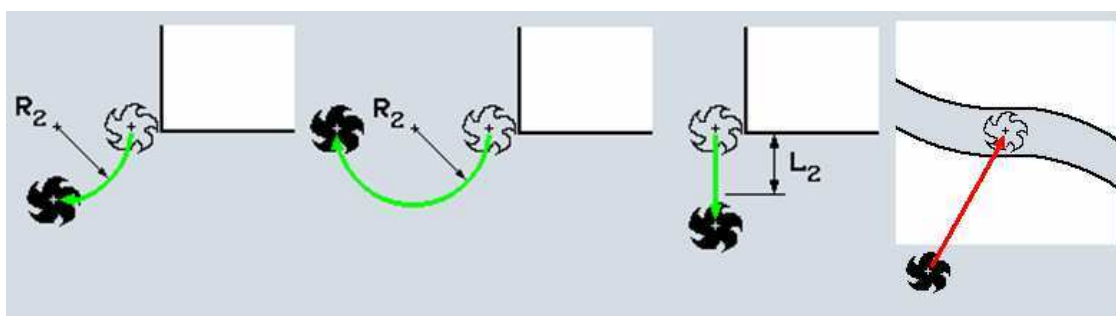
Obr.1.58 Vytváření kontury v konturovém editoru

Prvním frézovacím cyklem je frézování po dráze. Pro všechny cykly je opět nutné vyvolat nástroj z tabulky nástrojů a doplnit jejich řezné podmínky posuvů a řezné rychlosti. Pro dráhové frézování je nutné zvolit korekci nástroje vlevo, vpravo nebo bez korekce středem nástroje. Dále opracování v naprogramovaném směru kontury ve směru v před nebo zpět. Kontura pro dráhové



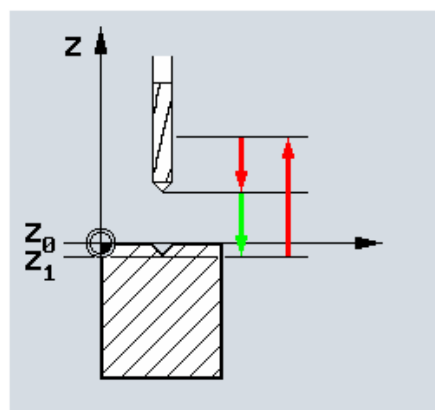
Obr.1.59 Způsoby najetí na obrobek

frézování nemusí být uzavřená. Opracování může být nahrubo, načisto nebo sražení hran. Samotná definice cyklu obsahuje zadání výšky roviny polotovaru, vztažné hloubky obrábění obrysu, maximální přířuv pro hloubku a přířivky na dokončení v rovině a pro dno. Cyklus nabízí i různé způsoby najetí na obrys (obr.1.59) resp. odjetí z obrysu (obr.1.60). Způsoby najetí i vyjetí jsou možné po čtvrtkruhu, půlkruhu, přímkou nebo vertikálně. Způsoby jsou určeny délkou najetí pro přímkou resp. poloměrem pro kružnici a posuvem přířuvu do hloubky. Mezi jednotlivými přířivy lze zvolit mód odjetí před opětovným přířivem. Na výběr je odjetí na rovinu návratu, na  $Z_0$  + bezpečnou vzdálenost, o bezpečnou vzdálenost nebo bez návratu. Odjíždění ovlivňuje vedlejší časy obrábění. Cyklus dráhového frézování je následně zřetězen s vytvořenou konturou.

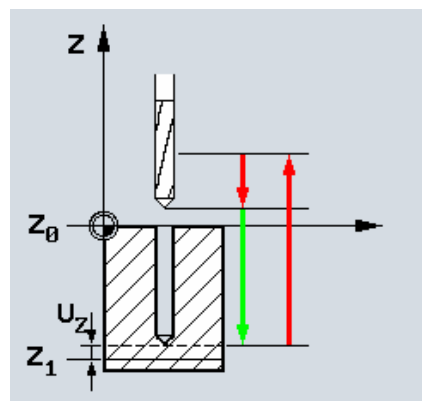


Obr.1.60 Způsoby odjetí od obrobku

Dalším cyklem zřetězeným s konturou je cyklus navrtání nabízející technologie středění (obr.1.61) a předvrtání (obr.1.62). Tyto cykly nemusí být zcela určeny, systém se může odkazovat na parametry v předchozím kroku. Ve vertikálním menu se nabízí tlačítko všechny parametry, které dále specifikuje obrábění. Cykly jsou definovány výškou roviny obrobku, vztažnou hloubkou obrábění a přířivkem na dokončení v rovině a pro hloubku. Modus odjezdu nabízí návrat na rovinu návratu nebo na  $Z_0$  + bezpečnou vzdálenost<sup>13</sup>.



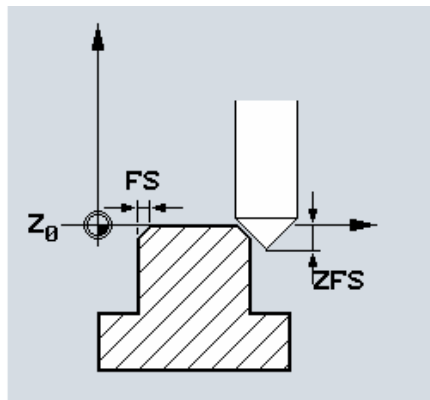
Obr.1.61 Středění



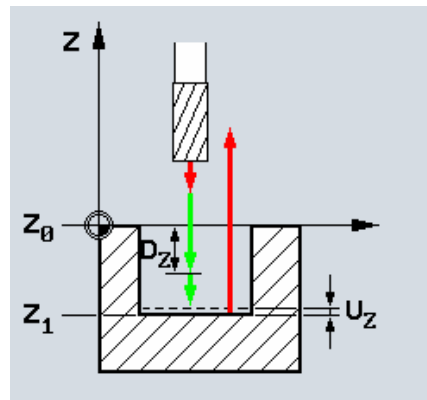
Obr.1.62 Předvrtání

Frézování kapsy je cyklus specifikovaný pro obrábění uzavřených kontur. Frézování kapes může být ve formě hrubování, dokončování, dokončování okrajů nebo sražení hran (obr.1.63). Definované jsou parametry výšky roviny obrobku, hloubka obrábění, maximální přířuv v rovině a pro hloubku a přířivky pro obrábění pro boky a dno kapsy (obr.1.64). Startovní bod může být stanoven

uživatelé ručně v souřadnicích X a Y nebo automaticky softwarem. Shopmill nabízí varianty zanoření středem nástroje, po šroubovici nebo pendlováním pod daným úhlem. Mód oddálení před opětovným přísuvem lze zvolit buď návratem na návratovou rovinu nebo na  $Z_0 +$  bezpečnou vzdálenost.

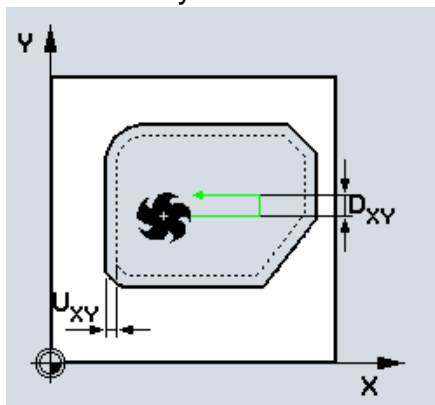


Obr.1.63 Srážení hran



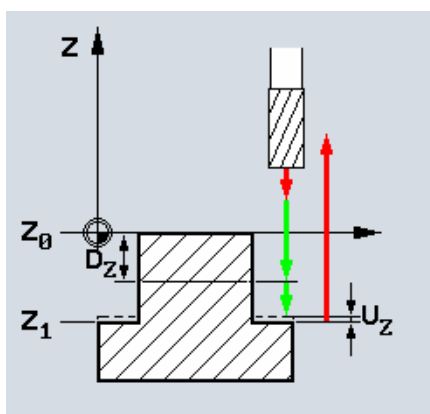
Obr.1.64 Definice parametrů v ose Z

Dalším cyklem zabývající se frézováním kapes je strategie frézování zbytku materiálu kapsy (obr.1.65). V případě, když programovaná kontura kapsy se překrývá s již obrobenu plochou, ShopMill automaticky rozpozná neodebraný materiál. Zbytek materiálu může být odebrán bez nutnosti znovu obrábět celou plochu kapsy. Zbytek materiálu je vyhodnocený na základě rozměrů nástroje. Pro tento cyklus jsou definovány maximální přísuny v rovině a pro hloubku a mód oddálení. Po zapnutí všech parametrů lze ještě dodefinovat referenční nástroj pro zbytkový materiál, výšku polotovaru, hloubku obrábění a přídavky v rovině obrábění a pro dno kapsy <sup>13</sup>.



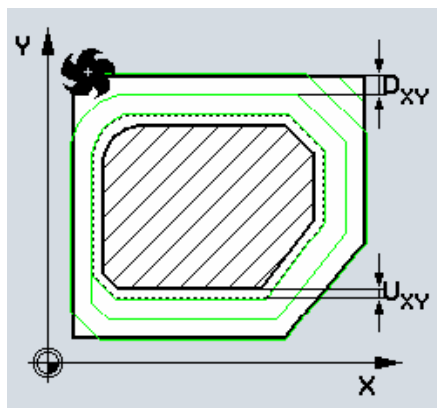
Obr.1.65 Frézování zbytku materiálu kapsy

Další strategií konturového frézování je cyklus frézování čepů. Kdy je možné naprogramovanou uzavřenou konturu obrábět z vnější strany. Nástroj je polohován rychloposuvem do startovní pozice vypočtené ShopMillem. Uživatel může volit mezi obráběním nahrubo, načisto dno, načisto okraje nebo srážení hran. Strategie je definovaná výškou povrchu polotovaru, vztažnou hloubkou obrábění, maximálním přísuvem v rovině a na hloubku, přídavkem pro obrábění v rovině a pro hloubku a módem oddálení (obr.1.66). Nájezdy i odjezdy na obrobek jsou realizovány po čtvrtkružnici <sup>13</sup>.



Obr.1.66 Definice parametrů v ose Z

Poslední strategií je frézování zbytkového materiálu čepu. Cyklus je vztahován k dvěma konturám, které určují tvar čepu a prostor okolo čepu, který má být frézován. Pokud se v tomto prostoru nachází již dříve odebraný materiál,



ShopMill jej automaticky rozpozná a frézuje pouze neodebraný materiál, bez nutnosti frézovat celou plochu. Cyklus nemusí být zcela určen, definován je pouze maximálním přírůstkem v rovině a pro hloubku a módem odjezdu nástroje. Po zapnutí všech parametrů je volen referenční nástroj pro zbytkový materiál, výška povrchu polotovaru, vztažná hloubka obrábění a přírůstek v rovině obrábění a přírůstek na dno.

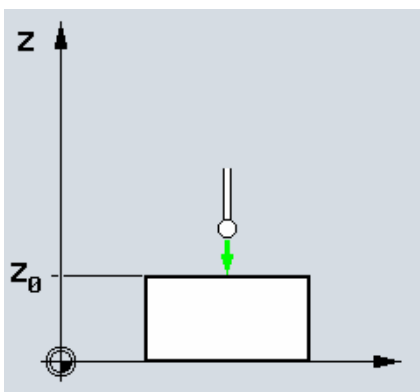
Obr. 1.67 Frézování čepu

### 1.3.6 Strategie různé a transformace

Prvním cyklem vertikálního menu nabídky různé je nastavení značky a opakování (obr.1.68). Jestliže má být nějaký blok programu vykonaný několikrát, stačí jej naprogramovat pouze jedenkrát. ShopMill umožňuje vložit opakování za již naprogramovaný krok. Technologické bloky programu, které mají být opakovány musí být označeny začáteční a koncovou značkou. Tyto značky omezují opakovanou oblast. Značky nesmí mít stejné názvy<sup>12</sup>.

	<b>N10 ZACATEK:</b>		
	<b>N15 1</b>		
	<b>N20 Frézov. kapsy</b>	▽	T=FREZA 25 F0.2/zub V333m Z0=0
	<b>N25 KONEC:</b>		
	<b>N30 Zrcadlení</b>	add	Y
	<b>N35 Opakování</b>		ZACATEK KONEC P=2
<b>END</b>	<b>Konec programu</b>		<b>N=1</b>

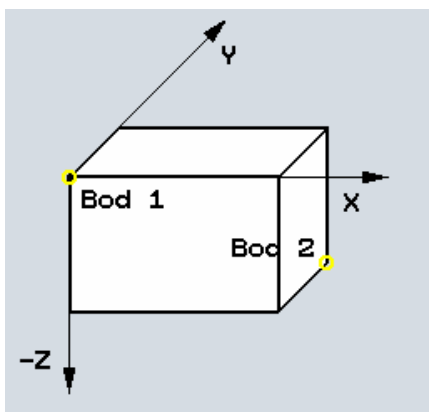
Obr.1.68 Ukázka značek a opakování v programu



Obr.1.69 Nulový bod v ose Z

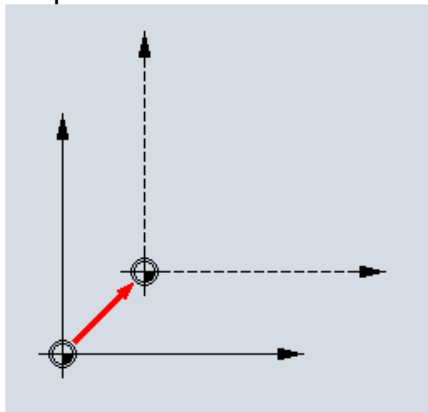
Dalším cyklem je podprogram. Pokud jsou technologické bloky použité v programu vícekrát, lze tyto bloky naprogramovat do podprogramu. Podprogram je následně zavolán v hlavním programu. Během jednoho podprogramu je možné vyvolat i jiné podprogramy. Podprogram musí být uložený v NC pracovní paměti. Programy pro ShopMill mají koncovku MPF a podprogramy mají koncovku SPF. Další cyklus je Nulový bod obrobku. Pro určování nulového bodu obrobku se používá dotyková sonda. ShopMill pracuje pouze s 3D dotykovou sondou. Sonda je polohována k obrobku,

pracovním posuvem, dotkne se strany obrobku a v dané ose je parametr souřadnice vložen do tabulky. Po zjištění všech parametrů souřadnic je přiřazeno programové posunutí. Dalším cyklem je Nastavení (obr.1.70). Cyklus nastavení slouží k nastavení rozměrů, roviny návratu, bezpečné vzdálenosti a opracování. Nastavení rozměrů je určeno pomocí dvou vrcholů kvádru na tělesové úhlopříčce. Dále je nastavena osa vřetene. Rovina návratu specifikuje rovinu, kde je možné realizovat bezpečné přejezdy bez nebezpečí kolize. Bezpečná vzdálenost definuje vzdálenost nad obrobkem, do které je možné zajíždět rychloposuvem. Návrat na pozici bere v úvahu bezpečnou vzdálenost a konturu součásti a optimalizuje posuvy podél součásti. Opracování ve směru nabízí variantu sousledného nebo nesousledného frézování<sup>13</sup>.

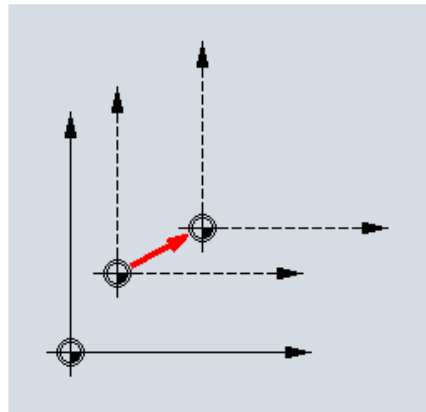


Obr.1.70 Nastavení

Posledním tlačítkem z horizontální skupiny cyklů je Transformace. Transformace nabízí možné varianty transformací z hlediska posunutí, rotace, změny měřítka, zrcadlení či naklápění. Prvním cyklem je Posunutí nulového bodu (obr.1.71). Posunutí nulového bodu přiřazuje posunutí nulového bodu obrobku do programu. Posunutí může být volané z jakéhokoliv programu. Stisknutím tlačítka alternativa vybírá uživatel definované posunutí. Stisknutím tlačítka posunutí nulového bodu bude posunutí realizováno.



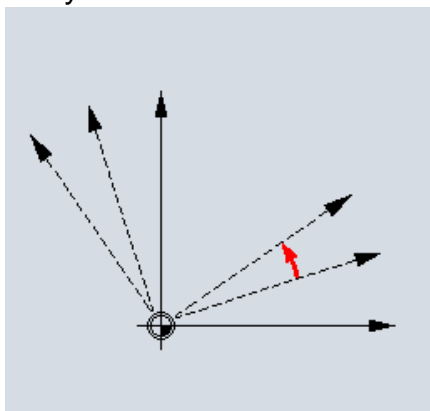
Obr.1.71 Posunutí nulového bodu



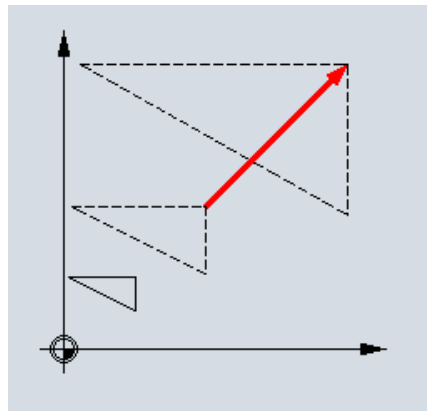
Obr.1.72 Aditivní posunutí

Dalším cyklem je posunutí. Cyklus posunutí posouvá nulový bod v programu. Na výběr je nové a aditivní posunutí. Nové posunutí ruší aktivní nulový bod a přesouvá nulový bod na zadanou hodnotu. Aditivní posunutí posouvá aktivní nulový bod o zadanou hodnotu. Dalším cyklem je rotace. Rotace natáčí souřadný systém o danou hodnotu úhlu natočení. Vztahuje se k nulovému bodu. Nová rotace deaktivuje aktuální natočení a natáčí systém o danou hodnotu. V případě nastavení výchozí pozice jsou hodnoty nové rotace nulové. Aditivní rotace (obr.1.73) otáčí systém o zapsanou hodnotu. Dalším cyklem je změna měřítka. Změna měřítka umožňuje zmenšit nebo zvětšit daný blok programu o zadaný koeficient. Nová změna měřítka ruší aktivní změnu měřítka

a násobí programové souřadnice uvedeným faktorem. Aditivní změna měřítka (obr.1.74) se vztahuje k předchozí změně měřítka. Změna měřítka se odkazuje na nulový bod součásti <sup>13</sup>.

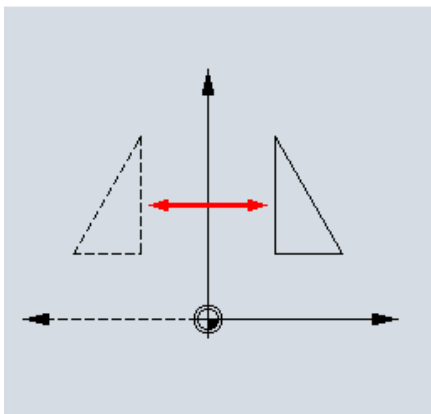


Obr.1.73 Aditivní rotace



Obr.1.74 Aditivní změna měřítka

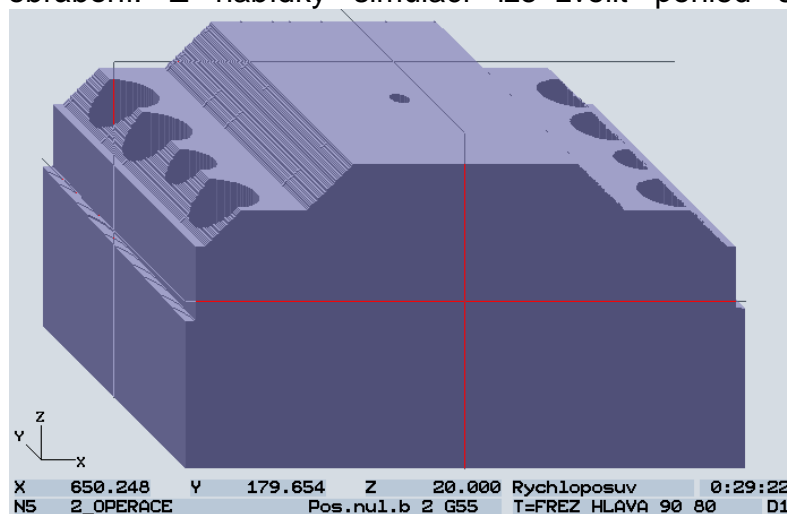
Dalším cyklem je zrcadlení (obr.1.75). Cyklus zrcadlí vybrané technologické bloky podle zvolené osy zrcadlení. Nové zrcadlení ukončuje předešlé zrcadlení a obrábění je zrcadleno ve vybraných osách. Aditivní zrcadlení se vztahuje k existujícímu zrcadlení. Směr frézování bude zachován i po zrcadlení. Posledním cyklem je naklápění. Naklápění realizuje naklápění nástrojové hlavy nebo kolíčky pracovního stolu. Naklápění je používáno pro obrábění šikmých ploch, kdy je vyklopena nástrojová hlava nebo obrobek. <sup>13</sup>



Obr.1.75 Zrcadlení

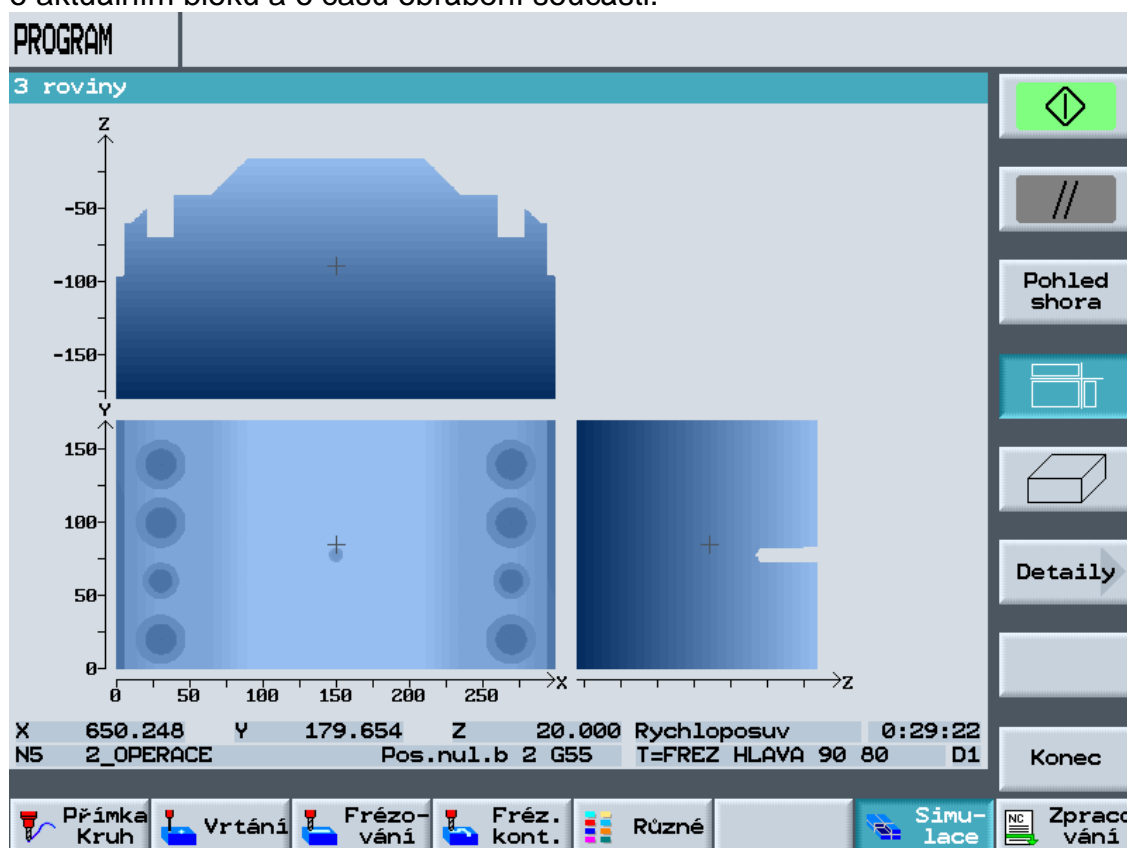
### 1.3.7 Simulace obrábění

Simulace obrábění zajišťuje grafickou podporu pro kontrolu naprogramovaného procesu obrábění. Z nabídky simulací lze zvolit pohled shora, pohled



Obr.1.76 Grafické zobrazení 3D simulace

v pravoúhlém promítání (obr.1.77) nebo 3D pohled (obr.1.76). Součást lze v grafickém zobrazení zvětšovat, zmenšovat, otáčet nebo provést částečný řez součástí. Simulaci obrábění lze pustit plynule nebo v režimu po bloku. V dolním informativním řádku jsou zobrazeny údaje o nástroji, o jeho aktuální poloze, o aktuálním bloku a o času obrábění součásti.



Obr.1.77 Grafické zobrazení simulace v pravoúhlém promítání

## 2 TECHNOLOGICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY SOUČÁSTI

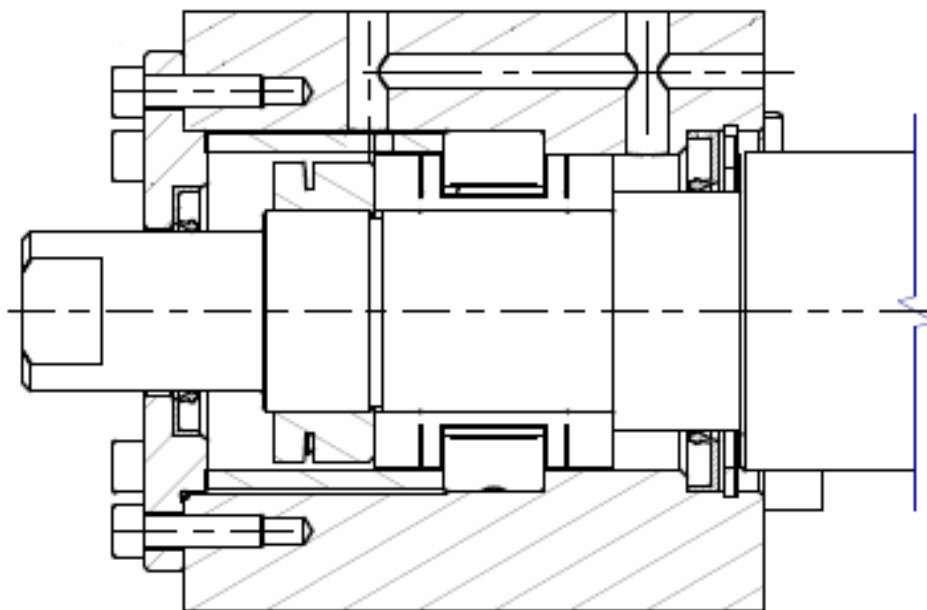
Praktická část této práce je zaměřena na výrobu součásti domku kuličkového šroubu od firmy FERMAT CZ s.r.o. Domek kuličkového šroubu slouží k uložení pohonu v ose X v koncové poloze. Součást je určena pro stolovou vodorovnou vyvrtávačku WFT 13 CNC firmy FERMAT CZ s.r.o (obr.2.1). Příprava výroby je zaměřena na rozbor variant výroby součásti. Návrh výroby byl vytvořen ve čtyřech možnostech technologií, s návrhem strojů, nástrojového vybavení, včetně měřidel. Pro tyto technologie byly zpracovány technologické postupy s řídicími programy pro obrábění a technicko ekonomické zhodnocení jednotlivých variant pro roční výrobní sérii.



Obr.2.1 Stolová vodorovná vyvrtávačka WFT 13 CNC

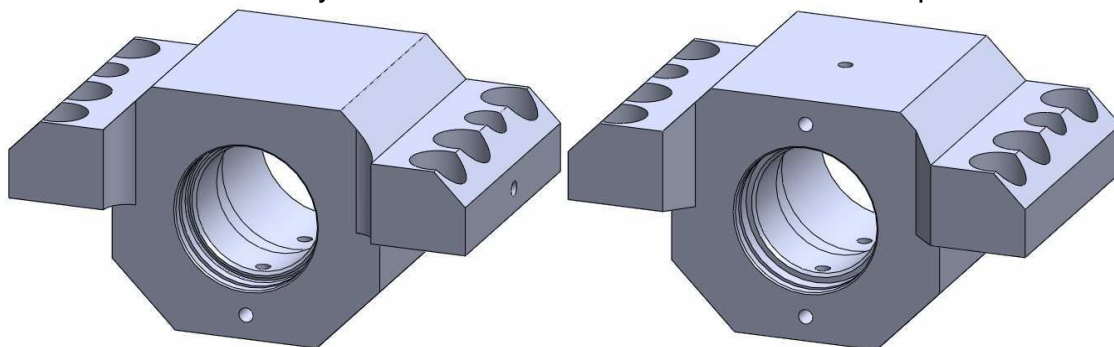
## 2.1 Technologičnost konstrukce

Tvar součásti splňuje z konstrukčního hlediska funkční i pevnostní předpoklady. Součást je navržena dle norem s ohledem na požadavky výrobců dodávaných komponent do vnitřku součásti. Z technologického hlediska s ohledem na minimální pracnost výroby lze součást modifikovat. V dílci jsou navrženy kanálky pro přívod a odvod chladicího a mazacího média z pěti stran. Vzhledem k ušetření času nutného pro otáčení součásti a upínacích operací, byla po konzultaci s konstruktérem ve firmě FERMAT CZ s.r.o. Ing. Obdržálkem navržena změna umístění kanálků pro přívod chladicího a mazacího média. Přívodní kanálky vrtané z čela a z bočních stran součásti byly zrušeny a nově byl navržen pouze jeden kanálek vrtaný z protilehlé čelní strany, kde se nachází odvodní kanálek a napojující se kolmo vrtaný z horní strany součásti. Další změnou bylo odstranění zápichu F2,5x0,3 z otvoru Ø90H8. Tento zápich by byl frézováním velice těžce vyrobitelný. Jako alternativní řešení byl navržen maximální dovolený rádius. V místě zápichu bude po smontování dosedat hřídelový těsnicí kroužek GP 65-90-10 (obr.2.2). Vzhledem k tomuto faktu není nutnost zápichu důležitá. Z tohoto důvodu byl navržen maximální dovolený rádius  $R_{max} = 0,8$  mm, který dostatečně splňuje podmínku dosednutí hřídelového těsnicího kroužku na čelo otvoru. Dalším pozměněním součásti byla změna rádiusu R15 propojujícího čelo součásti s upínacími prvky domku. S ohledem na pracnost výroby by byla výroba tohoto rádiusu složitější, proto byla navržena varianta nahrazení rádiusu R15 sražením 15x45°. Vyr obitelnost sražení pod 45° je jednodušší, než-li výroba rádiusu R15. S ohledem na silové namáhání součásti byla po konzultaci s konstruktérem Ing. Obdržálkem povolena změna na sražení (obr.2.3). Rozměrová a tvarová přesnost a jakost obrobené plochy vnějšího tvaru součásti je z technologického hlediska bez problémů. Tolerování díry je mnohem přesnější, než-li tolerování vnějšího tvaru. Z technologického hlediska je výroba Ø90G5 s tolerancí kruhovitosti 0,003 mm a tolerancí kolmosti



Obr.2.2 Řez sestaveným modelem součástí

0,005 mm obtížně výrobitelná. Tolerance rozměru  $\varnothing 90G5$  je pouze 0,015 mm. Tato rozměrová a tvarová přesnost je požadovaná výrobcem pro předepsanou životnost ložiska. Současná varianta výroby počítá s materiálem C45 (ČSN 41 2050). Tento materiál má minimální mez pevnosti v tahu  $R_m = 600$  MPa a minimální mez kluzu  $R_e = 355$  MPa. Použití oceli C45 je vhodné pro hřídele, větší ozubená kola, šneky, ojnice, čepy, unášeče nebo kolíky. Záměrem firmy FERMAT CZ s.r.o. je nahrazení polotovaru pro součást domku uložení pohonu v ose X výpalku z plechu z oceli C45 odlitkem z tvárné litiny EN-GJS-500-7 (ČSN 42 2305). Tato litina má minimální mez pevnosti v tahu  $R_m = 500$  MPa a minimální mez kluzu  $R_{p0,2} = 320$  MPa. Tento materiál je určen pro součásti mechanicky i dynamicky namáhané, na vodící a kluzné lišty, tělesa armatur, převodové skříně a na válečky rovnaček. Pro návrh výroby této součásti byla zvolena technologie výroby z polotovaru výpalku/přířezu z plechu tl. 180 mm nebo z 4-hranné tyče 180x180 mm materiálu C45 a polotovaru odlitku dle výkresu polotovaru odlitku z materiálu EN-GJS-500-7. Návrhy technologií pro tyto polotovary jsou vyráběné frézováním součástí na horizontální stolové vyvrtávače TK 6511 CNC s brousicími operacemi nebo



Obr.2.3 Model Domku KŠ před a po úpravě technologičnosti konstrukce

soustružením otvoru na vodorovném soustruhu SF 55/1500 CNC a frézováním obrysu na TK 6511 CNC s brousicími operacemi. Za předpokladu použití polotovaru odlitku bude optimalizována technologie z hlediska méně obráběných ploch obrobku. Oproti konstrukčnímu řešení byla zvolena technologická základna na horní straně obrobku, která bude sloužit pro upínání obrobku při frézování a následném broušení upínacích ploch součásti. Pro technologickou základnu byl zpřesněn rozměr na 75h7, který určuje vzdálenost technologické základny do osy středového otvoru. Pro obrábění byly navrženy nástroje od firmy Sandvik Coromant s reznými podmínkami doporučenými výrobcem.

### 2.1.1 Popis horizontálního frézovacího a vyvrtávacího stroje TK 6511 CNC

CNC horizontální frézovací a vyvrtávací stroj TK 6511 CNC od firmy Fermat CZ s.r.o. (obr.2.4) je moderní modulárně řešený stroj dimenzovaný pro výkonné produktivní obrábění. Může být osazen řídicími systémy Heidenhain iTNC 530 nebo SINUMERIK 840D. Horizontální vyvrtávačka umožňuje automatické souvislé řízení v pěti osách - X, Y, Z, W (výsun vřetena) a B (otáčení stolu). ŘS umožňuje realizovat kruhovou a lineární interpolaci. Díky tomu lze obrábět obecné třírozměrné plochy. Stroje jsou zejména využívány pro obrábění skříňových obrobků s více otvory a tvarovými plochami s požadavky na vysokou přesnost. Vysoká tuhost stroje s konstrukčním řešením „T“ zajišťuje dosažení vysoké přesnosti polohování i při vysokém zatížení. Osy X, Y, Z a W jsou přímo spojeny s kuličkovým šroubem a osa B je řešena pomocí dvou předepjatých pastorků. Ve spojení se servomotorem je zajištěno bezvúlové spojení. Stroje jsou standardně dodávány s řídicím systémem, s chlazením nástrojů s vnitřním přívodem procesní kapaliny a dopravníkem třísek. Na přání zákazníka lze pořídit doplňkovou výbavu např.: dotykové sondy nástrojové nebo obrobkové, vertikální, kolmou nebo univerzální frézovací hlavu, automatický výměník nástrojů na 40 nástrojů nebo dálkovou diagnostiku <sup>14</sup>.

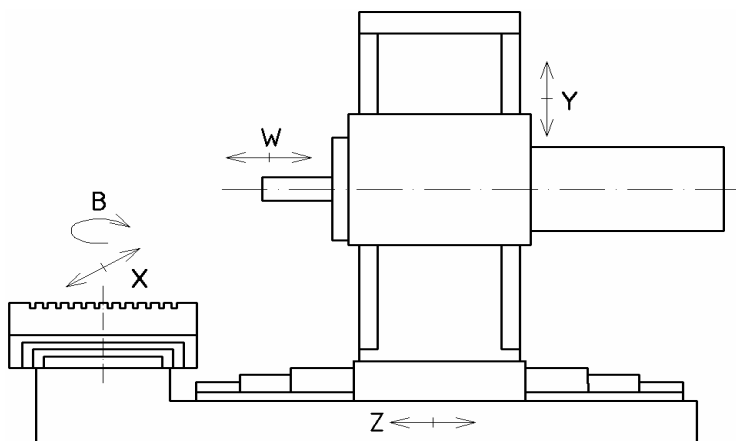


Obr.2.4 CNC horizontální frézovací a vyvrtávací stroj TK 6511 CNC <sup>14</sup>

### 2.1.2 Technické parametry stroje TK 6511 CNC

Tab. 2.5 Technické parametry <sup>14</sup>

<b>Technické parametry TK 6511 CNC</b>	
<b>Vřeteno</b>	
Průměr pracovního vřetena	Φ110 mm
Rozsah otáček vřetena	10 - 3 000 ot·min <sup>-1</sup>
Kuželová dutina	ISO 7,24 No 50
Upínací trn	LD50D
<b>Pracovní rozsah</b>	
Pojezd osy X	2 500 mm
Pojezd osy Y	1 500 mm
Pojezd osy Z	1 200 mm
Výsuv vřetena W	550 mm
Natočení stolu B	360 °
Rozměry pracovního stolu	1 250x1 400 mm
Max. zatížení stolu	5 000 kg
<b>Rychlost rychloposuvu</b>	
Osy X ,Y, Z	9 000 m·min <sup>-1</sup>
Osa W	2 400 m·min <sup>-1</sup>
Osa B	2,5 ot·min <sup>-1</sup>
<b>Rozměry a hmotnosti</b>	
Celkové rozměry (dxšxv)	5 555x4 775x4 075 mm
Hmotnost stroje	23 000 kg
Výkon hlavního motoru	17/22.5 kW
Celkový instalovaný příkon	50 kVA



Obr.2.6 Kinematické schéma stroje TK 6511 CNC

### 2.1.3 Návrh nástrojového vybavení

Pro výrobu součásti byly navrženy nástroje od firmy Sandvik Coromant. Nástroje byly navrženy pro frézování a pro soustružení obrobku. Pro frézování byly navrženy nástroje pro vrtací, závitovací a frézovací operace. Pro vrtací operace byli navrženy vrtáky pro vyvrtání děr pod závity, vrtáky pro díry pro šrouby, vrták pro vyhrubování středové průchozí díry a NC navrtávák s úhlem špičky 90° pro sražení hrany pod závity. NC navrtávák není výrobkem firmy Sandvik Coromant, nýbrž firmy Dormer. Pro výrobu závitů jsou navrženy závitové frézy. Pro frézovací operace byly navrženy frézovací hlavy s úhly nastavení  $\kappa_r = 45^\circ$  a  $90^\circ$ , vrtací fréza pro frézování zahloubení, vysokoposuvová fréza pro frézování středové díry, korunková fréza pro frézování drážky a frézy pro sražení  $45^\circ$  a  $30^\circ$ . Posledním nástrojem je dokončovací vyvrtávací tyč, určená pro dokončení vnitřních průměrů a pro zpětné vyvrtávání. Soustružnické nástroje jsou navrženy pro vnější a vnitřní soustružení. Pro vnější soustružení je navržen vnější soustružnický nůž pravý pro hrubování a dokončení čela obrobku. Pro vnitřní obrábění je navržen vnitřní soustružnický nůž pravý pro hrubování a dokončení vnitřních průměrů a zapichovací nůž pro obrobení drážky. Nástroje jsou navrženy ve variantách pro obrábění oceli (tab.2.8) nebo litiny (tab.2.9) s doporučenými hodnotami posuvů a řezných rychlostí dle výrobce. Řezné podmínky jsou uvedeny výrobcem pro trvanlivost  $T = 15$  min. Nástroje jsou v prostředí ShopMillu řídicího systému Sinutrain zapsány do tabulky nástrojů (obr.2.7). Podrobnější informace o nástrojích jsou uvedeny v příloze č.6 Nástrojové vybavení a řezné podmínky.

Mís	Typ	Název nástr.	DP	1. břit			N	♣					
				Délka	∅	α		1	2	3			
1	♣	3D_SONDA	1	132.560	5.000			☒					
2	♣	NAVRTÁVÁK	1	156.832	12.000	90.0		☒	X				
3	♣	VRTÁK 6.6	1	121.510	6.600	118.0		☒	X				
4	♣	VRTÁK 9	1	117.834	9.000	118.0		☒	X				
5	♣	VRTÁK 16	1	115.832	16.000	118.0		☒	X				
6	♣	VRTÁK 21	1	112.358	21.000	118.0		☒	X				
7	♣	VRTÁK 70	1	67.340	70.000	180.0		☒	X				
8	♣	ZAVITOVÁ FREZA M8	1	176.230	6.000	1.250		☒	X				
9	♣	ZAVIT FRAZA M10x1	1	163.425	8.000	1.000		☒	X				
10	♣	KORUNKOVÁ FREZA	1	2.500	27.700		6	☒	X				
11	♣	FREZA 45 STUPNU	1	4.000	32.500		3	☒	X				
12	♣	FREZA 60 STUPNU	1	4.000	36.500		3	☒	X				
13	♣	FREZA 42	1	124.623	42.000		3	☒	X				
14	♣	VRTACÍ FREZA 25	1	128.640	25.000		2	☒	X				
15	♣	FREZ HLAVA 45 100	1	65.000	80.000		5	☒	X				
16	♣	FREZ HLAVA 90 80	1	76.234	80.000		7	☒	X				
17	♣	VYVRT. TYČ	1	345.321	91.000		1	☒	X				

Obr.2.7 Tabulka nástrojů pro frézování součásti v prostředí ShopMill

Tab.2.8 Nástroje pro frézování a soustružení součásti z oceli

Číslo	Držák	VBD	$a_{p \max}$ [mm]	$f_z / f_{ot}$		$f_{min}$ [mm/min]	$V_c$ [m/min]
				[mm/z]	[mm/ot]		
1	A12212.0X90			0,20			90
2	R840-0660-50-A0A 1220			0,25 (0,15-0,34)		1180	98 (80-140)
3	R840-0900-50-A0A 1220			0,25 (0,15-0,34)		867	98 (80-140)
4	R840-1600-50-A0A 1220			0,34 (0,22-0,45)		663	98 (80-140)
5	R411.5-21034D21.00 P20			0,25 (0,20-0,30)		280	74 (70-95)
6	R416.9-0700-25-01	WCMX 06 T3 08 R-53 1020		0,13 (0,11-0,18)		95	160 (130-190)
7	R216.2-025	R216.2-07 T3 S6	15	0,12 (0,08-0,15)		610	200 (200-205)
		R216.2-15 T3 08-1SM30		0,17 (0,10-0,20)		870	200 (200-205)
8	R210-042A32-09M	R210-09 04 12M-PM 4230	1,2 ax 8 rad	0,10 (0,08-0,15)		1590	350
				1,50 (0,40-2,00)		5970	350
9	327R12-28 25002-GMM 1025		6,5	0,04 (0,01-0,07)		690	250 (250-255)
10	R215.64-32A32-4512	SPMT 12 04 08-WH 4040	7,9	0,35 (0,10-0,42)		2400	230 (225-245)
11	R215.64-36A32-6012	SPMT 12 04 08-WH 4040	9,6	0,35 (0,10-0,42)		2130	230 (225-245)
12	C8-R825C-FAG377A	TPMT 11 03 04-PF 4215	1,5	0,10 (0,05-0,20)		200	555 (475-585)
13	R217.14C060125AK17N		17,5	0,024		490	130
14	R217.14C080100AC16N		16	0,029		460	124
15	R390-080 C6-11M080	R390-11 T3 10M-PH 1030	10	0,12 (0,08-0,20)		900	270 (260-275)
16	R245-100Q32-12L	R245-12 T3 M-PM 4230	6	0,21 (0,10-0,28)		880	250 (225-275)
17	RAG 123E05-20B	N123G2-0300-0002-GF 525		0,08 (0,04-0,17)			155 (130-205)
18	DWLN R 3232P 08	WNMG 08 04 08-PR 2025	5	0,35 (0,20-0,55)			155 (125-190)
19	DWLN R 3232P 08	WNMG 08 04 04-PF 1515	1,5	0,20 (0,10-0,30)			200 (125-295)
20	S32U-PWLN R 08	WNMG 08 04 08-PR 2025	5	0,35 (0,20-0,55)			155 (125-190)
21	S32U-PWLN R 08	WNMG 08 04 04-PF 1515	1,5	0,20 (0,10-0,30)			200 (125-295)

Tab.2.9 Nástroje pro frézování a soustružení součásti z litiny

Číslo	Držák	VBD	$a_{p,max}$ [mm]	$f_z / f_{ot}$		$f_{min}$ [mm/min]	$V_c$ [m/min]
				[mm/z]	[mm/ot]		
1	A12212.0X90			0,20			90
2	R840-0660-50-A0A 1220			0,33 (0,25-0,40)		1385	87 (80-110)
3	R840-0900-50-A0A 1220			0,33 (0,25-0,40)		1000	87 (80-110)
4	R840-1600-50-A0A 1220			0,50 (0,40-0,60)		865	87 (80-110)
5	R411.5-21034D21.00 P20			0,32 (0,23-0,41)		378	78 (65-106)
6	R416.9-0700-25-01	WCMX 06 T3 08 R-53 1020		0,16 (0,14-0,20)		90	120 (90-150)
7	R216.2-025	R216.2-07 T3 HM	15				
		R216.2-15 T3 08-1 HM		0,17 (0,10-0,20)		580	135 (135-140)
8	R210-042A32-09M	R210-09 04 12M-KM 1020	1,2 ax	0,20 (0-0,40)		1550	255 (250-265)
			8 rad				
9	327-16B24SC-12	327R12-28 25002-GMM 1025	6,5	0,04 (0,01-0,07)		750	265 (260-270)
10	R215.64-32A32-4512	SPMT 12 04 08-WH 4040	7,9	0,35 (0,10-0,42)		1200	175 (175-190)
11	R215.64-36A32-6012	SPMT 12 04 08-WH 4040	9,6	0,35 (0,10-0,42)		1200	175 (175-190)
12	C8-R825C-FAG377A	TPMT 11 03 04-KF 3215	1,5	0,10 (0,05-0,20)		80	235 (215-245)
13	R217.14C060125AK17N		17,5				
14	R217.14C080100AC16N		16				
15	R390-080 C6-11M080	R390-11 T3 10M-KH 1020	10	0,12 (0,08-0,20)		780	235 (200-255)
16	R245-100Q32-12L	R245-12 T3 M-KM 3040	6	0,24 (0,10-0,28)		670	175 (165-200)
17	RAG 123E05-20B	N123G2-0300-0002-GF 525		0,08 (0,04-0,17)			80 (75-85)
18	DWLN R 3232P 08	WNMG 08 04 08-KR 3215	5,5	0,34 (0,17-0,47)			185 (165-220)
19	DWLN R 3232P 08	WNMG 08 04 04-KF 3215	2	0,20 (0,10-0,30)			215 (190-235)
20	S32U-PWLN R 08	WNMG 08 04 08-KR 3215	5,5	0,34 (0,17-0,47)			185 (165-220)
21	DWLN R 3232P 08	WNMG 08 04 04-KF 3215	2	0,20 (0,10-0,30)			215 (190-235)

Nástroje pro frézování a soustružení litiny

## 2.2 Technologický postup

Pro vyráběnou součást uložení pohonu Domek kuličkového šroubu v ose X v koncové poloze, byly vyhotoveny technologické postupy pro výrobu všemi čtyřmi variantami.

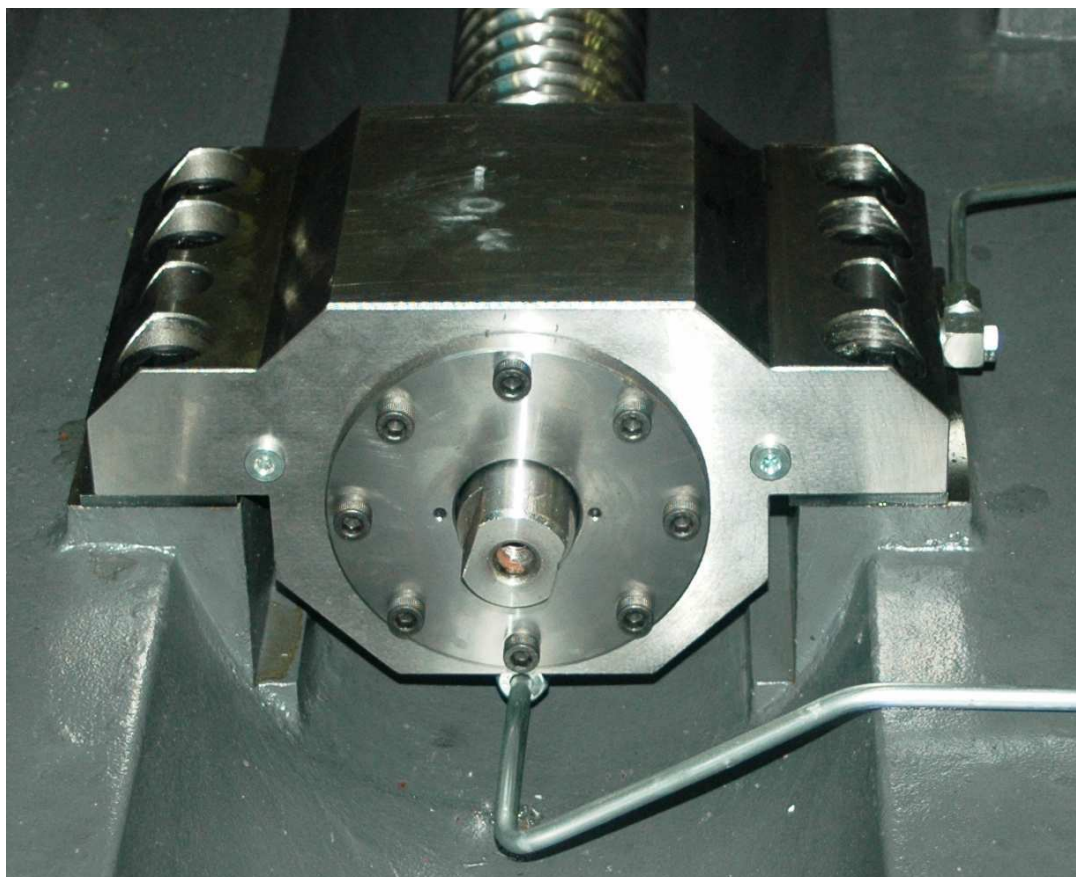
Varianta 1 - frézování polotovaru přířez z plechu z oceli C45 na horizontálním vyvrtávacím stroji TK 6511 CNC

Varianta 2 - soustružení a frézování polotovaru přířez z plechu z oceli C45 na univerzálním soustruhu SF 55/1500 CNC a na horizontálním vyvrtávacím stroji TK 6511 CNC

Varianta 3 - frézování polotovaru odlitek z litiny EN-GJS-500-7 na horizontálním vyvrtávacím stroji TK 6511 CNC

Varianta 4 - soustružení a frézování polotovaru odlitek z litiny EN-GJS-500-7 na univerzálním soustruhu SF 55/1500 CNC a na horizontálním vyvrtávacím stroji TK 6511 CNC

Pro všechny navržené varianty technologických postupů bylo navrženo ustavení a upnutí součásti, byly navrženy nástroje pro obrábění na jednotlivých strojích a byly navrženy měřidla pro kontrolu. Všechny čtyři varianty byly přiloženy do příloh této práce a jsou uvedeny v seznamu příloh.








Obr.2.10 Sestavené uložení kuličkového šroubu na stroji WFT 13 CNC

## 2.3 Návrh technologie výroby

Pro výrobu součásti Domek KŠ - koncová osa X byly navrženy čtyři technologie výroby. První dvě technologie jsou zaměřené na výrobu frézováním resp. soustružením a frézováním polotovaru přířezu z 4-hranné tyče nebo výpalku z plechu z oceli C45. Další dvě technologie jsou navrženy pro frézování resp. soustružení a frézování polotovaru odlitku z tvárné litiny EN-GJS-500-7. Řídicí programy jsou uloženy v příloze na přiloženém CD a jejich grafické znázornění je uvedeno v příloze č.1.

### 2.3.1 Návrh technologie výroby varianty č.1

Návrh technologie výroby frézováním polotovaru z přířezu nebo výpalku z plechu je realizována pro stroj TK 6511 CNC s kooperacemi na bruskách. Polotovar kostky z plechu z oceli C45 o rozměrech 180x180x300 mm je uříznut dodavatelem. Výroba součásti je dle technologického postupu rozdělena do 15 operací. V první operaci je kostka polotovaru upnuta na stůl stroje na kostky upínkami, upínací plochou součásti ke stolu a plochou s vrtaným otvorem k

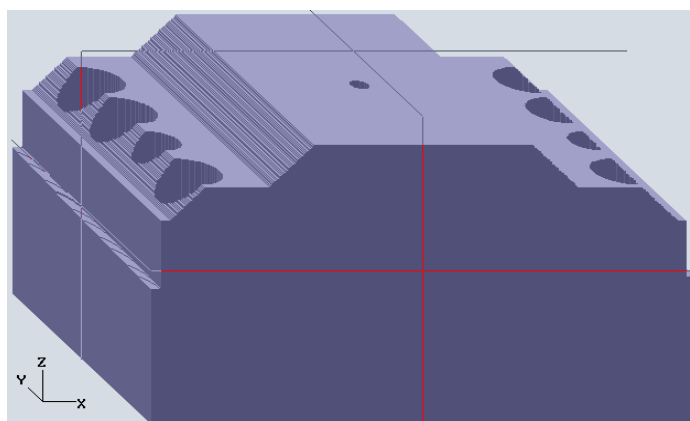
P	N5 1_OPERACE	Pos.nu1.b 1 G54	
	N10 Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m X0=0	
	N25 Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 45 100 F0.1/zub V270m X0=0	
	N15 Vrtání	T=VRTÁK 70 F0.13/ot. V160m Z1=-182	
	N20 001: Polohy	Z0=-9 X0=150 Y0=90	
END	Konec programu	N=1	

Obr.2.11 Operace č.2

vřetenu. Vyrovnána dle upínací drážky stolu. V druhé operaci je frézováno čelo na délku 170 mm a vrtána díra do plného materiálu vrtákem s VBD (obr.2.11). Ve třetí operaci je obrobek upnut na stůl na kostky na obrobené čelo upínkami, plochou s technologickou základnou směrem k vřetenu a vyrovnán dle drážky stolu. Ve čtvrté operaci je realizováno frézování horní strany a bočních stran obrobku, včetně vrtacích operací (obr.2.12). Frézovací hlavou s úhlem nastavení hlavního ostří 45° je frézována technologická základna a p řilehlé sražení 25x45°. Sražení 20x45° na stranách obrobku jsou touto hlavou frézovány později z důvodu zanechání dostatečného materiálu pro vrtání děr pro šrouby. NC navrtávák a vrták Ø16 mm, resp. Ø21 mm budou mít v materiálu dostatečné vedení a nebudou mít snahu vychýlit se z osy vrtání. Po odebrání materiálu následují vrtací operace. Navrtání otvorů pro všechny vrtáky se sražením hran pod závit. Vyvrtání díry pod závit a vyfrézování závitů M10x1 pro mazací otvor. Vyvrtání děr pro šrouby Ø16 mm, resp. Ø21 mm a jejich zahloubení vrtací frézou. Po dokončení vrtacích operací je realizováno sražení hrany 20x45° na stranách obrobku. Poslední operací je frézování boků frézovací hlavou s úhlem nastavení hlavního ostří 90° na rozměr 290 mm.

P	N5	2_OPERACE	Pos.nu1.b 2	G55
	N10	Rovinné fréz.	▽	T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m X0=0
	N15	SRAZENI1:		
	N20	Rovinné fréz.	▽	T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m X0=0
	N25	Rovinné fréz.	▽	T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m X0=0
	N30	Rovinné fréz.	▽	T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m X0=0
	N35	Rovinné fréz.	▽	T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m X0=0
	N40	Rovinné fréz.	▽	T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m X0=0
	N45	SRAZENI10:		
	N50	Posunutí	add	X300 Y170
	N55	Otočení	add	Z180
	N60	Opakování		SRAZENI1 SRAZENI10
	N65	Otočení		X0 Y0 Z0
	N70	Posunutí		X0 Y0

Obr.2.12 Ukázka části programu operace č.4



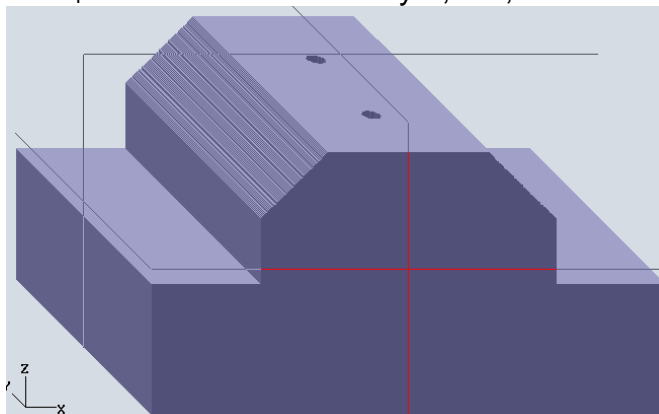
Obr.2.13 Grafická simulace obrábění operace č.4

V páté operaci je obrobek otočen o 180° kolem osy Y, upínací stranou součásti k vřetenu, upnut upínkami a vyrovnán. V šesté operaci je frézována upínací strana na konečný rozměr 150 mm (obr.2.14). Frézovací hlavou  $\kappa_r = 45^\circ$  je frézována spodní plocha a vytvořeno sražení 40x45°. Frézovací hlavou  $\kappa_r = 90^\circ$  jsou frézovány upínací plochy součásti s přídkem pro broušení 0,3 mm. Po frézování je realizováno navrtání, vyvrtání děr pod závit a vyfrézování závitů M10x1 pro odvod mazacího média. V sedmé operaci jsou na ručním středisku z obrobku odstraněny ostřiny. V osmé operaci je obrobek broušen na rovinné brusce na plocho. Obrobek je upnut technologickou základnou na magnetickou desku a vyrovnán. Broušeny jsou upínací plochy součásti na rozměr 75h7. V deváté operaci je součást upínána opět na horizontální vyvrtávačku TK 6511 CNC. Obrobek je upnut na kostky na obroušené upínací plochy upínkami, stranou s odlehčovacím sražením 15x45° směrem k vřetenu a vyrovnán. V desáté operaci je obrobek frézován frézovací hlavou  $\kappa_r = 45^\circ$ . Frézováno je čelo obrobku na rozměr 160 mm a vyfrézováno je sražení 15x45° (obr.2.16). Po frézování jsou navrtány a vyvrtány díry pod závity a vyfrézovány závity M10x1

P	N5	3_OPERACE	Pos.nu1.b 3 G56
	N10	Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m
	N15	SRAZENI1:	
	N20	Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m
	N25	Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m
	N30	Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m
	N35	Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m
	N40	Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m
	N45	Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m
	N50	Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m
	N55	Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m
	N60	SRAZENI10:	
	N65	Posunutí	add X290 Y170
	N70	Otočení	add Z180
	N75	Opakování	SRAZENI1 SRAZENI10
	N80	Posunutí	X0 Y0 Z0
	N85	Otočení	Z0
	N90	Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 90 80 F0.12/zub V270m
	N95	Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 90 80 F0.12/zub V270m
	N100	Navrtávání	T=NAVRTÁVÁK F0.2/ot. V90m Z1=5.5ink
	N105	Hl.vrtání	T=VRTÁK 9 F0.25/ot. S3000N Z1=40ink
	N110	Vnitř.závit	▽▽ T=ZAVIT FRAZA M10x1 F360/min S3000N
	N115	Ø02: Otvory v řadě	Z0=-15 X0=145 Y0=46 N2 α0=90
	END	Konec programu	N=1

Obr.2.14 Operace č.6

pro mazací otvory. V této operaci je obráběna středová díra v součásti. Otvor je frézován vysokoposuvovou frézou pomocí šroubovicové interpolace s vysokým posuvem. Hrubován je Ø90H8 s přídatkem na vyvrtávání a Ø79 je obroben na čisto. Posledními operacemi jsou frézování sražení 1 a 2x45°stopkovou frézou pro srážení hran s  $\kappa_r = 45^\circ$  a frézování drážky 3,5+0,2 mm korunkovou frézou.



Obr.2.15 Grafická simulace obrábění operace č.6

P	N5	4_OPERACE	Pos.nu1.b 4 G57
	N10	Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m X0=0
	N15	Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 45 100 F0.1/zub V270m X0=0
	N20	Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m
	N25	Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m
	N30	Rovinné fréz.	▽ T=FREZ HLAVA 45 100 F0.2/zub V250m
	N35	Navrtávání	T=NAVRTÁVÁK F0.2/ot. V90m Z1=5.5ink
	N40	001: Polohy	Z0=-25 X0=145 Y0=135 X1=145 Y1=15
	N45	Hl.vrtání	T=VRTÁK 9 F0.25/ot. S3000N Z1=100ink
	N50	003: Polohy	Z0=-25 X0=145 Y0=135
	N55	Hl.vrtání	T=VRTÁK 9 F0.25/ot. S3000N Z1=80ink
	N60	002: Polohy	Z0=-25 X0=145 Y0=15
	N65	Vnitř.závit	▽▽ T=ZAVIT FRAZA M10x1 F360/min S3000N
	N70	004: Polohy	Z0=-25 X0=145 Y0=135 X1=145 Y1=15
T	N75	T=FREZA 42 V350m DR0	
→	N80	RYCHL X121.5 Y75 Z12	
	N85	F6000/min ? I23.5ink J75 P0.3 Z-44	
→	N90	RYCHL X126.5 Y75 Z-40	
	N95	F6000/min ? I18.5ink J75 P0.15 Z-80	


Obr.2.16 Ukázka části programu operace č.10

V jedenácté operaci je upnutí totožné s předchozí operací, ale stůl je polohován o 180°v ose B. V této operaci je opět vysokoposuvovou frézou hrubován otvor šroubovicovou interpolací. Hrubován je Ø91 mm a Ø90G5 s přídatkem pro vyvrtávací tyč. Sražení hran 45°resp. 30°je realizováno pomocí stopkových fréz pro sražení hran s  $\kappa_r = 45^\circ$  resp.  $60^\circ$ . Posledními operacemi zbylými pro dokončení vnějšího tvaru součásti je zhotovení závitů M8 na roztečné kružnici. Pro výrobu závitů je realizována strategie navrtání se sražením hran pod závity, vyvrtání děr a vyfrézování závitů M8. Tyto operace jsou v řídicím programu zřetězeny s pozicováním na roztečné kružnici (obr.2.17).

	N95	Navrtávání	T=NAVRTÁVÁK F0.2/ot. V90m Z1=5.5ink
	N100	Hl.vrtání	T=VRTÁK 6.6 F0.25/ot. S3000N Z1=30ink
	N105	Vnitř.závit	▽▽ T=ZAVITOVA FREZA M8 F240/min S3000N
	N110	002: Otv.na pln.kru	Z0=0 X0=145 Y0=75 R55 N8


Obr.2.17 Ukázka části programu operace č.11 - strategie výroby závitů M8

V dvanácté operaci zůstává obrobek stejně upnutý a napolohovaný jako v předchozí operaci. V této operaci je součást obráběna pomocí vyvrtávací tyče. Dokončen je otvor Ø91 mm do délky 65,5 mm a hrubován Ø90G5 s přídatkem na brus (obr.2.18).

<b>P</b>	<b>N5 6_OPERACE</b>	<b>Pos.nu1.b 6 G506</b>	
	N10 Vystružování	T=VYVRT. TYC F0.1/ot. V480m Z1=65.5ink	
	N15 001: Polohy	Z0=0 X0=145 Y0=0	
END	Konec programu	N=1	

Obr.2.18 Operace č.12

V dvanácté operaci je realizováno i dokončení Ø90H8 zpětným vyvrtáváním. Vzhledem k absenci cyklu pro zpětné vyvrtávání v modulu ShopMill Open 06.04 byl řídicí program vytvořen kombinací dílenského programování s pomocí použití G-kódu (obr.2.19). Pro zpětné vyvrtávání je zavolána vyvrtávací tyč s definovanou řeznou rychlostí. Následně je zastaveno vřeteno a napolohováno v ose C na nulu. V tomto případě je důležité, aby byl nástroj vhodně upnut, aby nedošlo ke kolizi při průjezdu otvorem. Pro kontrolu byl zadán volitelný programový stop, kdy může obsluha zkontrolovat natočení vřetene, popř. upravit polohu vřetene. Nástroj je polohován do otvoru a následně je realizováno zpětné vyvrtávání. Pro posun nástroje zpět z díry je vřeteno opět zastaveno a napolohováno s kontrolou obsluhy stroje.

<b>P</b>	<b>N5 7_OPERACE</b>	<b>Pos.nu1.b 5 G505</b>	
T	N10 T=VYVRT. TYC V480m		
G	N15 M5		
G	N20 SPOS=0		
G	N25 M1		
G	N30 G0 X0 Y150 Z20		
→	N35 RYCHL ☒ Z-148		
→	N40 RYCHL ☒ X145		
G	N45 M13		
→	N50 F0.05/zub ☒ Z-126		
→	N55 F0.05/zub ☒ Z-23ink		
G	N60 M5		
G	N65 SPOS=0		
G	N70 M1		
G	N75 G0 X150		
→	N80 RYCHL ☒ Z20		
END	Konec programu	N=1	

Obr.2.19 Operace č.12

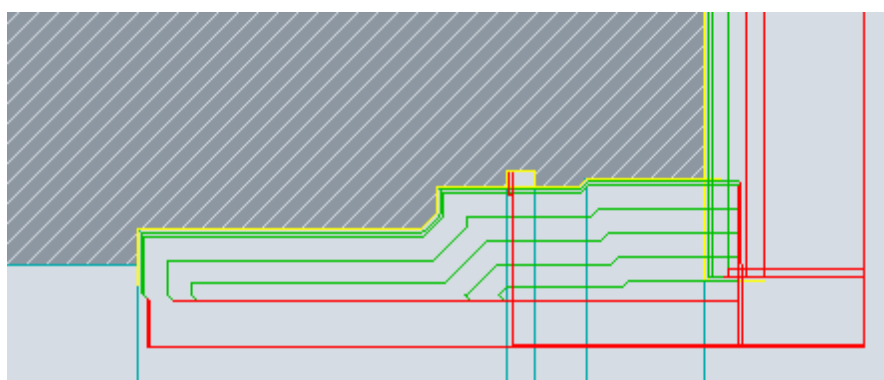
Poslední obráběcí operací je kooperace na brusce na otvory, kde je broušen Ø90G5. Po broušení je obrobek odeslán na ruční středisko kde jsou z něj odstraněny ostříny. Poslední operací je kontrola rozměrů, jakosti obrobených ploch a tolerancí tvaru a polohy dle výkresu na měrovém středisku.

### 2.3.2 Návrh technologie výroby varianty č.4

Návrh technologie výroby soustružením a frézováním polotovaru odlitku je realizována pro univerzální soustruh SF 55/1500 CNC a pro horizontální vyvrtávací stroj TK 6511 CNC s kooperacemi na bruskách. Polotovar odlitku z tvárné litiny EN-GJS-500-7 dle výkresu polotovaru odlitku je vyroben dodavatelem. Výroba součásti je dle technologického postupu rozdělena do 18 operací. V prvních šesti operacích je součást obráběna na soustruhu a zbylé operace jsou realizovány pro horizontální vyvrtávačku. Programy pro soustružení byly vytvořeny v modulu ShopTurn Open V 06.04. V první operaci je odlitek upnut do upravených čelistí do tříčelistového sklíčidla za přelitou díru. Ve druhé a třetí operaci je soustruženo čelo na délku 165 mm a hrubována předlitá díra na rozměr  $\text{Ø}78-0,2$  mm a  $\text{Ø}89-0,2$  mm. Následně je díra obráběna načisto. Soustruženy jsou sražení hran,  $\text{Ø}90\text{H}8$  je soustružen načisto do délky 34 mm a  $\text{Ø}79$  mm je soustružen na čisto do délky 72 mm. Posledním technologickým blokem programu je soustružení zápichu  $3,5+0,2$  mm  $\text{Ø}93,5\text{H}12$  (obr.2.20). Vzhledem k soustružení nerotačního polotovaru byly omezeny otáčky vřetene na hranici  $400 \text{ ot.} \cdot \text{min}^{-1}$ . Ve čtvrté operaci je polotovar přepnut do upravených čelistí do tříčelistového sklíčidla za obrobenou díru v předchozí operaci.

P	N5	DOMEK_X_ODLITEK	Pos.nu1.b 3 G56	
	N10	Odběr třísek	▽	T=DWLN R 3232P 08 F0.34/ot. V185m
	N15	Odběr třísek	▽▽	T=DWLN R 3232P 08 F0.2/ot. V215m čelně
	N20	DIRA_SE_ZAPICHEM		
	N25	Odběr třísek	▽	T=S32U-PWLN R 08 F0.34/ot. V185m
	N30	Zbyt.odběr tř.	▽▽	T=S32U-PWLN R 08 F0.2/ot. V215m
	N35	Zápich	▽	T=RAG 123E05-20B F0.08/ot. V80m X0=90
END		Konec programu	N=1	

Obr.2.20 Operace č.2 a 3



Obr.2.21 Detail grafické simulace obrábění operace č.2

V páté a šesté operaci je hrubováno a soustruženo načisto čelo obrobku na rozměr 160 mm. Následně jsou hrubovány otvory  $\text{Ø}90-0,2$  mm a  $\text{Ø}89-0,2$  mm se sražením  $30^\circ$ . Po hrubování je díra dokončena na předepsané rozměry s přídatkem na broušení pro  $\text{Ø}90\text{G}5$  (obr.2.22).

<b>P</b>	<b>N5</b>	<b>DOMEK_X_ODLITEK_2_STRANA</b>	<b>Pos.nu1.b 4 G57</b>	
	N10	Odběr třísek	▽	T=DWLN R 3232P 08 F0.34/ot. V185m
	N15	Odběr třísek	▽▽	T=DWLN R 3232P 08 F0.2/ot. V215m čelně
	N20	DIRA_DRUHA_STRANA		
	N25	Odběr třísek	▽	T=S32U-PWLN R 08 F0.34/ot. V185m
	N30	Zbyt.odběr tř.	▽▽	T=S32U-PWLN R 08 F0.2/ot. V215m
END		Konec programu		N=1

Obr.2.22 Operace č.5 a 6

V sedmé operaci je obrobek přemístěn na horizontální vyvrtávací stroj TK 6511 CNC. Polotovár je upnut na stůl na broušené kostky upínkami obrobeným čelem stranou bez zápichu ke stolu, stranou se zahluobením pod šrouby k vřetenu a vyrovnán. Pro určení nulového bodu je v sedmé operaci lehce přefrézována technologická základna a boční strana v ručním režimu. Dle změřeného rozměru otvoru  $\varnothing 90H8$  a naměřené vzdálenosti přefrézovaných ploch k obvodu díry lze stanovit nulový bod. Pro větší série by bylo vhodné použít pro ustavení polotovaru po soustružnických operacích přípravku ustavovacího trnu. V osmé operaci je frézována technologická základna a plošky pod díry pro šrouby frézovací hlavou  $\kappa_r = 45^\circ$ . Po frézovacích operacích následuje navrtání děr pro mazací otvor a pro díry pro šrouby, vyvrtání díry pro mazání a vyfrézování závitu M10x1. Následně jsou vyvrtány díry pro šrouby  $\varnothing 16$  mm, resp.  $\varnothing 21$  mm a jejich zahluobením vrtací frézou. Po dokončení vrtacích operací je realizováno frézování boků frézovací hlavou  $\kappa_r = 90^\circ$  na rozměr 290 mm (obr.2.23). V deváté operaci je obrobek upnut na stůl na broušené kostky upínkami obrobeným čelem stranou bez zápichu ke stolu, neobrobenou upínací stranou k vřetenu a vyrovnán.

	N25	Navrtávání		T=NAVRTÁVÁK F0.2/ot. V90m Z1=5.5ink
	N30	005: Otvory v řadě		Z0=-25 X0=265 Y0=20 N4 $\alpha 0=90$
	N35	001: Otvory v řadě		Z0=0 X0=145 Y0=78 N1 $\alpha 0=90$
	N40	003: Otvory v řadě		Z0=-25 X0=25 Y0=20 N4 $\alpha 0=90$
	N45	H1.vrtání		T=VRTÁK 9 F0.33/ot. S3000N Z1=40ink
	N50	Vnitř.závit	▽▽	T=ZAVIT FRAZA M10x1 F360/min S3000N
	N55	006: Polohy		Z0=0 X0=145 Y0=78
	N60	H1.vrtání		T=VRTÁK 16 F0.5/ot. V87m Z1=55ink
	N65	014: Polohy		Z0=-25 X0=25 Y0=60 X1=265 Y1=60
	N70	H1.vrtání		T=VRTÁK 21 F0.32/ot. V78m Z1=55ink
	N75	011: Polohy		Z0=-25 X0=25 Y0=140 X1=25 Y1=100 X2=25
	N80	Vrtání		T=VRTACI FRAZA 25 F400/min V100m
	N85	012: Polohy		Z0=-25 X0=25 Y0=60 X1=265 Y1=60
	N90	Kruh.kapsa	▽	T=VRTACI FREZA 25 F580/min V100m
	N95	013: Polohy		Z0=-25 X0=25 Y0=140 X1=25 Y1=100 X2=25

Obr.2.23 Ukázka části programu operace č.8

V desáté operaci je frézovací hlavou  $\kappa_r = 45^\circ$  frézována plocha pod díry pro mazání. Frézovací hlavou  $\kappa_r = 90^\circ$  jsou frézovány upínací plochy součásti s přídatkem na brus 0,3 mm (obr.2.24). Vzhledem k obrábění přídatků pro obrábění, technologických úkosů a rádiusů je frézována pouze malá oblast materiálu, oproti polotovaru z plechu. V ShopMillu je tato oblast definována řeznou oblastí kvádrů, ve které je aplikováno obrábění, v ostatních oblastech je možné optimalizovat dráhy rychloposuvů. Po frézovacích operacích jsou navrtány díry se sražením hran pod závit, následně vyvrtány a vyfrézovány závity M10x1 pro odvod mazacího média.

P	N5	2_OPERACE	Pos.nu1.b 3	G56
	N10	Rovinné fréz.	▽	T=FREZ HLAVA 45 100 F0.24/zub V175m
	N15	Rovinné fréz.	▽	T=FREZ HLAVA 90 80 F0.12/zub V235m
	N20	Rovinné fréz.	▽	T=FREZ HLAVA 90 80 F0.12/zub V235m
	N25	Navrtávání		T=NAVRTÁVÁK F0.2/ot. V90m Z1=5.5ink
	N30	H1.vrtání		T=VRTÁK 9 F0.33/ot. S3000N Z1=40ink
	N35	Vnitř.závit	▽▽▽	T=ZAVIT FRAZA M10x1 F360/min S3000N
	N40	002: Otvory v řadě		Z0=0 X0=145 Y0=46 N2 α0=90
END		Konec programu	N=1	

Obr.2.24 Operace č.10





V jedenácté operaci je obrobek upnut na stůl na kostky na technologickou základnu upínkami, stranou se zápichem k vřetenu a vyrovnán. Ve dvanácté operaci je frézovací hlavou  $\kappa_r = 45^\circ$  frézováno sražení 15x45°. Po vyfrézování sražení jsou navrtány a vyvrtány díry pod závity a vyfrézovány závity M10x1 (obr.2.25).

P	N5	3_OPERACE	Pos.nu1.b 4	G57
	N10	Rovinné fréz.	▽	T=FREZ HLAVA 45 100 F0.24/zub V175m
	N15	Rovinné fréz.	▽	T=FREZ HLAVA 45 100 F0.24/zub V175m
	N20	Rovinné fréz.	▽	T=FREZ HLAVA 45 100 F0.24/zub V175m
	N25	Navrtávání		T=NAVRTÁVÁK F0.2/ot. V90m Z1=5.5ink
	N30	002: Polohy		Z0=-15 X0=145 Y0=135 X1=145 Y1=15
	N35	H1.vrtání		T=VRTÁK 9 F0.33/ot. S3000N Z1=100ink
	N40	003: Polohy		Z0=-15 X0=145 Y0=135
	N45	H1.vrtání		T=VRTÁK 9 F0.33/ot. S3000N Z1=80ink
	N50	004: Polohy		Z0=-15 X0=145 Y0=15
	N55	Vnitř.závit	▽▽▽	T=ZAVIT FRAZA M10x1 F360/min S3000N
	N60	001: Polohy		Z0=-15 X0=145 Y0=135 X1=145 Y1=15
END		Konec programu	N=1	

Obr.2.25 Operace č.12

Ve třinácté operaci zůstává upnutí stejné jako v předešlé operaci, pouze stůl je napolohován o 180° v ose B. V této operaci jsou vyráběny pouze závity M8 na roztečné kružnici. Pro výrobu závitů je realizována strategie navrtání se

sražením hran pod závity, vyvrtání děr a vyfrézování závitů M8. Tyto operace jsou v řídicím programu zřetězeny s pozicováním na roztečné kružnici (obr.2.26).

P	N5 4_OPERACE	Pos.nu1.b 5 G505
	N10 Navrtávání	T=NAVRTÁVÁK F0.2/ot. V90m Z1=5.5ink
	N15 H1.vrtání	T=VRTÁK 6.6 F0.33/ot. S3000N Z1=30ink
	N20 Vnitř.závit	T=ZAVITOVÁ FREZA M8 F240/min S3000N
	N25 Ø02: Otv.na pln.kru	Z0=0 X0=145 Y0=75 R55 N8
END	Konec programu	N=1

Obr.2.26 Operace č.13

Ve čtrnácté operaci je obrobek přesunut na ruční středisko, kde jsou z něj odstraněny ostříny. V patnácté operaci je obrobek broušen na rovinné brusce na plocho. Obrobek je upnut technologickou základnou na magnetickou desku a vyrovnán. Broušeny jsou upínací plochy součásti na rozměr 75h7. Poslední obráběcí operací je kooperace na brusce na otvory, kde je broušen Ø90G5. Po broušení je obrobek odeslán na ruční středisko kde jsou z něj odstraněny ostříny. Poslední operací je kontrola rozměrů, jakosti obrobených ploch a tolerancí tvaru a polohy dle výkresu na měrovém středisku.

## 2.3 Technicko ekonomické zhodnocení

Technicko ekonomické zhodnocení posuzuje náklady na výrobu součásti uložení pohonu Domek KŠ pro osu X v koncové poloze. Tato součást se vyrábí v kusové sérii přibližně 60 kusů za rok. Pro technicko ekonomické hodnocení byla vyhodnocena změna polotovaru z přířezu z plechu z oceli C45 na polotovar odlitek z litiny EN-GJS-500-7. Dále byla posouzena časová náročnost obrábění pro jednotlivé varianty z hlediska nákladů na hodinu práce strojů. Posledním aspektem bylo zhodnocení cenové kalkulace VBD pro obrábění součásti, při trvanlivosti nástroje T=15 min. Cenové kalkulace byly provedeny pro roční sérii 60 kusů. V technicko ekonomickém hodnocení nejsou zohledněny vedlejší časy upínání a odepínání obrobků ani časy manipulace s materiálem. Časová náročnost obrábění byla posouzena na základě generovaných časů z ShopMillu a ShopTurnu.

Pro výrobu polotovaru odlitku bylo osloveno několik sléváren, které se zabývají odléváním tvárné litiny. Slévárnám byl poskytnut výkres polotovaru pro odlitek s definovaným materiálem pro odlitek (viz příloha). Na základě této poptávky byla několika slévárnami poskytnuta cenová nabídka (viz. příloha). Z těchto cenových nabídek byly vybrány 3 slévárny do užšího výběru (tab.2.27).

Tab.2.27 Cenové nabídky odlitků ze sléváren

Č.	Firma	m	Cena	Cena	Cena za 1 ks
		odlitku	odlitku	modelu	při sérii 60 ks
		[kg]	[Kč/kg]	[Kč]	[Kč/1ks]
1	Slévárna Dolní Benešov, s. r. o.	34	49,8	23 000	2 077
2	Slévárna Nové Ransko, s.r.o.	34	41,0	23 000	1 778
3	ZPS-ZS, a.s.	34	48,0	21 000	1 982

Z hodnocených firem byla na základě nejnižší cenové nabídky vybrána Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o. Slévárna specifikovala podmínky výroby: Ruční formování - furanová směs, dřevěné modelové desky pro rám 900x500 mm, 2 x dřevěný model + epoxidový jaderník .

Pro výrobu polotovaru odlitku součásti byla oslovena i Slévárna KUŘIM, a.s., která v zastoupení Ing. Vyskočilové vyjádřila záporné stanovisko k odlití daného polotovaru. Stanovisko bylo vysvětleno malými rozměry kusu pro ruční formovnu a malou sérií výrobků pro strojní formování.

Pro výrobu polotovaru z oceli C45 byla oslovena firma JKZ BUČOVICE, a.s. zabývající se prodejem nástrojových a konstrukčních ocelí. Firma JKZ BUČOVICE, a.s. v zastoupení p. Maryšlera poskytla cenovou nabídku na polotovar přířezu z plechu tl. 180 mm z oceli C45 o rozměrech 180x180x300 mm v cenové relaci 3 159 Kč/1ks. Firma FERMAT CZ s.r.o. odebírá hutní materiál od firmy FLASH STEEL, a.s. Tato firma nabídla polotovar přířezu z plechu tl. 180 mm z oceli C45 o rozměrech 180x180x300 mm v cenové relaci 3 175 Kč/1ks. Vzhledem k zanedbatelně vyšší ceně a dobrým vztahům s dodavatelem byla vybrána firma FLASH STEEL, a.s.

Tab.2.28 Cenové nabídky polotovarů pro sérii 60 ks

Firma	Typ polotovaru	Cena za 1 ks [Kč]	Cena za 60 ks [Kč]
Slévárna Nové Ransko, s.r.o.	odlitek EN-GJS-500-7	1 778	106 680
FLASH STEEL, a.s.	přířez z plechu C45	3 175	190 500

Pro obrábění součásti byly dle grafické simulace software v ShopMillu a ShopTurnu kalkulovány časy obrábění pro jednotlivé obráběcí operace. Časy obrábění jsou zohledněny pouze pro soustruh SF 55/1500 CNC a pro horizontální vyvrtávačku TK 6511 CNC. Pro kooperace na bruskách, ručním a měrovém středisku nejsou kalkulace provedeny. Tyto operace jsou pro všechny 4 varianty totožné. Pro kalkulaci času obrábění byly vyhodnoceny časy na výrobu jedné součásti (tab.2.29, 30), náklady na stroje na výrobu jedné součásti (tab.2.31) a náklady na stroje na výrobu celé dávky (tab.2.32) vzhledem k nákladům na hodinu práce daného stroje. Pozn. pro přehlednost neodpovídají čísla operací v tabulce, číslům operací v technologických postupech.

Tab.2.29 Časy obrábění na TK 6511 CNC na obrobení 1 kusu

Operace	C45		EN-GJS-500-7	
	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
1	06:34	25:21	02:53	11:07
2	26:19	16:54	11:08	03:14
3	17:26	03:47	03:18	04:05
4	17:56	04:19	18:06	04:11
5	12:51		12:46	
6	00:55		01:47	
7	00:09		00:11	
Σ	82:10	50:21	50:09	22:37

Tab.2.30 Časy obrábění na SF 55/1500 CNC na obrobení 1 kusu

Operace	C45		EN-GJS-500-7	
	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
1		26:26		14:34
2		20:12		14:59
Σ		46:38		29:33

Firma FERMAT CZ s.r.o. poskytla informace o nákladech na hodinu práce stroje pro TK 6511 CNC a SF 55/1500 CNC:

Náklady na 1 hodinu práce TK 6511 CNC: 1 500 Kč/h

Náklady na 1 hodinu práce SF 55/1500 CNC: 900 Kč/h

Tab.2.31 Náklady na stroje na obrobení 1 kusu [Kč]

Stroj	C45		EN-GJS-500-7	
	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
TK 6511 CNC	2 054,2	1 258,8	1 253,8	565,4
SF 55/1500 CNC		303,0		224,8
Σ	2 054,2	1 561,8	1 253,8	790,2

Tab.2.32 Náklady na stroje na obrobení 60 kusů [Kč]

Stroj	C45		EN-GJS-500-7	
	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
TK 6511 CNC	123 250	75 525	75 225	33 925
SF 55/1500 CNC		18 180		13 485
Σ	123 250	93 705	75 225	47 410

Pro obrábění domku kuličkového šroubu byly kalkulovány náklady na monolitní nástroje a na VBD použité při obrábění roční série 60 kusů. Časy jednotlivých nástrojů v řezu byly použity z grafických simulací jednotlivých variant navržených technologií. Byly sledovány časy nástrojů v řezu pro obrobení jednoho kusu, pro každou technologii (tab.2.33). Pro trvanlivost nástrojů  $T = 15$  min byl vypočítán počet monolitních nástrojů a počet VBD. Vzhledem k počtu VBD v jedné krabici byl spočítán potřebný počet krabiček VBD (tab.2.34). Vzhledem k nízkým počtům monolitních nástrojů potřebných pro obrobení dávky nebylo ve výpočtu kalkulováno s přeastřením nástrojů. K spočítaným hodnotám krabiček VBD a monolitních nástrojů byly přiřazeny ceny z cenové nabídky nástrojů firmy Sandvik Coromant (tab.2.35). Viz. příloha. Pro minimální cenové rozdíly v nákladech na VBD pro obrábění oceli a litiny byly naceněny pouze VBD pro ocel. S touto nabídkou je kalkulováno i při výpočtech pro obrábění litiny.

Tab.2.33 Časy nástrojů v řezu [min] pro obrobení 60 kusů

Nástroje	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
A12212.0X90	21	21	21	21
R840-0660-50-A0A 1220	56	56	48	48
R840-0900-50-A0A 1220	70	70	55	55
R840-1600-50-A0A 1220	22	22	20	20
R411.5-21034D21.00 P20	150	150	120	120
R416.9-0700-25-01	114	215	0	0
R216.2-025	202	202	200	200
R210-042A32-09M	1073	0	1073	0
327-16B24SC-12	46	0	41	0
R215.64-32A32-4512	16	0	21	0
R215.64-36A32-6012	4	0	7	0
C8-R825C-FAG377A	60	0	114	0
R217.14C060125AK17N	168	168	168	168
R217.14C080100AC16N	45	45	45	45
R390-080 C6-11M080	350	315	167	204
R245-100Q32-12L	1764	1541	430	253
DWLNR 3232P 08 (hr)	0	1656	0	960
DWLNR 3232P 08 (dok)	0	554	0	472
S32U-PWLNR 08 (hr)	0	219	0	188
S32U-PWLNR 08 (dok)	0	80	0	74
RAG 123E05-20B	0	9	0	9

Tab.2.34 Počet [ks] monolitních nástrojů a krabiček VBD pro obrobení 60 kusů

Nástroje	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
A12212.0X90	2	2	2	2
R840-0660-50-A0A 1220	4	4	4	4
R840-0900-50-A0A 1220	5	5	4	4
R840-1600-50-A0A 1220	2	2	2	2
R411.5-21034D21.00 P20	10	10	8	8
R416.9-0700-25-01	1	2	0	0
R216.2-025	2	2	2	2
R210-042A32-09M	8	0	8	0
327-16B24SC-12	1	0	1	0
R215.64-32A32-4512	1	0	1	0
R215.64-36A32-6012	1	0	1	0
C8-R825C-FAG377A	1	0	1	0
R217.14C060125AK17N	12	12	12	12
R217.14C080100AC16N	3	3	3	3
R390-080 C6-11M080	3	3	2	2
R245-100Q32-12L	12	11	3	2
DWLNR 3232P 08 (hr)	0	12	0	7
DWLNR 3232P 08 (dok)	0	4	0	4
S32U-PWLNR 08 (hr)	0	2	0	2
S32U-PWLNR 08 (dok)	0	1	0	1
RAG 123E05-20B	0	1	0	1

Tab.2.35 Náklady [Kč] na monolitní nástroje a krabičky VBD pro obrobení 60 kusů

Nástroje	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
A12212.0X90	6 240	6 240	6 240	6 240
R840-0660-50-A0A 1220	9 740	9 740	9 740	9 740
R840-0900-50-A0A 1220	14 625	14 625	11 700	11 700
R840-1600-50-A0A 1220	15 350	15 350	15 350	15 350
R411.5-21034D21.00 P20	73 450	73 450	58 760	58 760
R416.9-0700-25-01	3 170	6 340	0	0
R216.2-025	12 040	12 040	12 040	12 040
R210-042A32-09M	21 680	0	21 680	0
327-16B24SC-12	16 550	0	16 550	0
R215.64-32A32-4512	2 960	0	2 960	0
R215.64-36A32-6012	2 960	0	2 960	0
C8-R825C-FAG377A	2 150	0	2 150	0
R217.14C060125AK17N	71 520	71 520	71 520	71 520
R217.14C080100AC16N	21 480	21 480	21 480	21 480
R390-080 C6-11M080	9 900	9 900	6 600	6 600
R245-100Q32-12L	36 480	33 440	9 120	6 080
DWLNR 3232P 08 (hr)	0	34 560	0	20 160
DWLNR 3232P 08 (dok)	0	11 520	0	11 520
S32U-PWLNR 08 (hr)	0	5 760	0	5 760
S32U-PWLNR 08 (dok)	0	2 880	0	2 880
RAG 123E05-20B	0	4 515	0	4 515

$\Sigma$ [Kč]	200 890	213 955	167 060	162 555
---------------	---------	---------	---------	---------

Tab.2.36 Kalkulované náklady pro obrobení 60 kusů

Náklady	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
Náklady na polotovary [Kč]	190 500	190 500	106 680	106 680
Náklady na VBD [Kč]	200 890	213 955	167 060	162 555
Náklady na stoje [Kč]	123 250	93 705	75 225	47 410
$\Sigma$ [Kč]	514 640	498 160	348 965	316 645

Z kalkulovaných nákladů na obrábění je patrný rozdíl nákladů na obrábění při změně polotovaru. Za předpokladu použití polotovaru z plechu C 45 jsou rozdíly mezi variantami 1 a 2 v celku zanedbatelné. Při změně polotovaru na odlitek je výrazné snížení nákladů na zařízení polotovaru, nákladů na nástroje i nákladů na stroje. Z hlediska minimálních nákladů na výrobu součásti je nejvýhodnější varianta č. 4.

## ZÁVĚR

Tato práce se zabývá rozbořem možných variant technologické přípravy výroby součásti Domek kuličkového šroubu - uložení pohonu v ose X v koncové poloze pro stolovou vodorovnou vyvrtávačku WFT 13 CNC firmy FERMAT CZ s.r.o.

Dosažené cíle této práce jsou uvedeny v následujících bodech:

- rešerše obecných možností na frézovacích CNC strojích,
- změna technologičnosti konstrukce součásti s ohledem na minimální pracnost,
- návrh změny polotovaru z přířezu plechu z oceli C45 na odlitek z materiálu EN-GJS-500-7,
- navržení 4 variant technologických postupů obrábění součásti,
- navržení nástrojového vybavení a měřidel,
- navržení technologie výroby, včetně zpracování řídicích programů pro všechny 4 varianty obrábění součásti,
- provedení technicko ekonomického hodnocení.

Z dosažených ekonomických výsledků práce vyplívá:

- při roční dávce 60 kusů jsou náklady na odlitek o 44% nižší než náklady na přířez z oceli,
- simulace časů obrábění dle systému ShopMill a ShopTurn a náklady na stroj jsou nižší při obrábění polotovaru z odlitku, než-li polotovaru z přířezu plechu,
- náklady na monolitní nástroje a krabičky VBD jsou nižší při obrábění varianty polotovaru z odlitku,

Z ekonomického hlediska je nejvýhodnější variantou obrobení součásti kombinací soustružení na SF 55/1500 CNC a frézování na TK 6511 CNC s kooperacemi na bruskách při použití polotovaru odlitku. Tato varianta je doporučena firmě Fermat CZ, s.r.o.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. ŠTULPA, M. *CNC Obráběcí stroje a jejich programování*. 1. dotisk 1. vydání. Brno : BEN-technická literatura, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
2. TAJMAC-ZPS, a.s. [online]. c2010 [cit. 2010-03-01] Dostupné z WWW: <<http://www.zps.cz/c1210cz.html>>.
3. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook ISBN 91-97 22 99-4-6
4. *Main catalogue 2009* [online]. SANDVIK Coromant, 2009 [cit. 2010-02-30]. D - Frézování, s. Dostupné z WWW:<[http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/MC\\_2009\\_Klick\\_CZE\\_D.pdf](http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/MC_2009_Klick_CZE_D.pdf)>.
5. LANDSMANN s.r.o. [online]. c2010 [cit. 2010-04-20]. Dostupné z WWW: <[http://www.landsmann.cz/nastroje-na-frezovani-na-kov-technicke-frezy\\_c672.html](http://www.landsmann.cz/nastroje-na-frezovani-na-kov-technicke-frezy_c672.html)>.
6. SANDVIK COROMANT [online]. c2009 [cit. 2010-03-09]. Dostupné z WWW: <<http://www.coromant.sandvik.com/cz>>.
7. *Deep hole drilling : Product catalogue and application guide* [online]. Sweden : AB Sandvik Coromant, 2003 [cit. 2010-04-29]. Dostupné z WWW: <<http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/Drilling/eng/C-1202-1.pdf>>.
8. Catalogue 26 [online]. Narex Ždánice, c2006 [cit. 2010-04-01]. Dostupné z WWW:<<http://www.narexd.cz/cz/files/catalogue26>>.
9. *Technický týdeník* [online]. 2006 [cit. 2010-03-28]. Frézování závitů nástroji firmy ISCAR . Dostupné z WWW:<http://www.technickytydenik.cz/detail.php?action=show&id=1264&mark=frézování%20závitů%20iscar>>.
10. KOČMAN, K a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
11. POLZER, A. *Technický týdeník* [online]. [cit. 2010-04-10]. Dílenské programování v systému ShopTurn. Dostupné z WWW: <[http://www.techtydenik.cz/cnc\\_prikklady/priklad\\_5.php](http://www.techtydenik.cz/cnc_prikklady/priklad_5.php)>.
12. POLZER, A. *Technický týdeník* [online]. [cit. 2010-04-10]. Dílenské programování v systému ShopMill. Dostupné z WWW: <[http://www.techtydenik.cz/cnc\\_prikklady/priklad\\_6.php](http://www.techtydenik.cz/cnc_prikklady/priklad_6.php)>.
13. SIEMENS SINUMERIK 840D ShopMill : *Training Manual*. , 2008. 141 s.
14. FERMAT CZ, s.r.o. [online]. c2008 [cit. 2010-01-22] Dostupné z WWW: <<http://www.fermatmachinery.com/cs/>>.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CAD	-	Computer Aided Design - počítačem podporované navrhování
CAM	-	Computer Aided Manufacturing - počítačem podporovaná výroba
CNC	-	Computer Numeric Control - počítačem číslicově řízený
D	mm	průměr nástroje
E	MPa	Youngův modul pružnosti
$F_c$	N	řezná síla
HSS	-	High Speed Steel - rychlořezná ocel
I	mm <sup>4</sup>	kvadratický moment průřezu
KŠ	-	kuličkový šroub
L	mm	délka
NC	-	Numeric Control - číslicově řízený
$R_a$	$\mu\text{m}$	průměrná aritmetická úchylka profilu
$R_e$	MPa	mez kluzu
$R_m$	MPa	mez pevnosti
$R_{p0,2}$	MPa	smluvní mez kluzu
$R_{zt}$	$\mu\text{m}$	nejvyšší teoretická výška profilu
ŘS	-	řídící systém
SK	-	slinutý karbid
VBD	-	vyměnitelná břitová destička
$a_e$	mm	šířka záběru ostří
$f_z$	mm	posuv na zub
$h_m$	mm	střední tloušťka třísky
$h_{\max}$	mm	tloušťka třísky
$k_c$	N·mm <sup>2</sup>	měrná řezná síla
n	ot·min <sup>-1</sup>	otáčky vřetene
$r_\epsilon$	mm	poloměr špičky nástroje
$v_c$	m·min <sup>-1</sup>	řezná rychlost
$\epsilon$	°	úhel špičky
$\delta$	mm	deformace (průhyb nástroje)
$\kappa_r'$	°	úhel nastavení hlavního ostří
$\kappa_r$	°	úhel nastavení vedlejšího ostří
$\pi$	-	Ludolphovo číslo
$\varphi$	°	úhel styku frézy s obrobkem

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 Řídicí programy pro všechny varianty technologií  
Příloha 2 Technologický postup - varianta 1  
Příloha 3 Technologický postup - varianta 2  
Příloha 4 Technologický postup - varianta 3  
Příloha 5 Technologický postup - varianta 4  
Příloha 6 Nástrojové vybavení a řezné podmínky od firmy Sandvik Coromant  
Příloha 7 Cenová nabídka nástrojů od firmy Sandvik Coromant  
Příloha 8 Cenové nabídky odlitků  
Příloha 9 Původní technický výkres součásti Domek KŠ - koncová osa X  
Příloha 10 Upravený technický výkres součásti Domek KŠ - koncová osa X  
Příloha 11 Výkres odlitku součásti Domek KŠ - koncová osa X  
Příloha 12 Řídicí programy pro ShopMill a ShopTurn