

# Obrábění tvarových ploch

**prof. Ing. Marek SADÍLEK, Ph.D.**

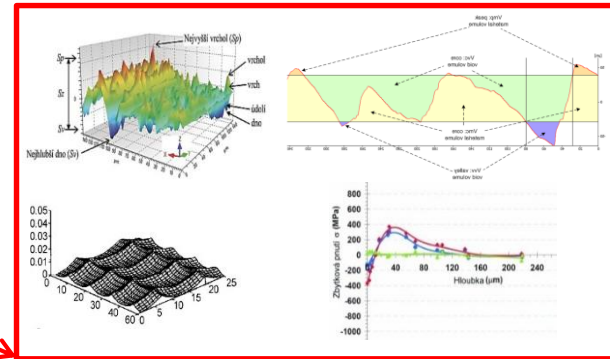


# Výrobek – tvarová plocha



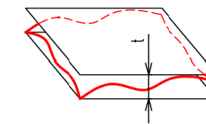
## Zvýšení funkčních vlastností obroběného povrchu:

- topografie povrchu
- 2D/3D drsnost
- zbytkové napětí



## Zvýšení přesnosti výroby

## Snížení energetické náročnosti



vysoce přesné



vyloučení/snížení podílu  
dokončovacích metod broušení



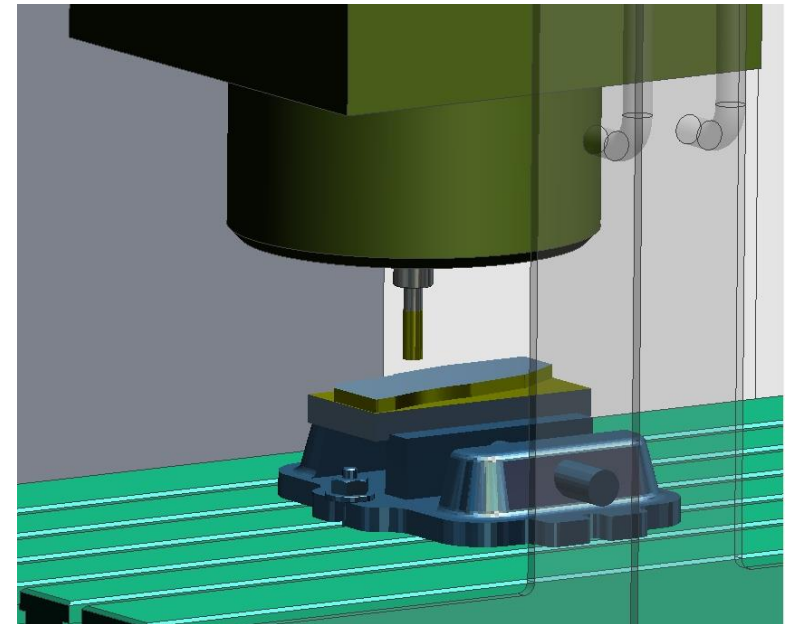
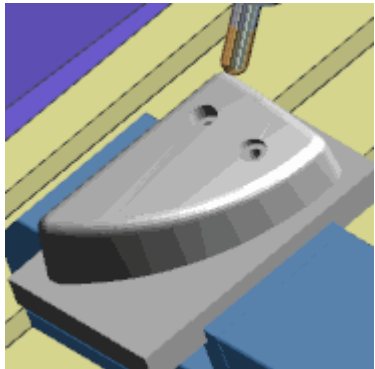
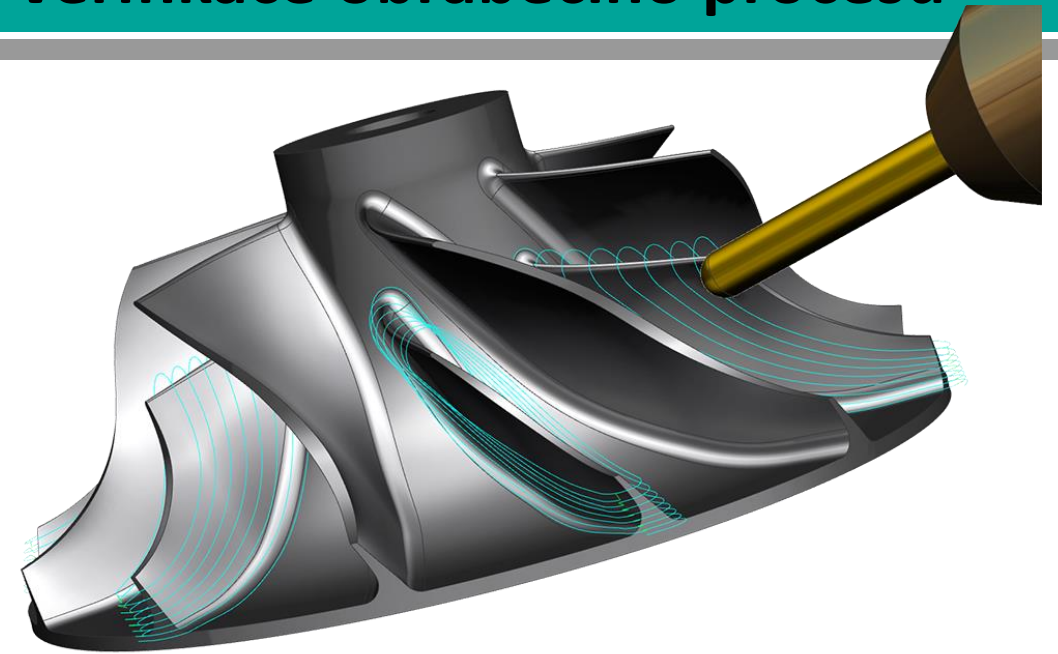
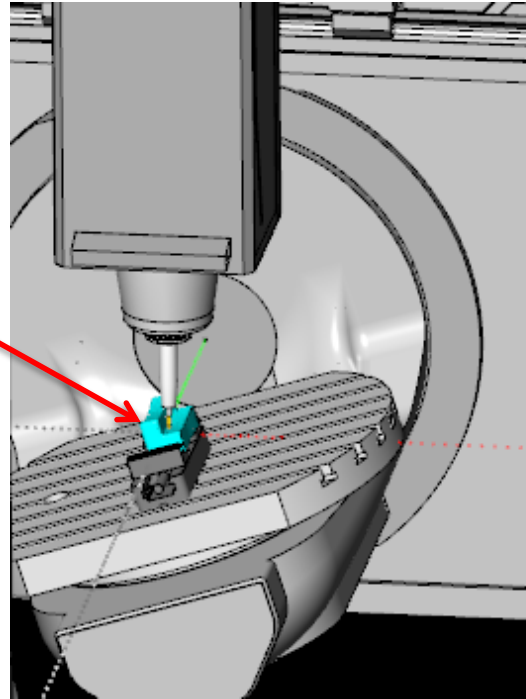
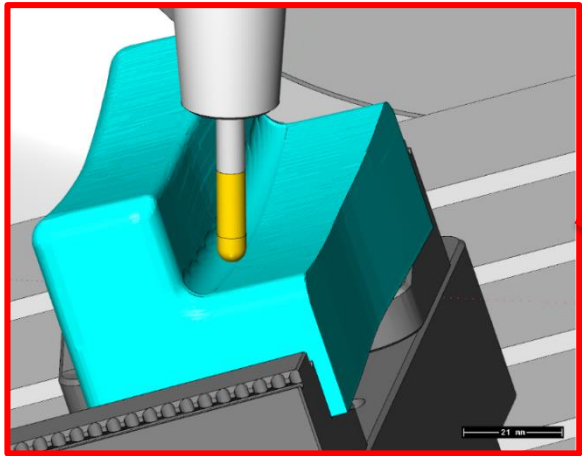
ekonomické /  
ekologické aspekty







# Obrábění tvarových ploch - simulace a verifikace obráběcího procesu

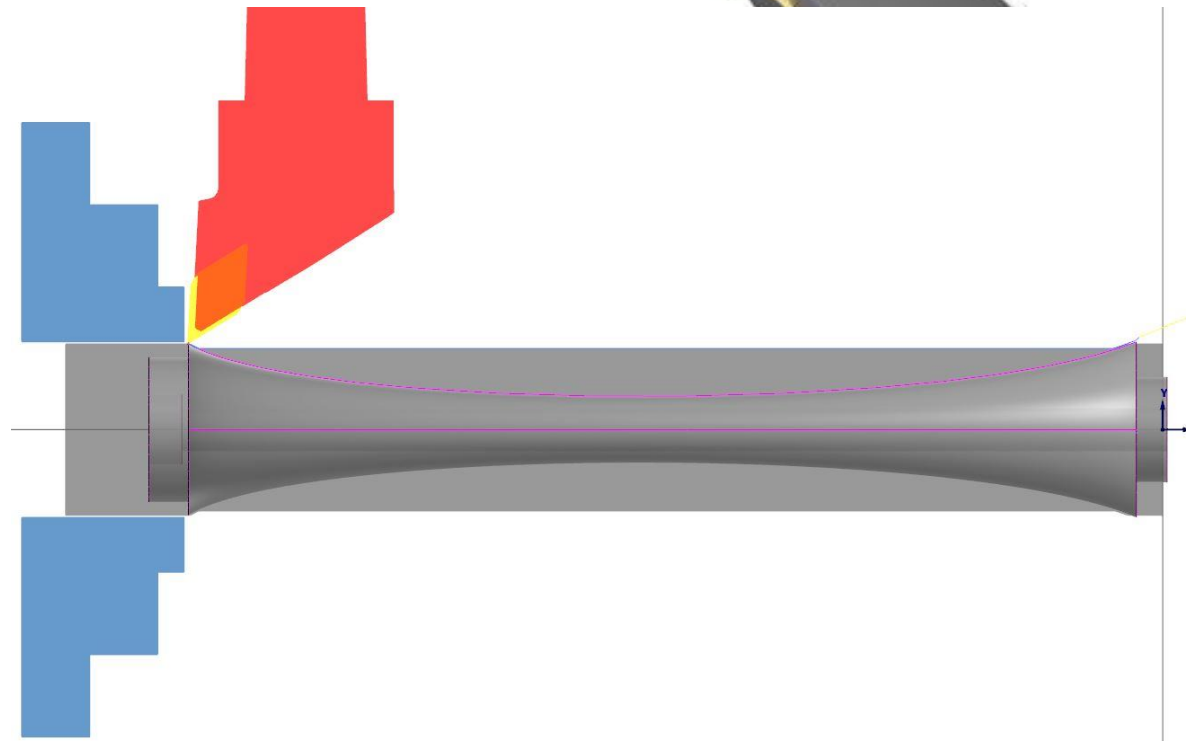
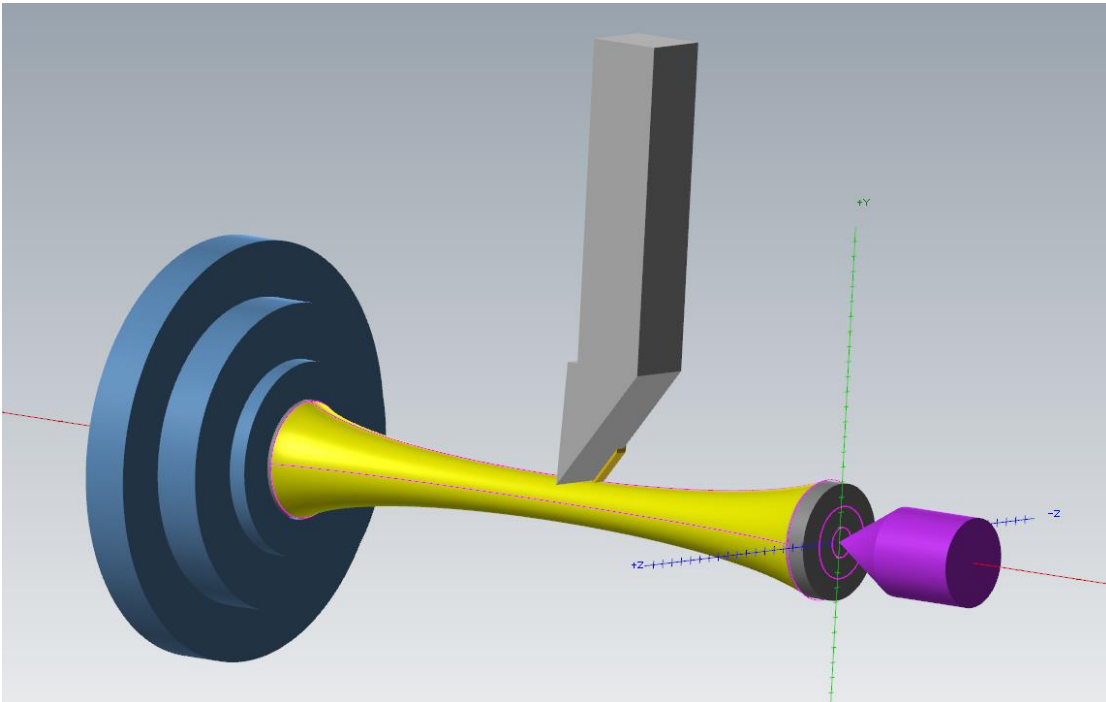


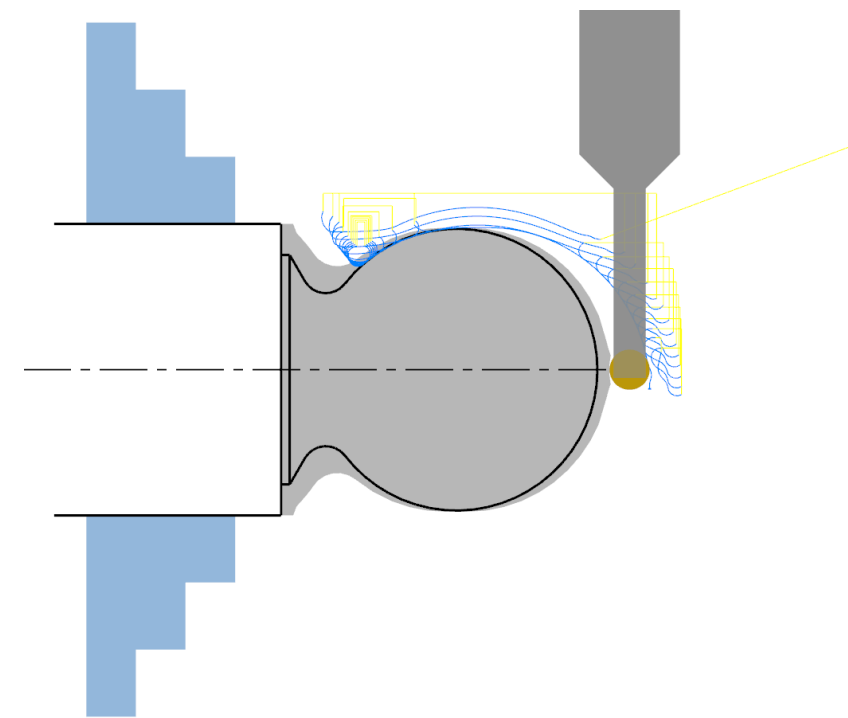
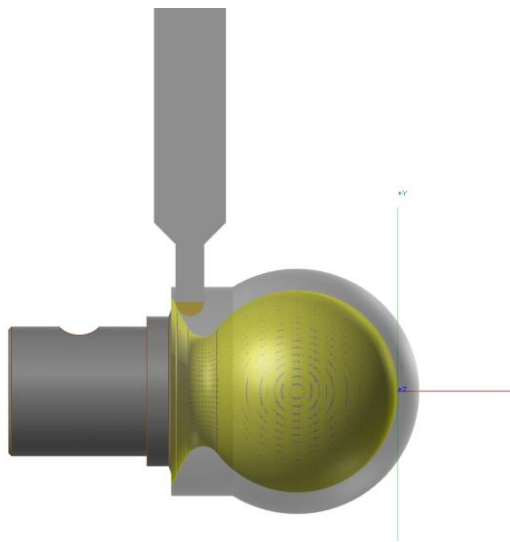
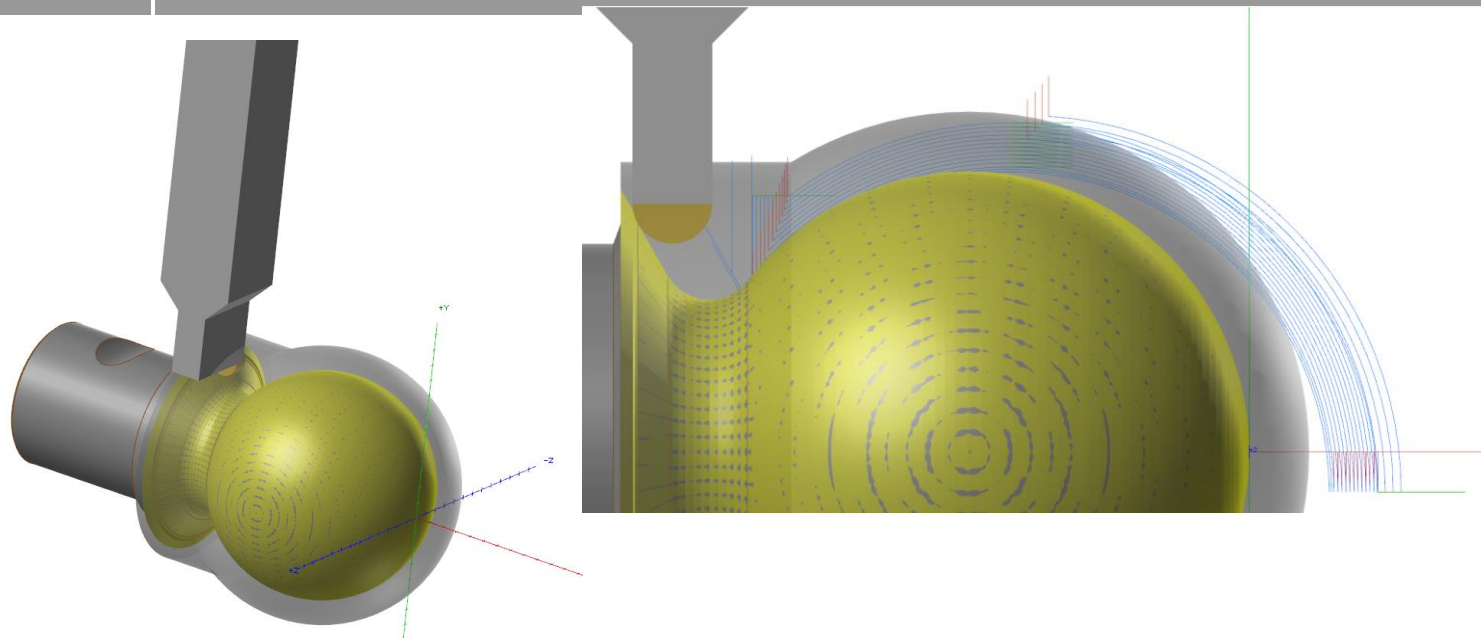
# Soustružení tvarových ploch

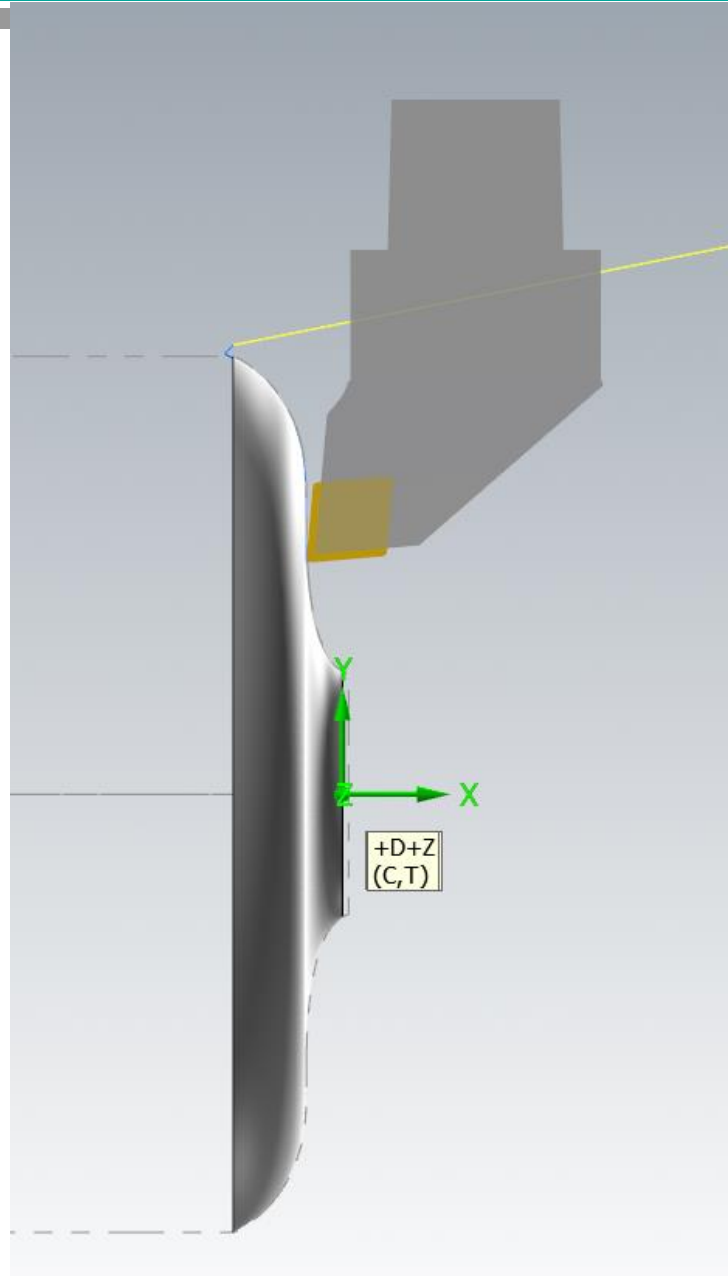
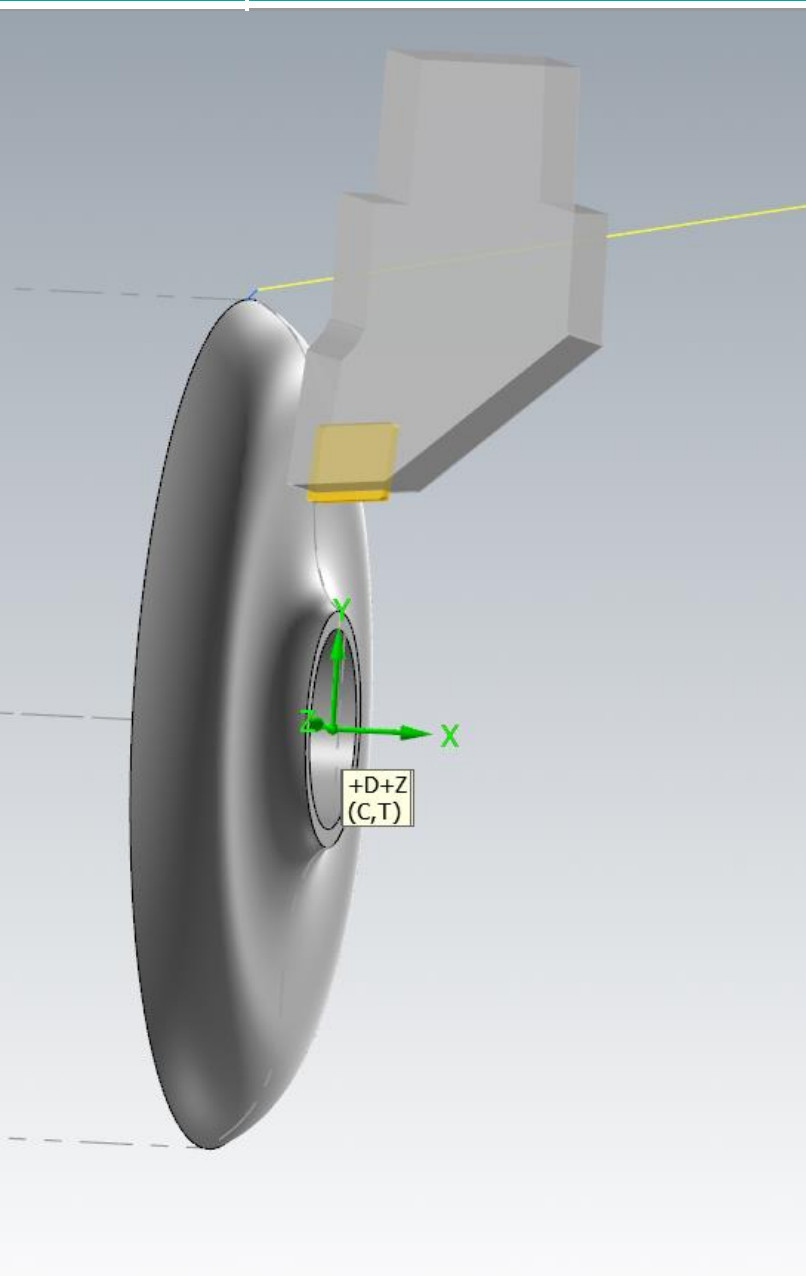
- Na NC a CNC strojích

Dříve využívané metody:

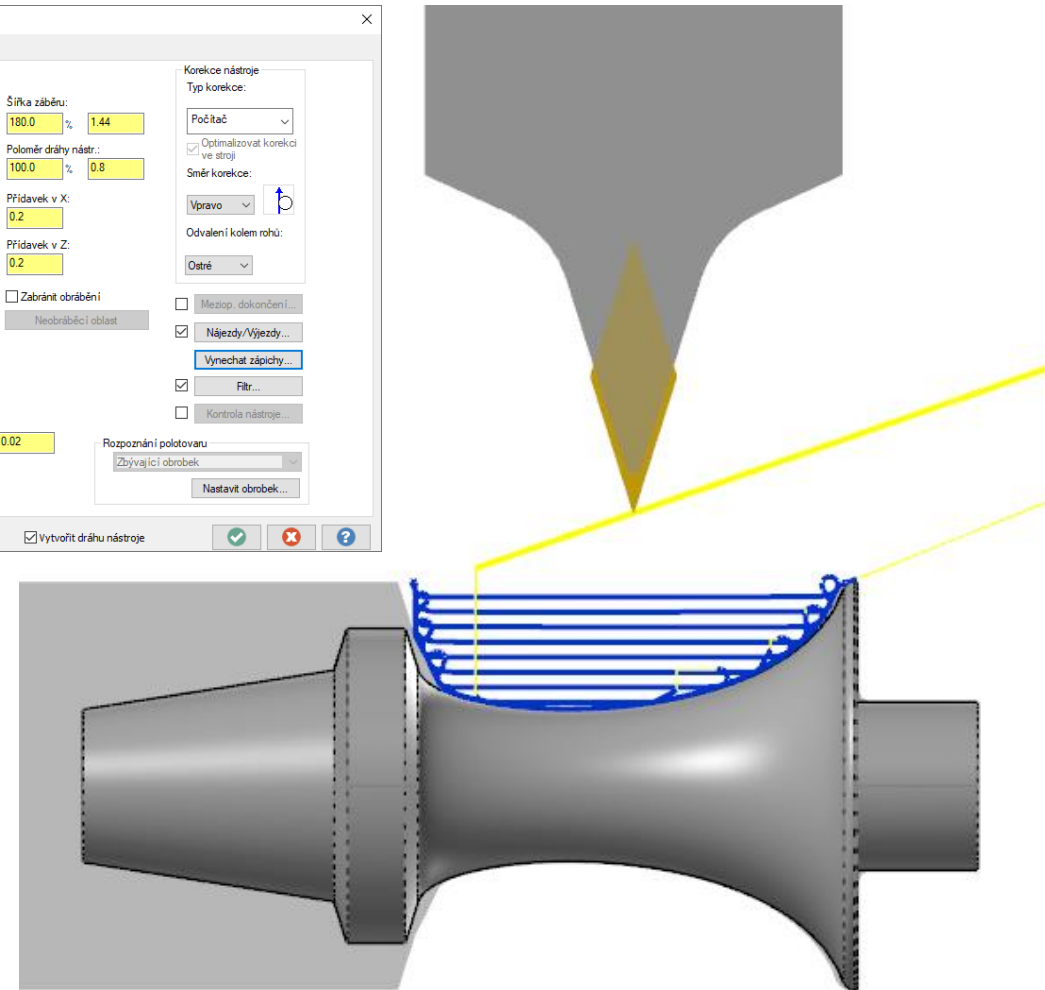
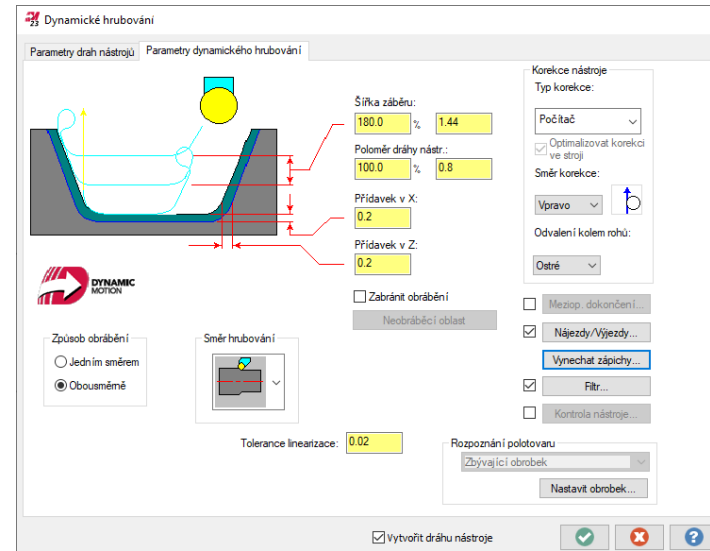
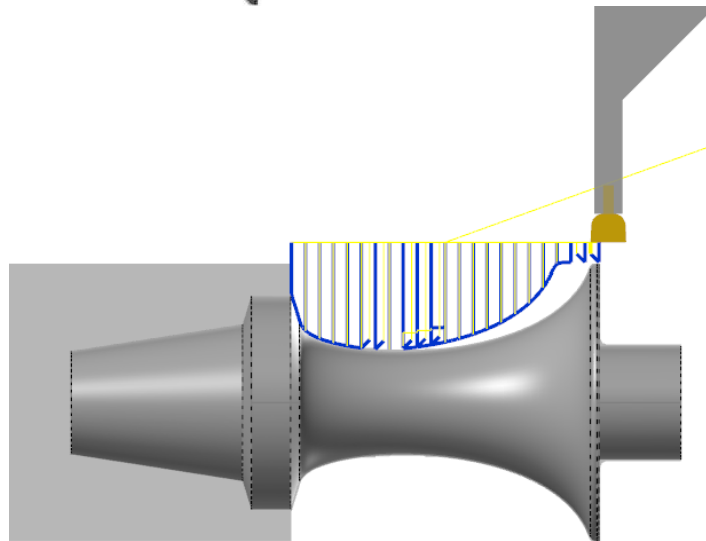
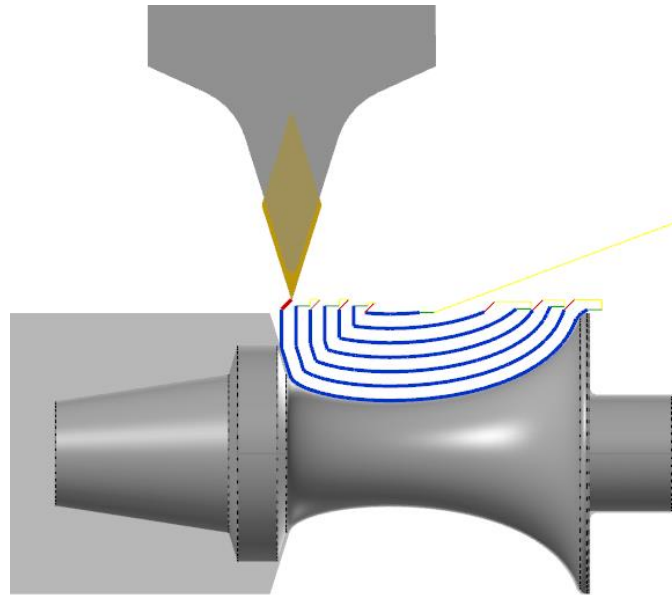
- a) Sdruženými posuvy
- b) Tvarovými noži
- c) Kopírováním





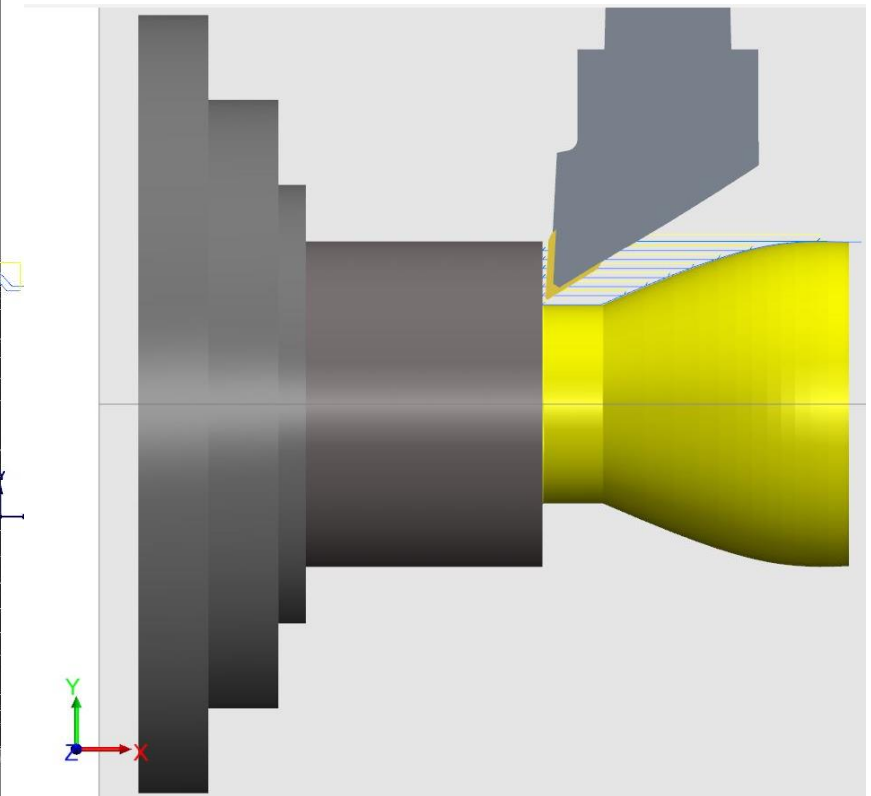
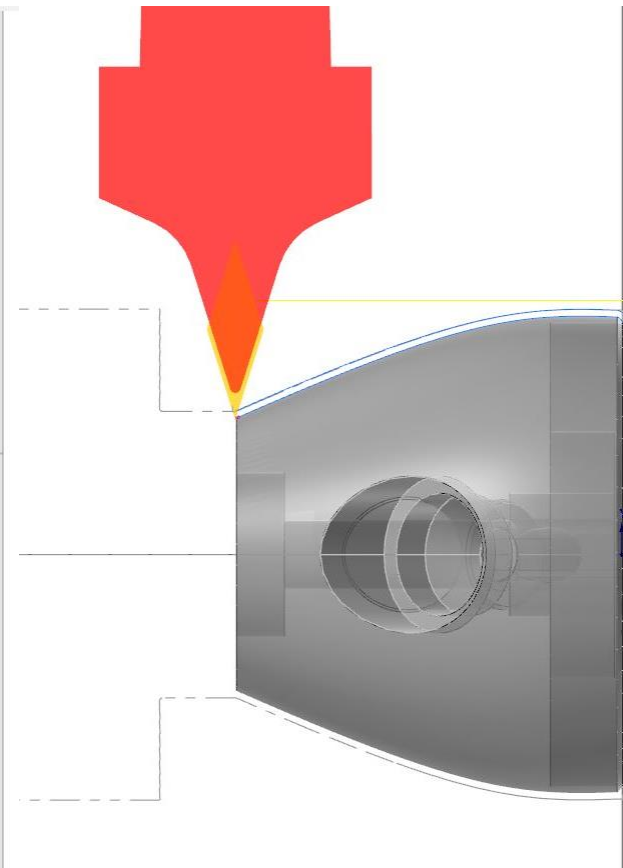
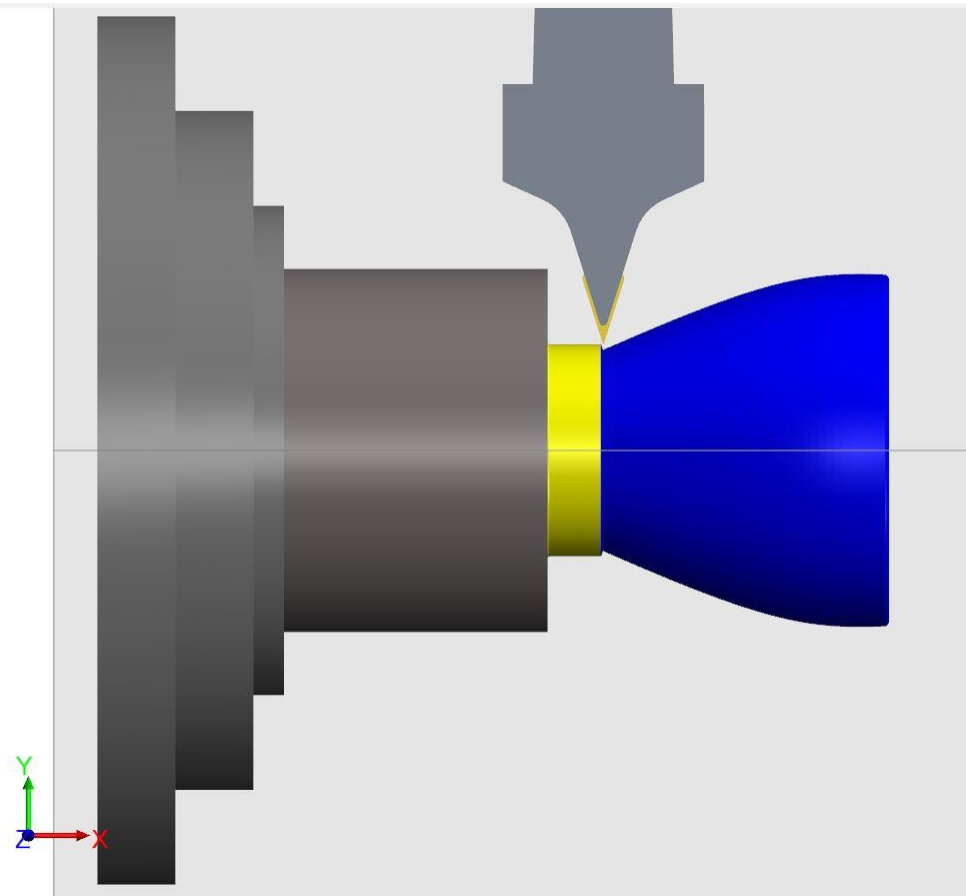


# Dráhy nástrojů





# Příklad obrábění součásti - tělo vodní dýmky

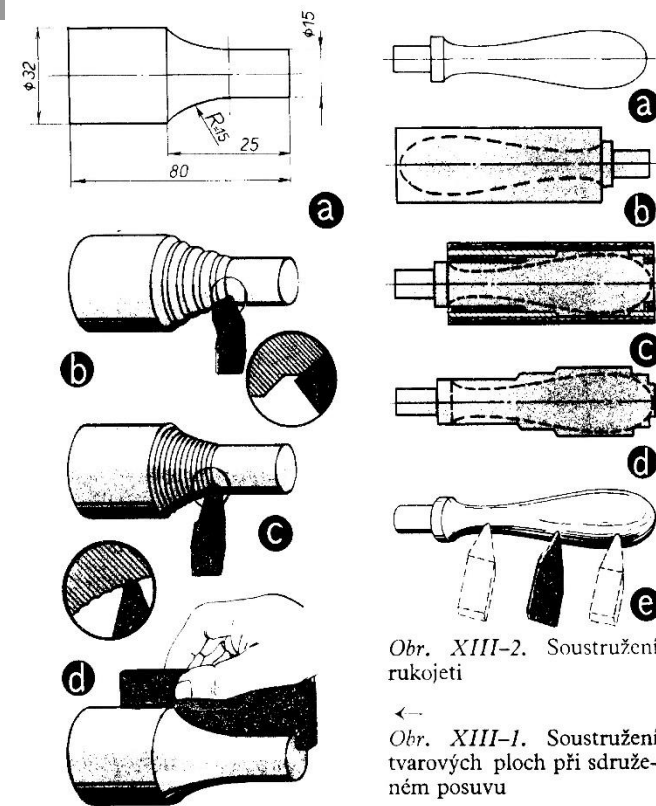
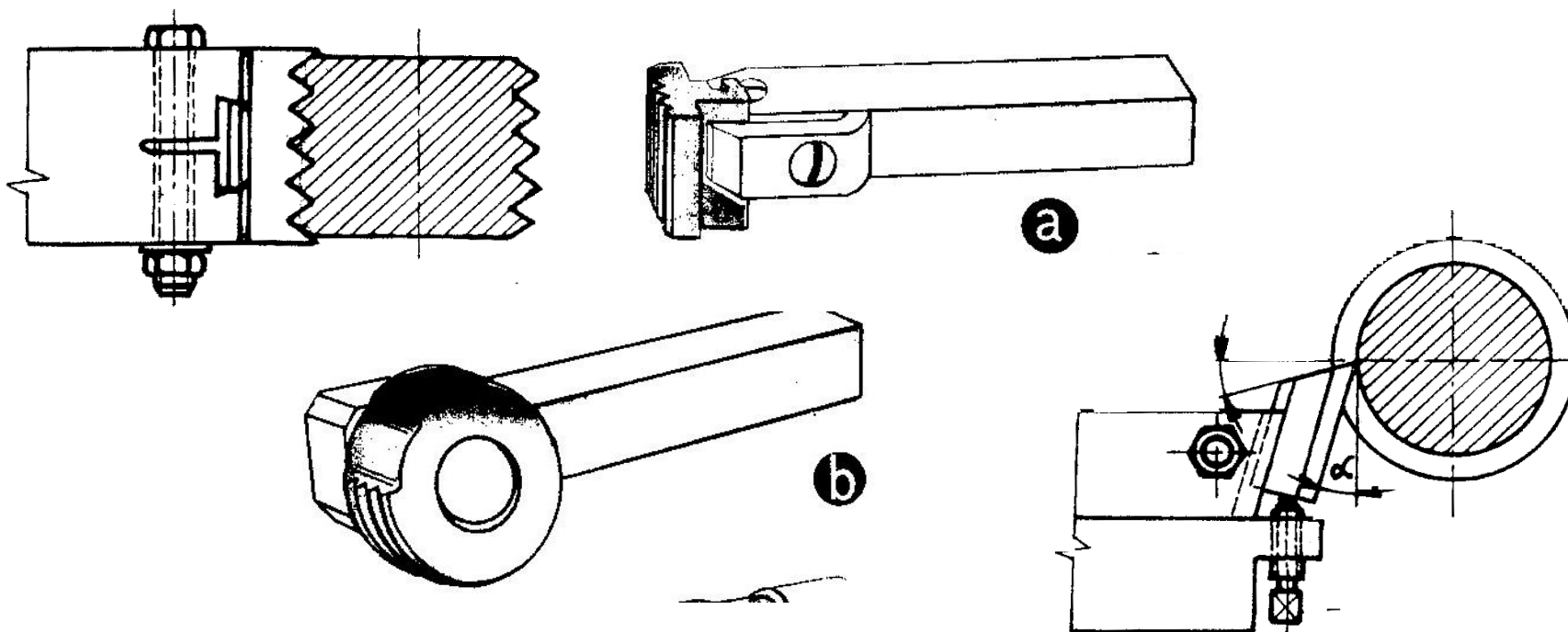


## ad a) Sdruženými posuvy

- Používá se v kusové výrobě při výrobě tvarových ploch a součástí u kterých nejsou kladeny vysoké požadavky na přesnost provedení.
- Kvalita výrobků závisí na manuální zručnosti pracovníka.

## ad b) tvarovými noži

- U tohoto způsobu je vybroušený tvarový nůž tak, že je negativem obráběné plochy.
- Profil může být zhotoven tak, aby byl zachován i po mnohonásobném přeastření.
- Nože se dělí na:
  - radiální (ploché a prizmatické),
  - tangenciální
  - kotoučové



Obr. XIII-2. Soustružení rukojeti

Obr. XIII-1. Soustružení tvarových ploch při sdruženém posuvu

# Frézování tvarových ploch

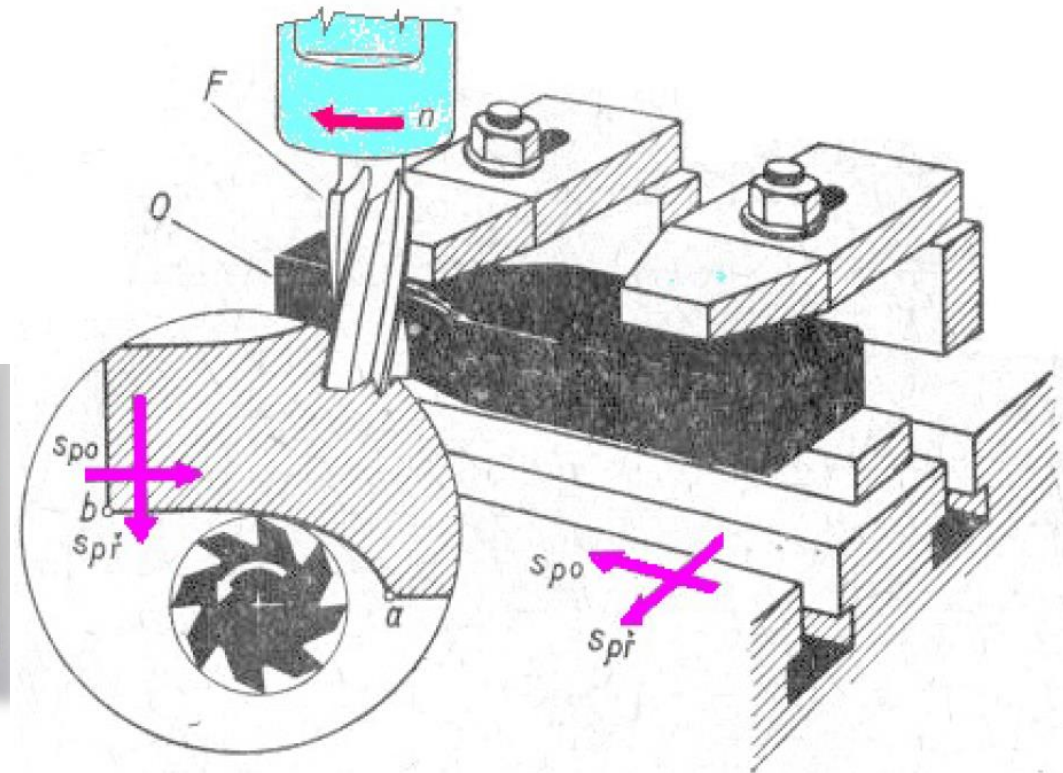
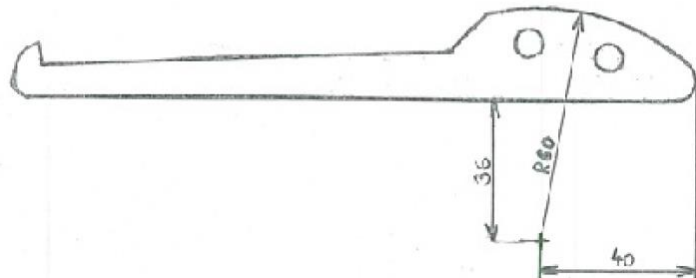
- na NC a CNC strojích

Dříve využívané metody:

- a) ručním posuvem stolu s dodržáním kontury pomocí orýsování,
- b) za použití tvarových fréz,
- c) kopírováním již vytvořeného tvaru pomocí kopírovacích zařízení,
- d) pomocí otočného stolu frézky – kdy tento posuv je strojní, zbylé pak strojní / ruční posuvy,

## a) Pomocí orýsování

- Výsledný řezný pohyb je zajišťován ručně sdružením podélného a příčného posuvu.
- použití: v kusové výrobě.

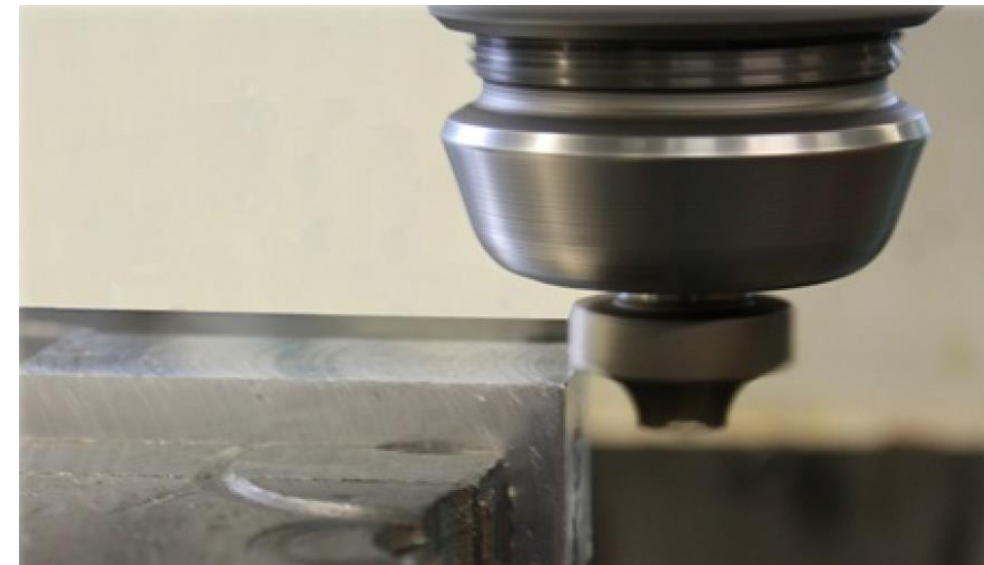


## b) tvarovými frézami

- Umožňuje vytvářet složité tvary a plochy na pracovním kusu materiálu.
- Tvarové frézy jsou nástroje, které mají speciální tvary a umožňují vytvářet různorodé kontury, drážky a tvarové prvky.

### Výhody:

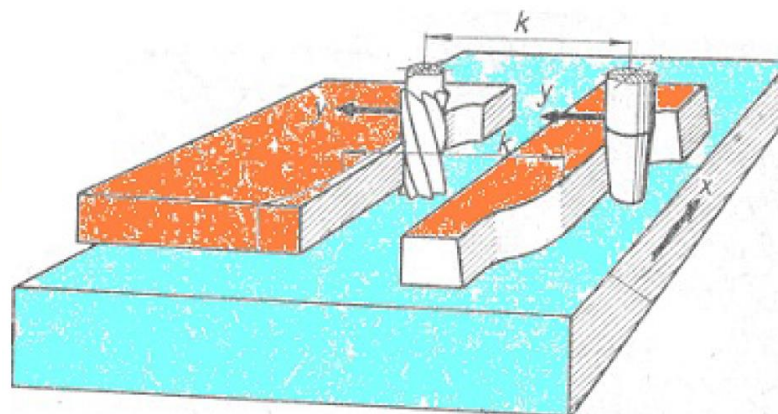
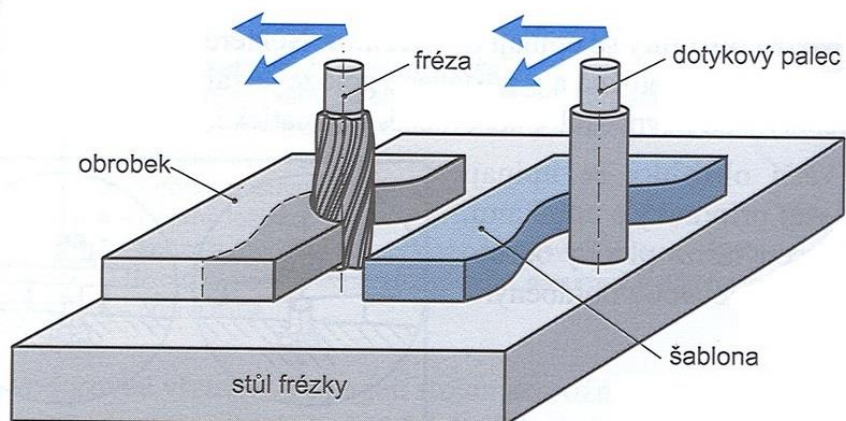
- vysoká přesnost,
- možnost výroby velmi složitých tvarů,
- levné a jednoduché frézovací nástroje,
- po seřízení stroje mohou práci vykonávat i méně kvalifikovaní pracovníci.



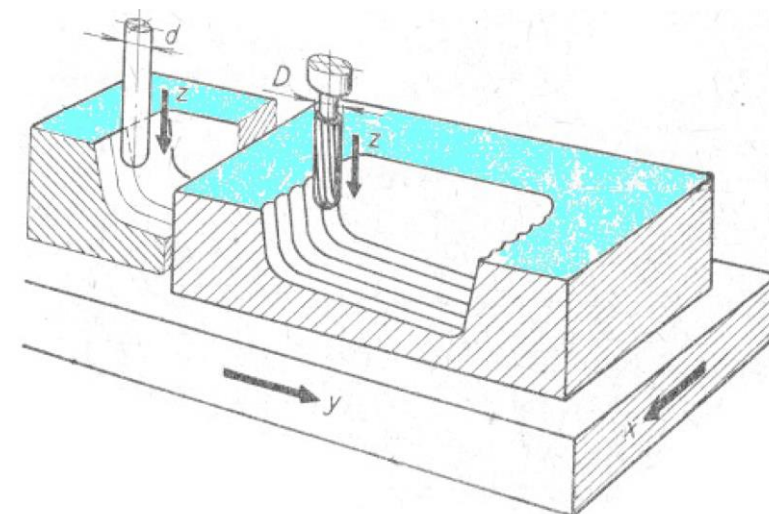
## c) frézování kopírováním

- v sériové výrobě, např. při výrobě zápusťek, vaček, apod.
- vysoká přesnost,
- možnost výroby velmi složitých tvarů,
- relativně levné a jednoduché frézovací nástroje,
- po seřízení stroje mohou práci vykonávat i méně kvalifikovaní pracovníci.

### Frézování obrysově

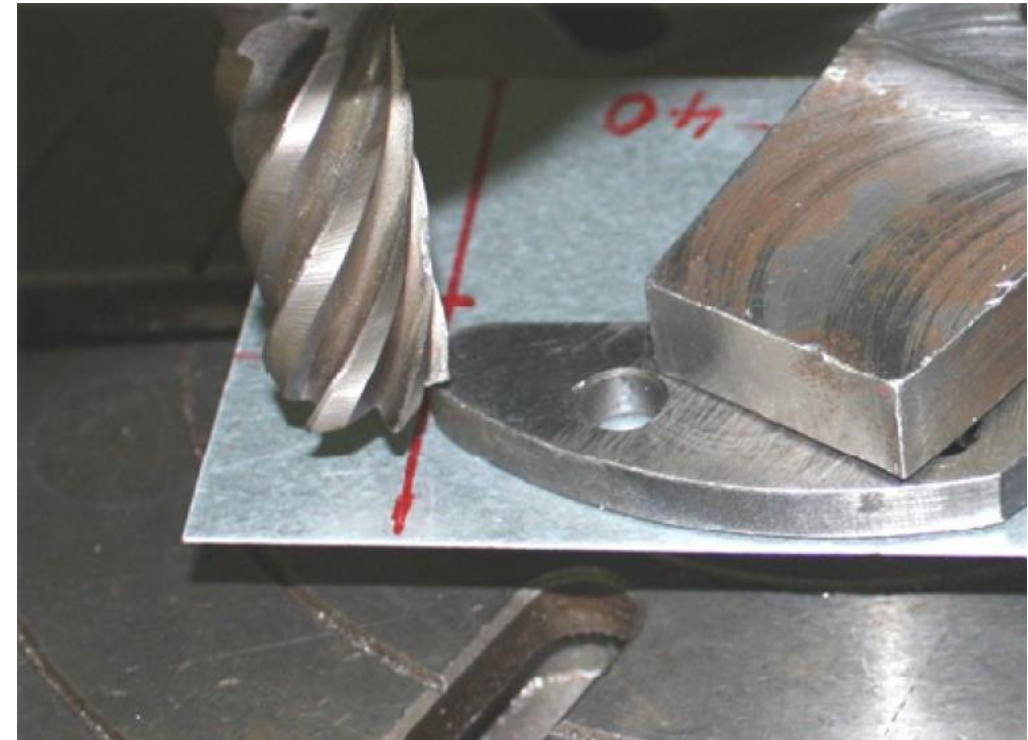
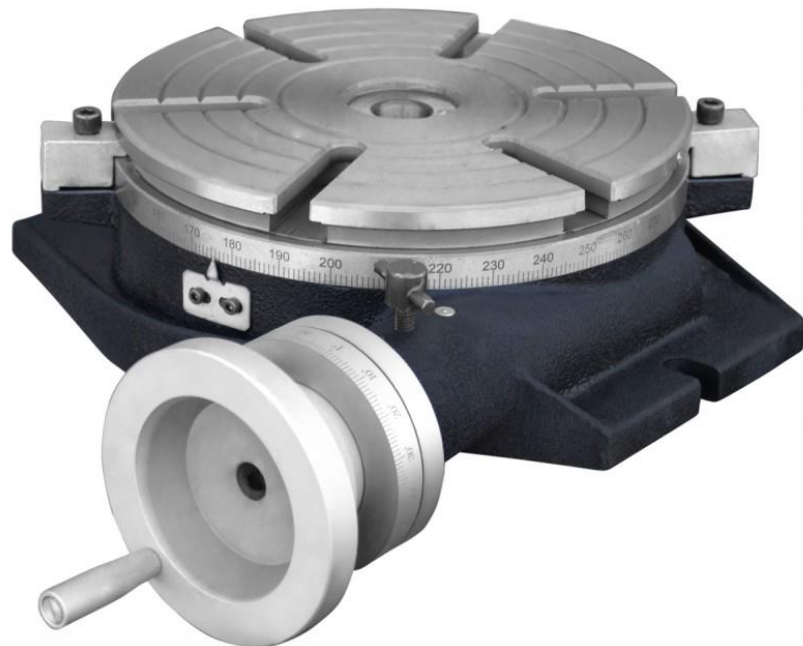


### Frézování prostorově



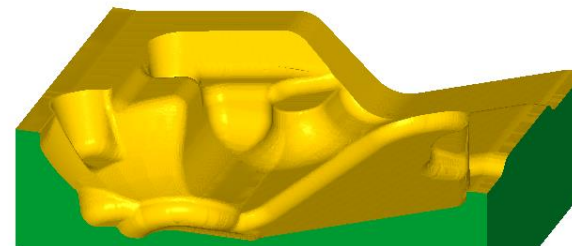
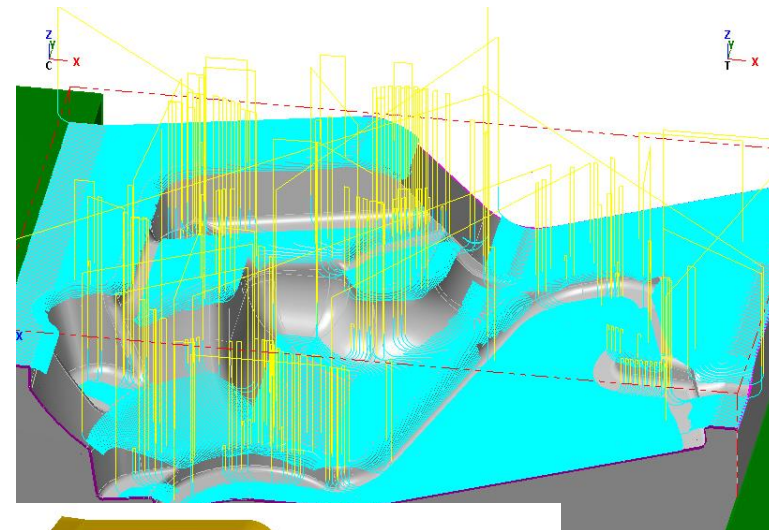
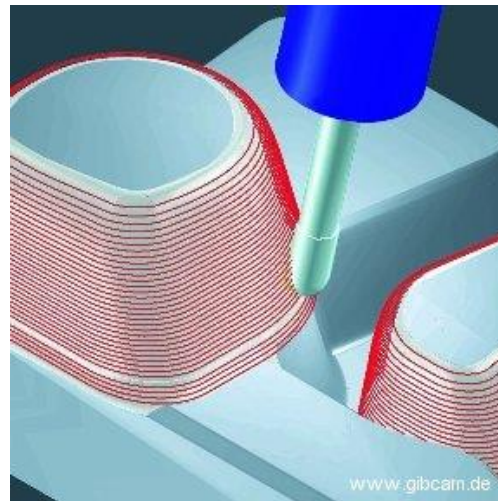
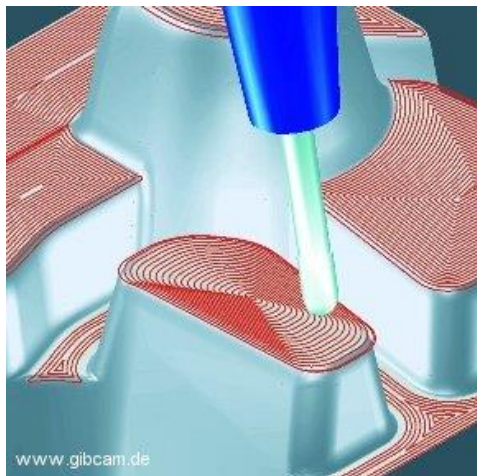
## d) pomocí otočného stolu

- u tvarových ploch, které bývají určeny středovým úhlem, poloměrem, případně tam, kde je veliký poloměr zaoblění, otočný stůl je kruhová otočná deska, otočná kolem svislé osy, která má upínací drážky pro upínání obrobků.



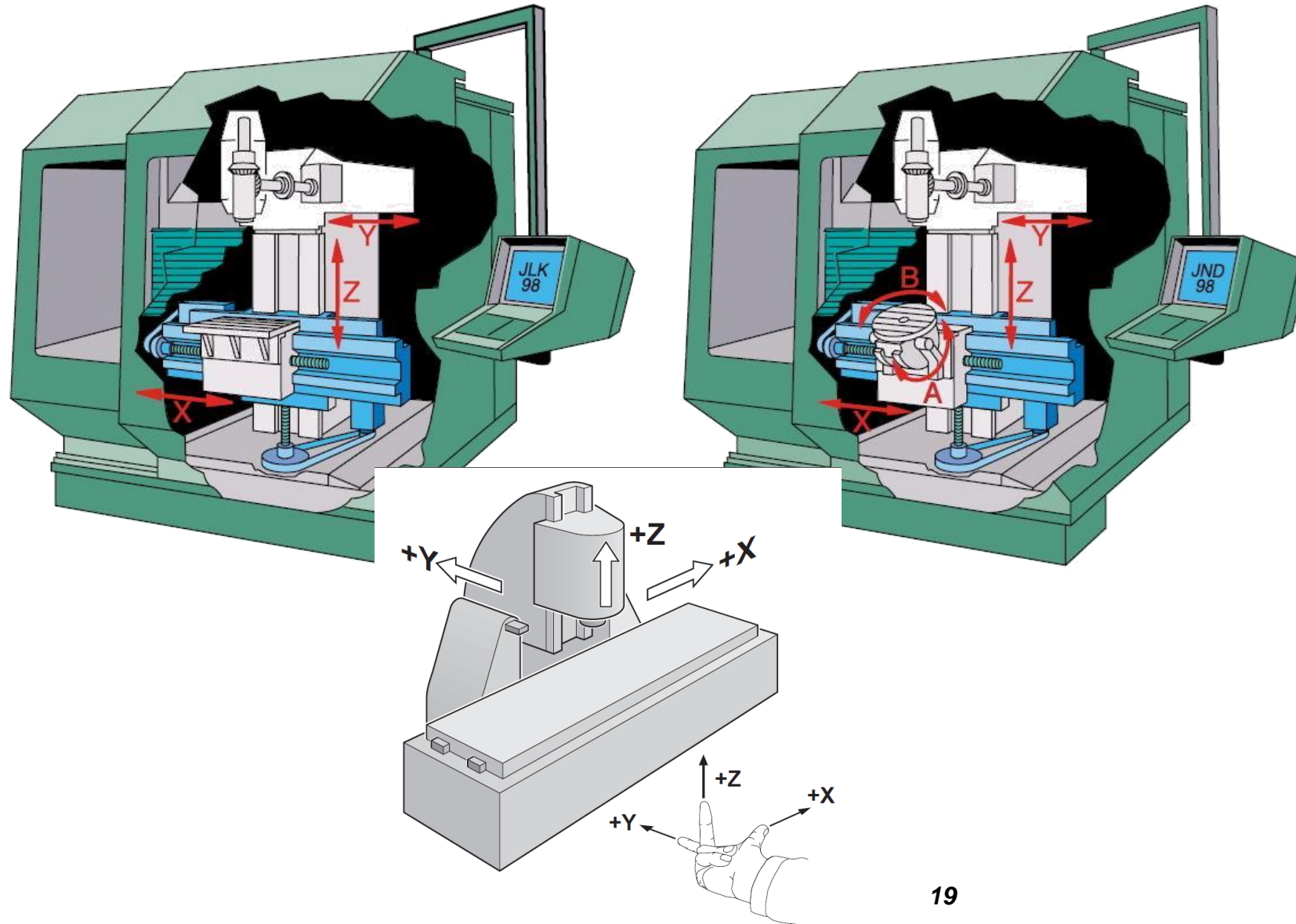
# Na NC a CNC strojích

- obrábění forem, zápustek a jiných tvarově složitých součástí  
tvářecích zápustek - forem pro lití,  
střížných nástrojů,  
nástrojů pro lisování plastů, atd.
- v různých odvětvích strojírenského průmyslu - převážně pro  
automobilový a letecký průmysl

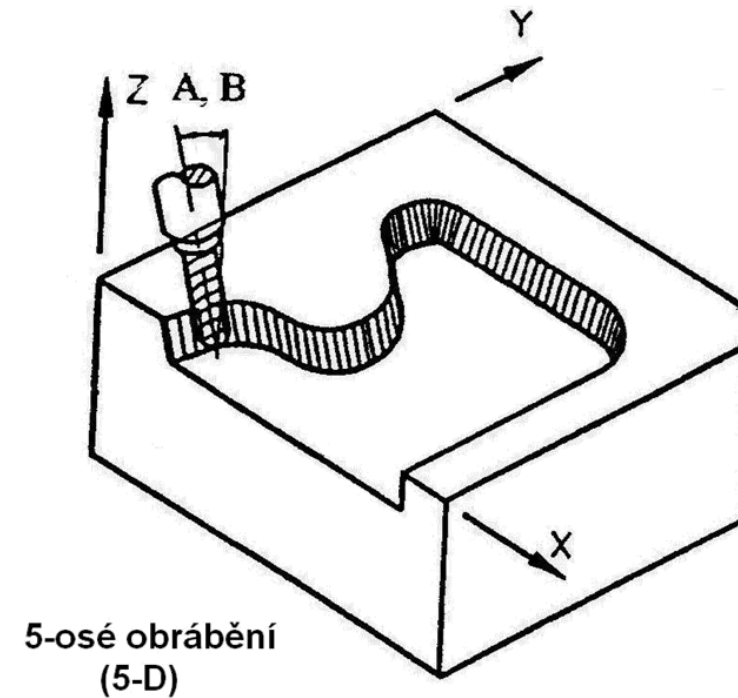
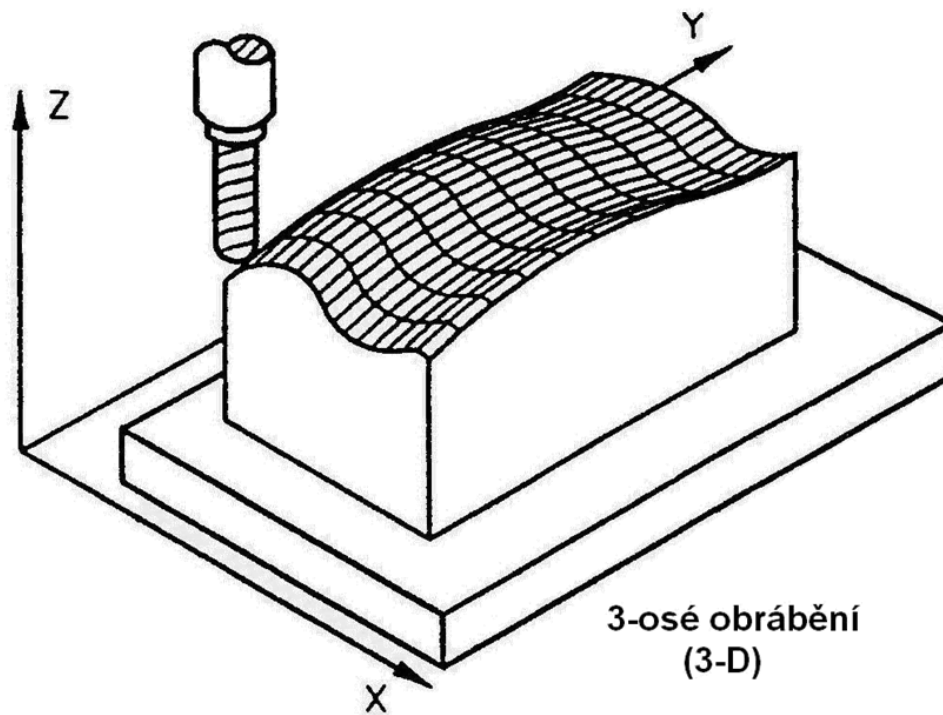


snímek

# Frézovací centrum 3osé a 5osé

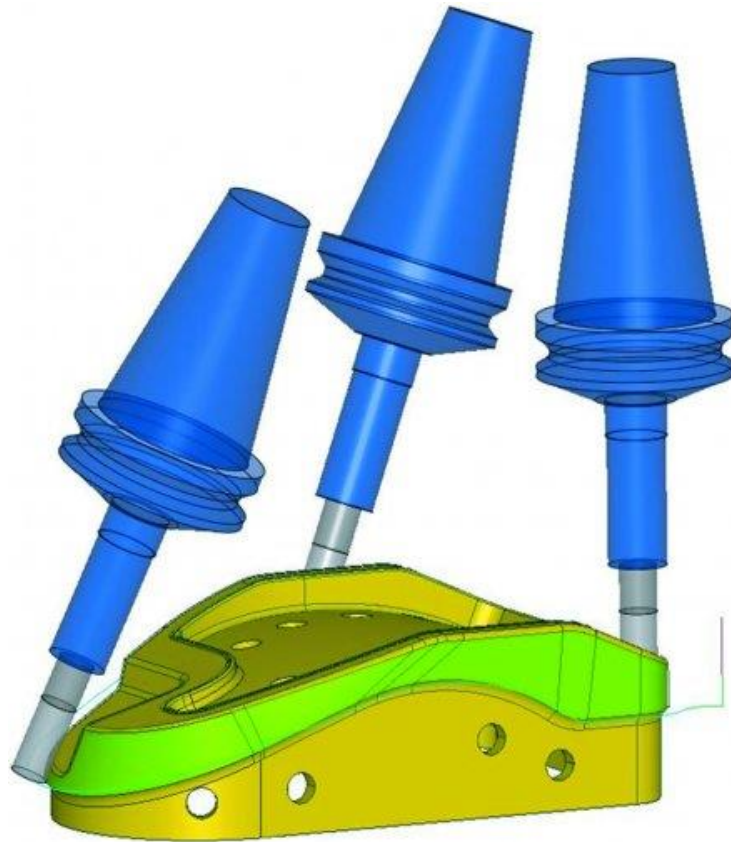


# Obrábění 3osé a 5osé





## Příklady 5-osého obrábění

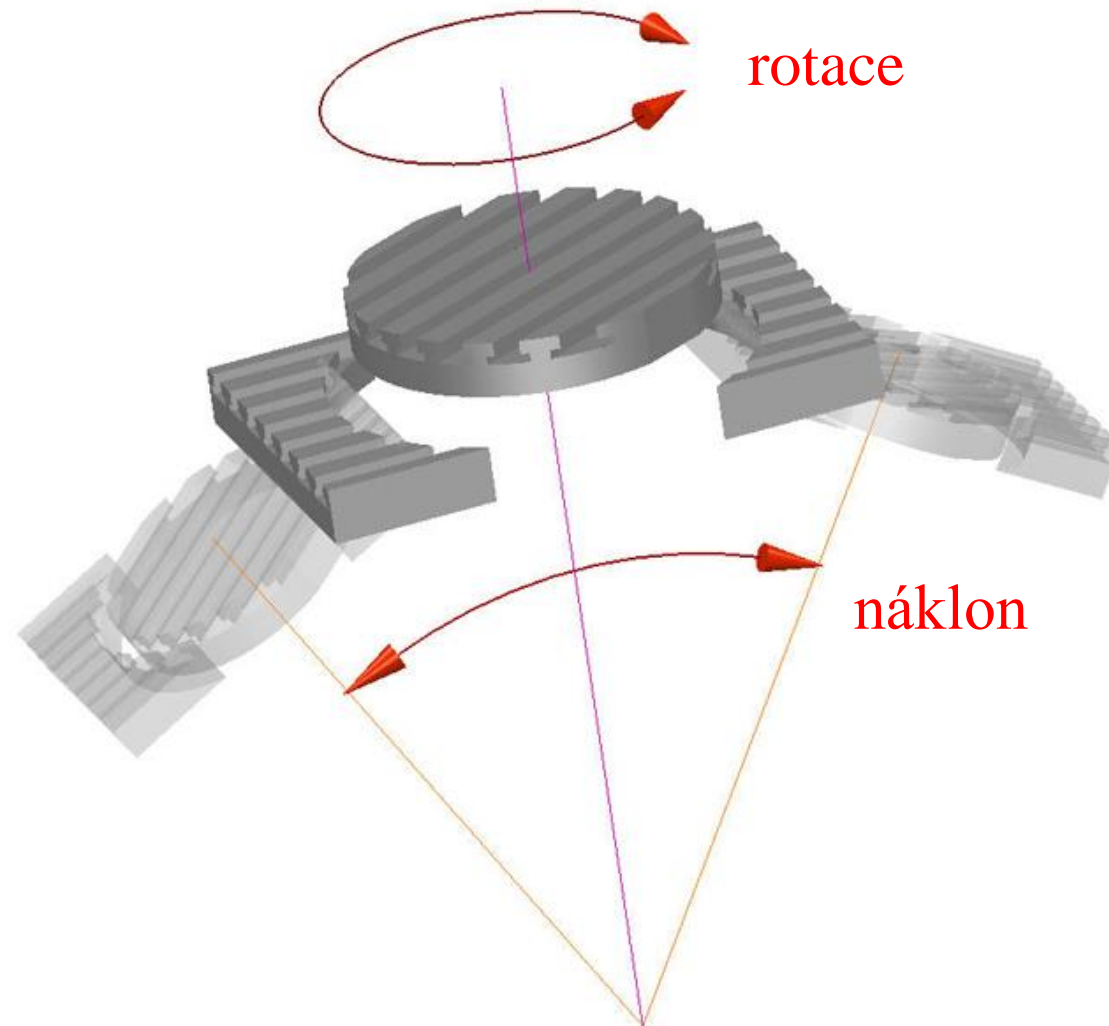


## Základní rozdělení konstrukce víceosých obráběcích strojů

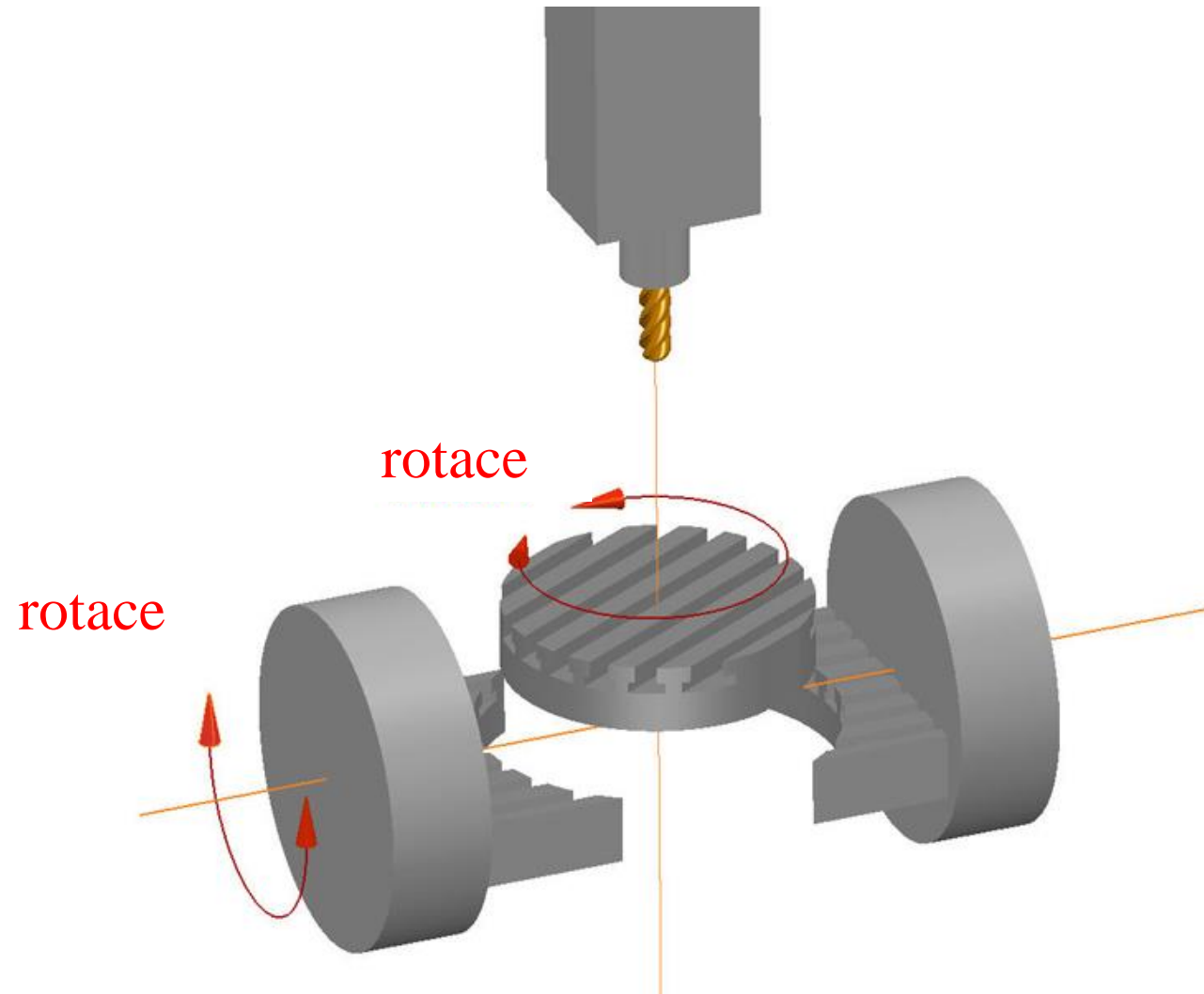
### Z hlediska rozdělení pohybu mezi obrobkem-stolem a vřetenem-nástrojem:

- **stůl-stůl** (Víceosé stroje vyvozují rotační pohyby dvojitým otočným stolem. Primární otočný stůl nese sekundární.),
- **hlava-stůl** (Víceosé stroje vyvozují rotační pohyby stolem, který nese obrobek a vřeteníkem s naklápějícím nástrojem.),
- **hlava-hlava** (dochází k pohybu obráběcí hlavy stroje (vřetene) - jak v úhlu azimutu, tak elevaci. Obrobek je stacionární).

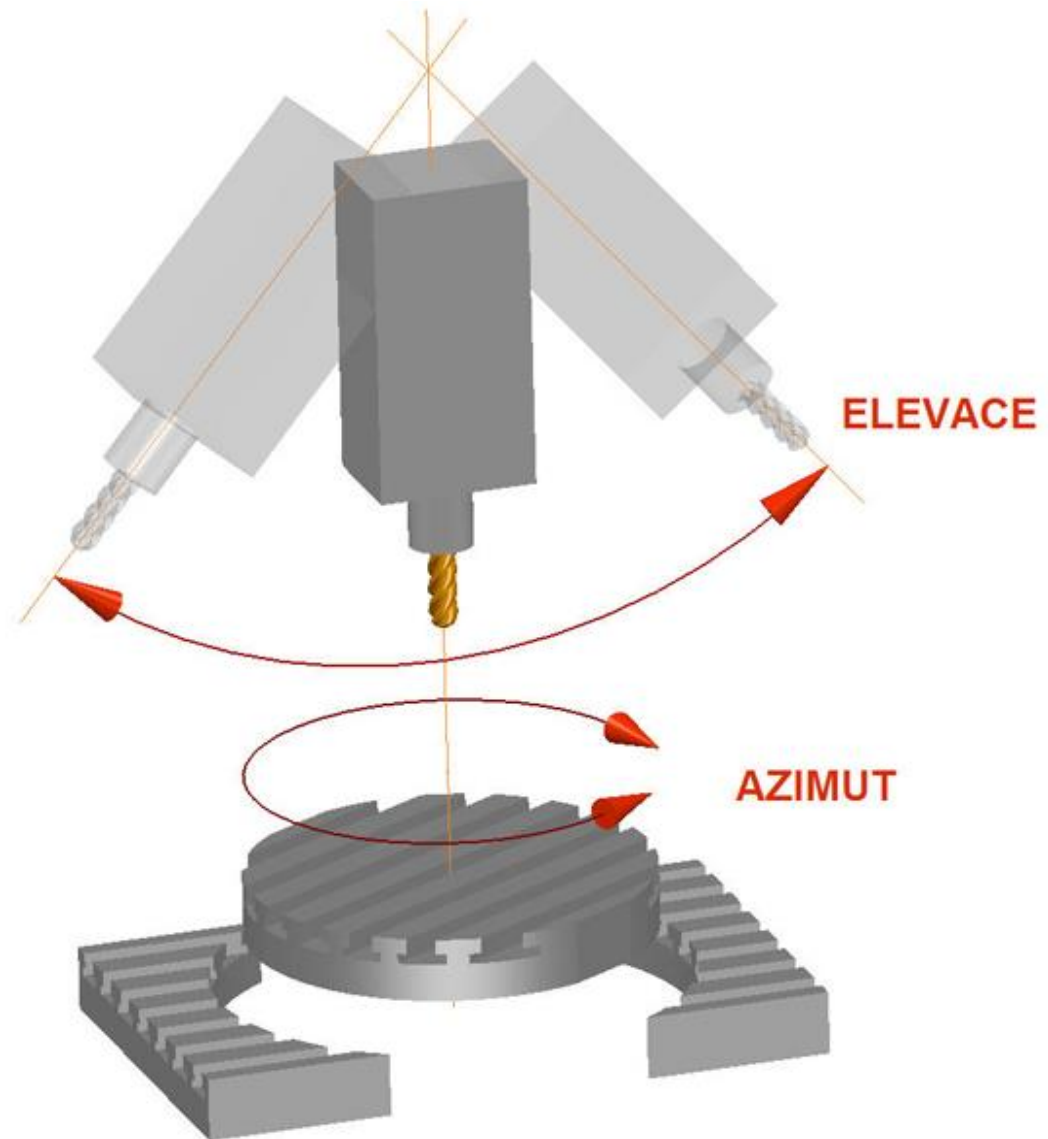
# Kinematika stůl- stůl

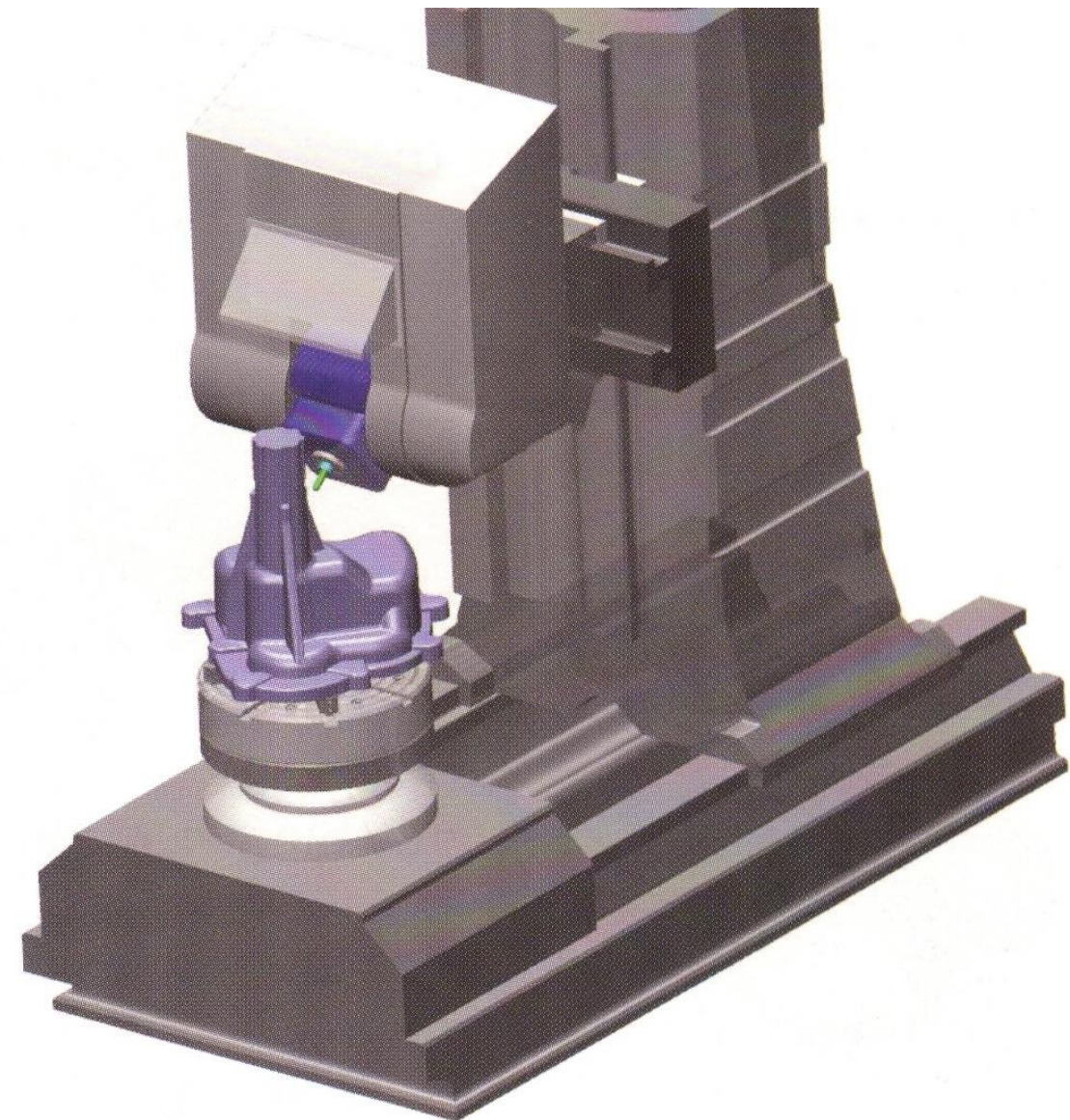
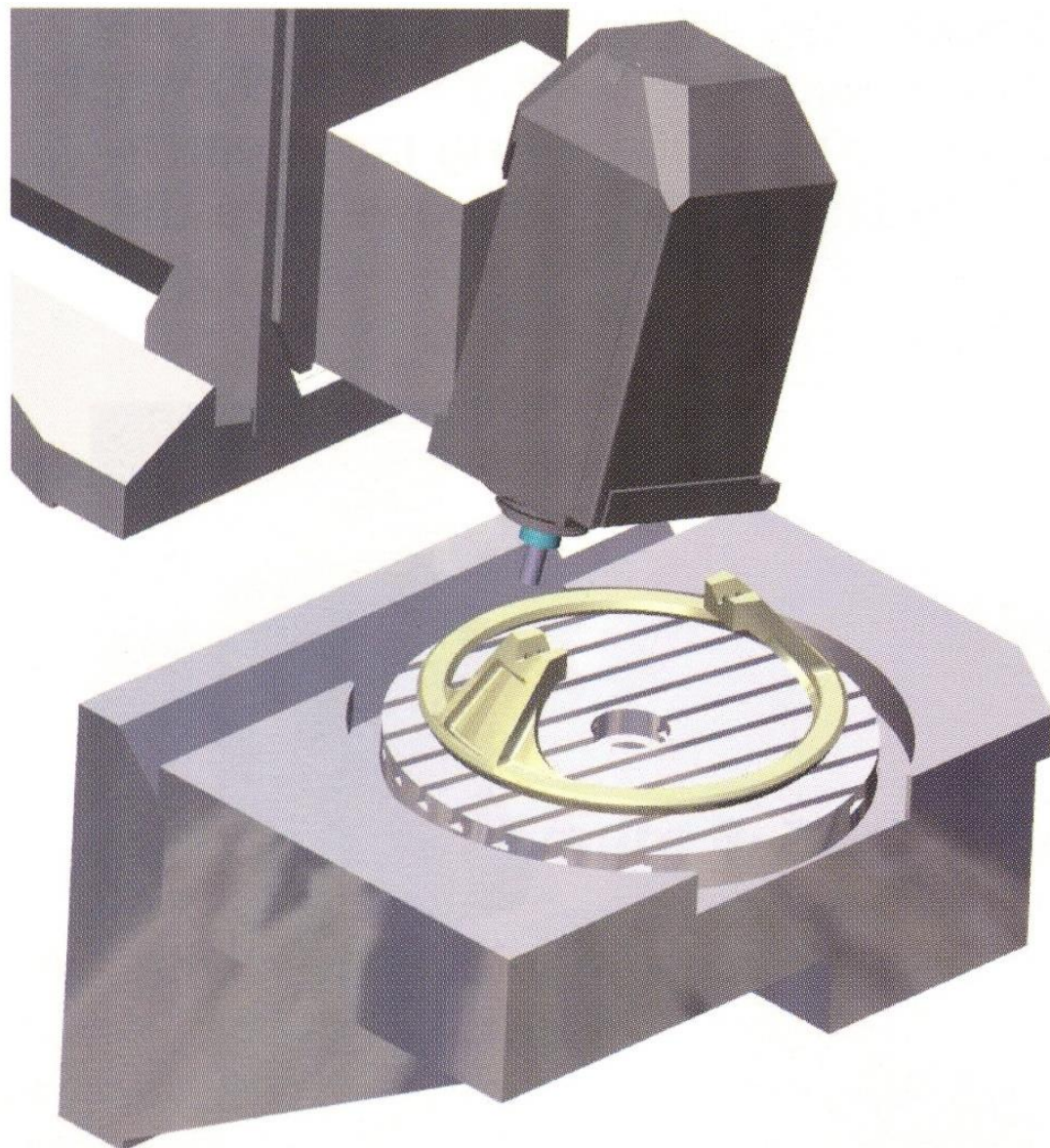


# Kinematika stůl- stůl- kolébka

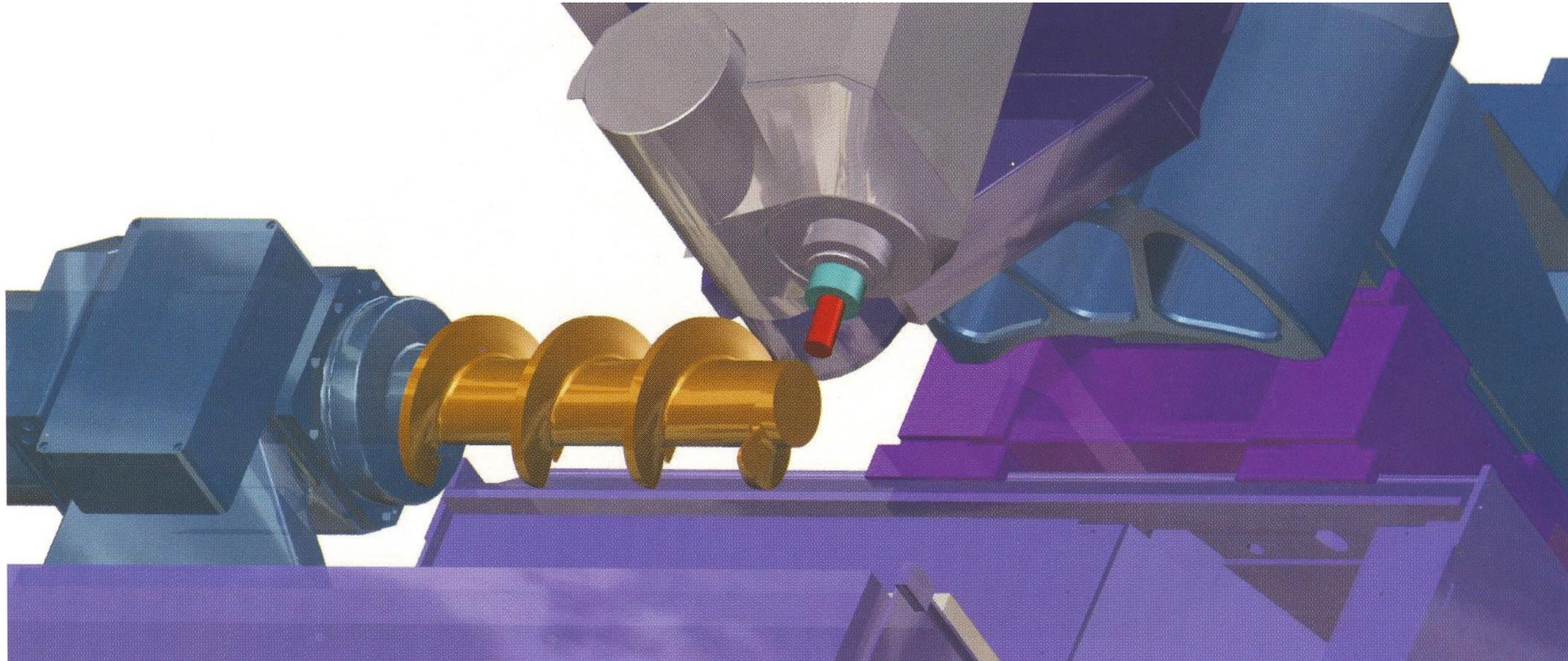


# Kinematika hlava-stůl

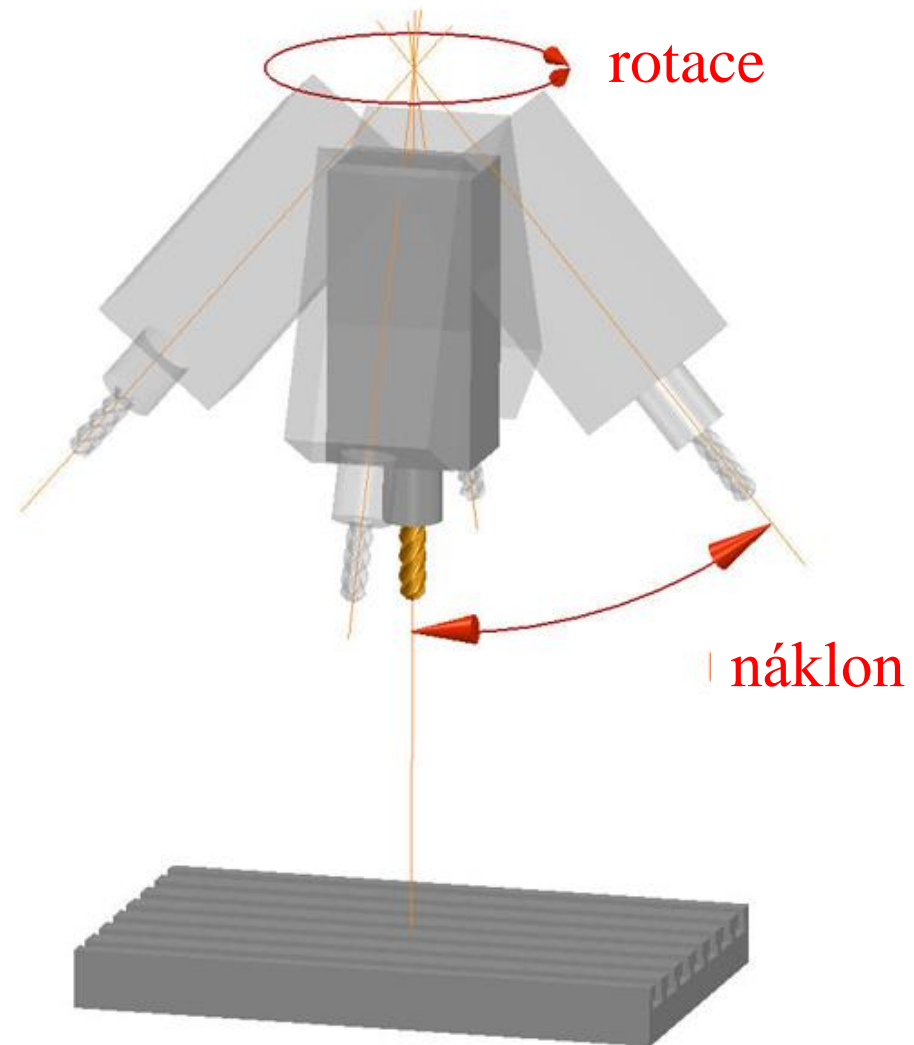




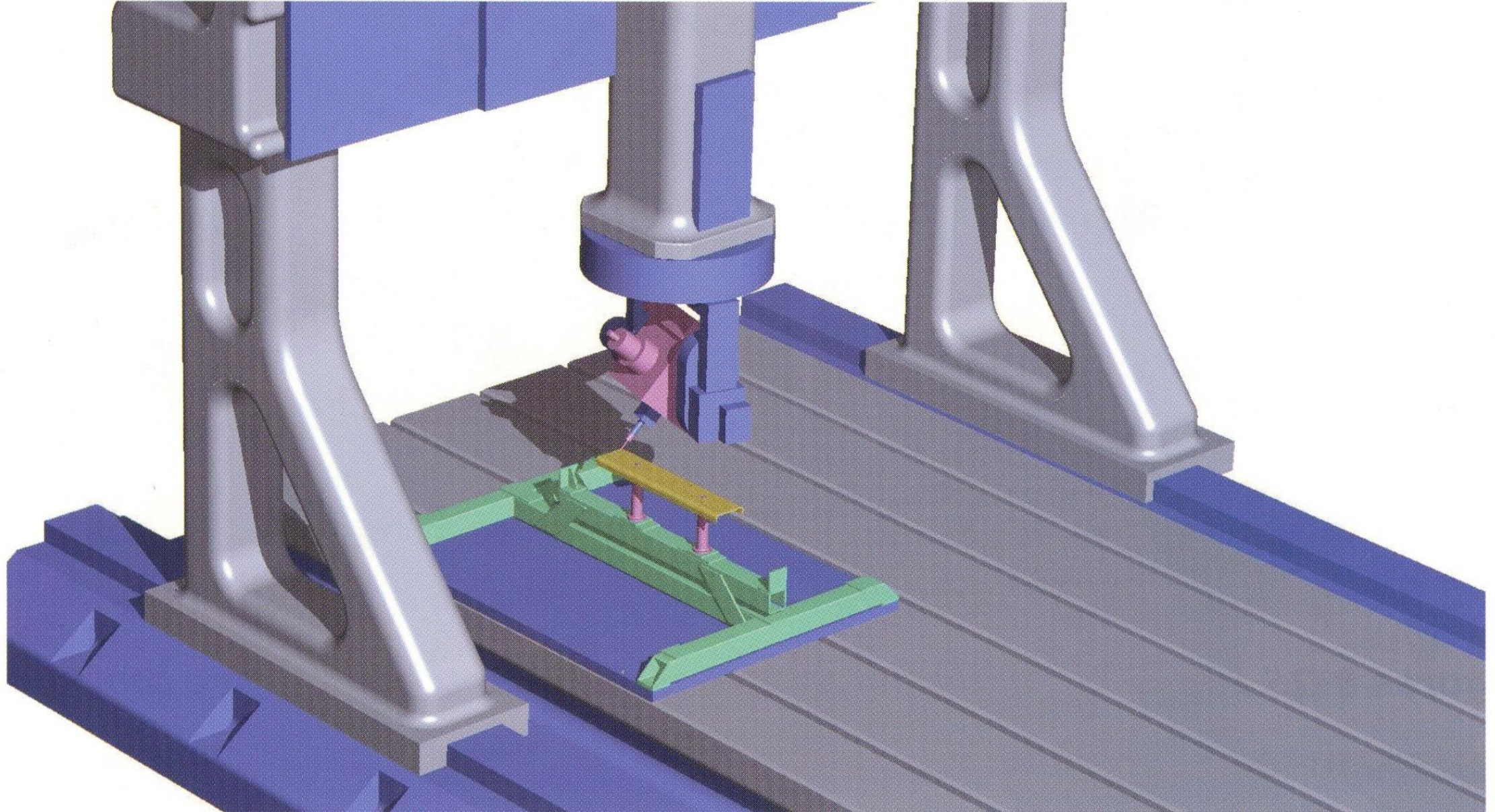
## Příklad obrábění dlouhých součástí částí (šnek pro vstřikovací lisy) s konfigurací hlava- stůl

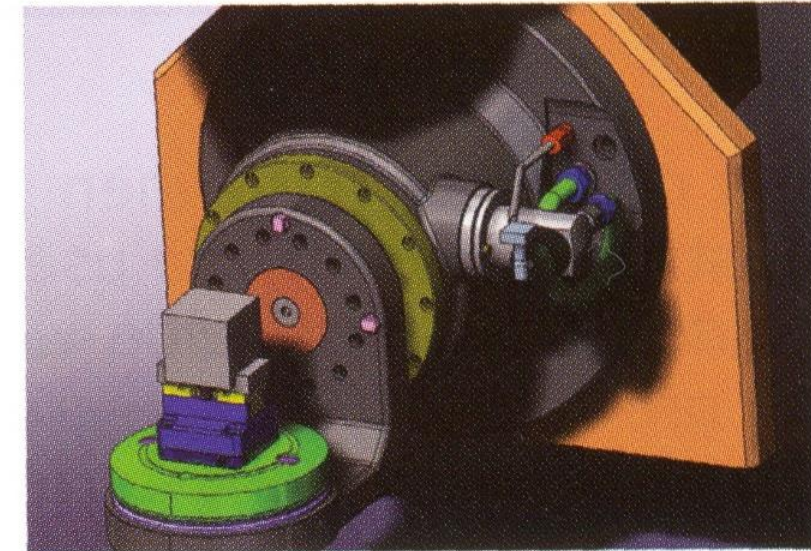
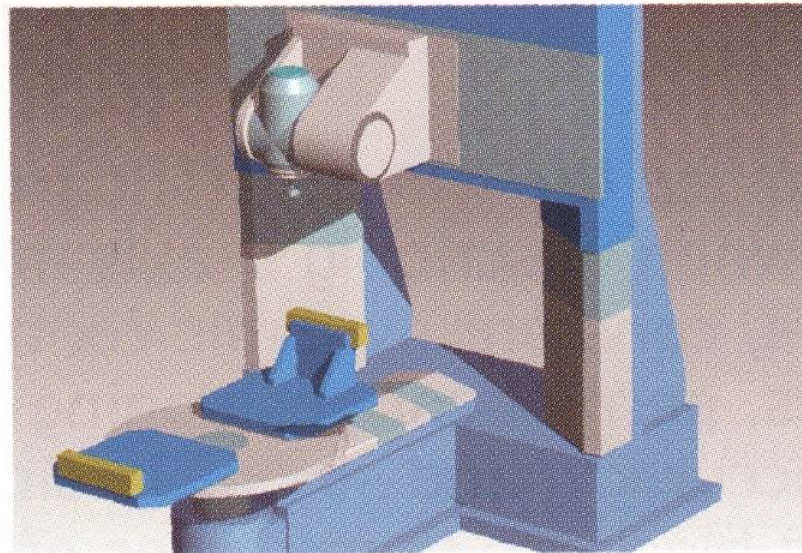
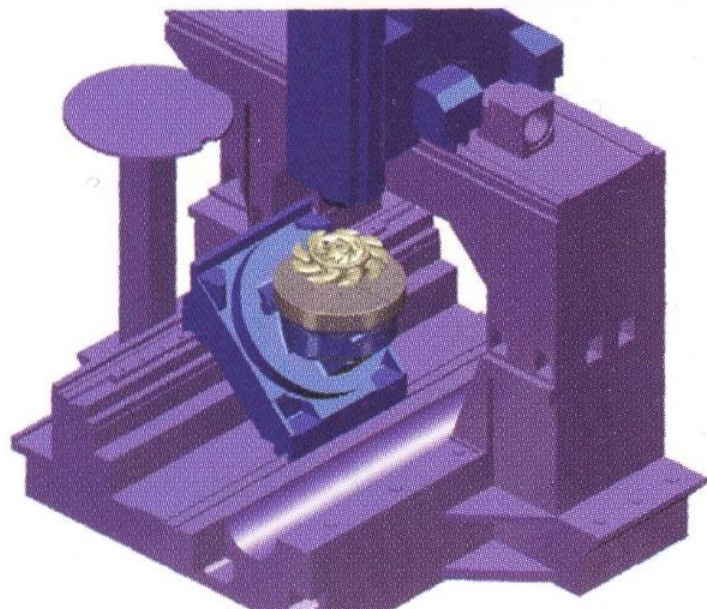
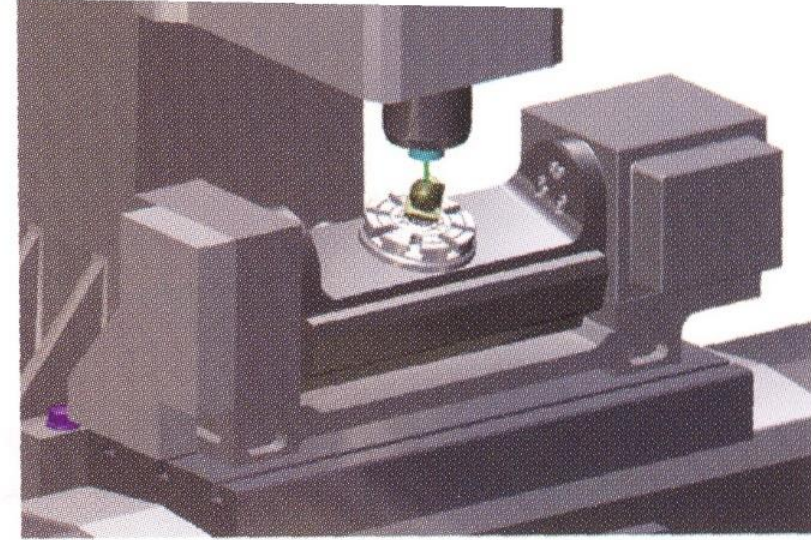
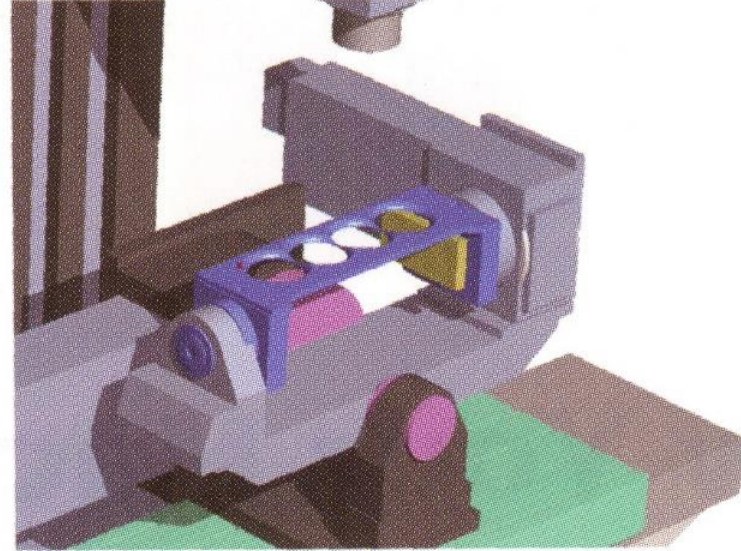
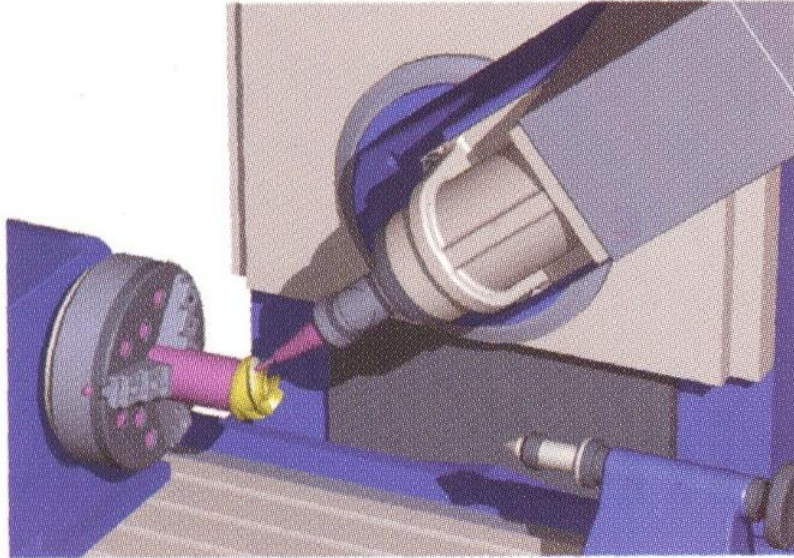


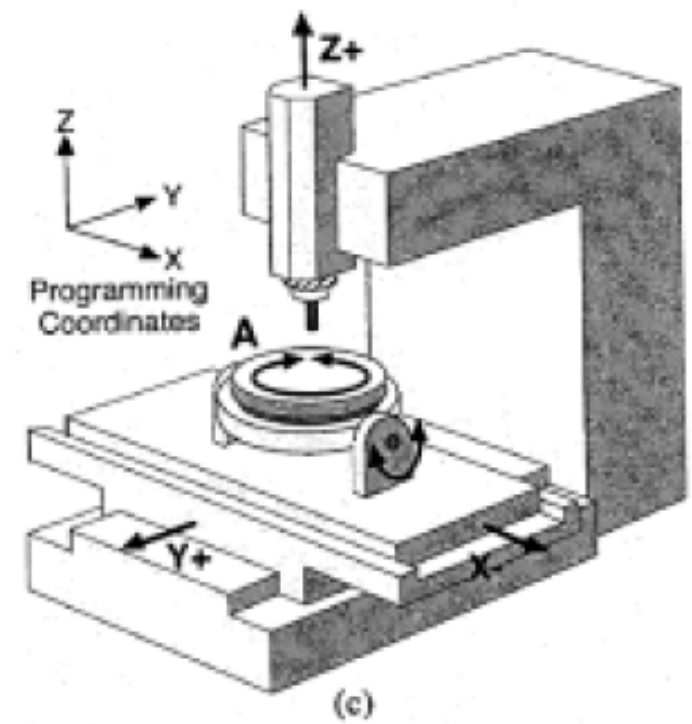
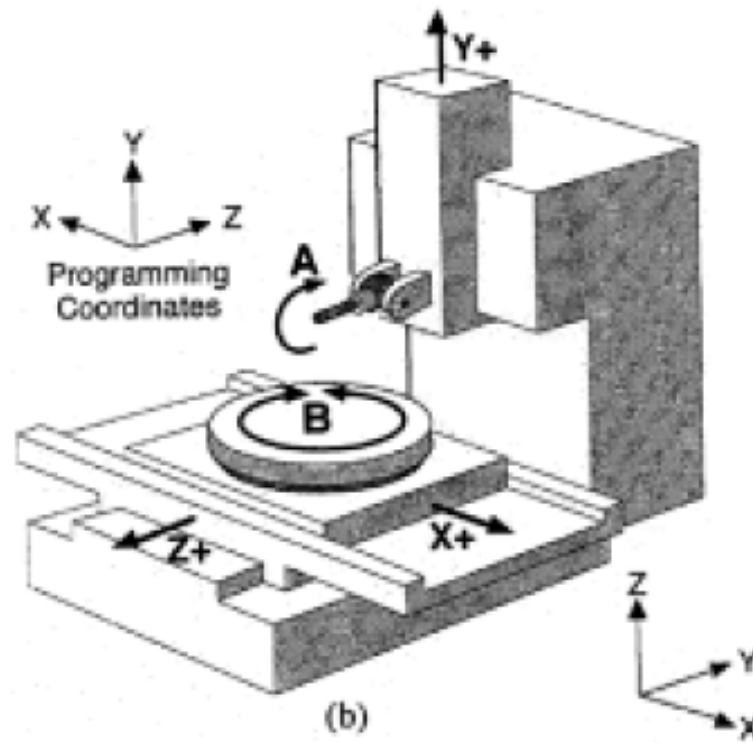
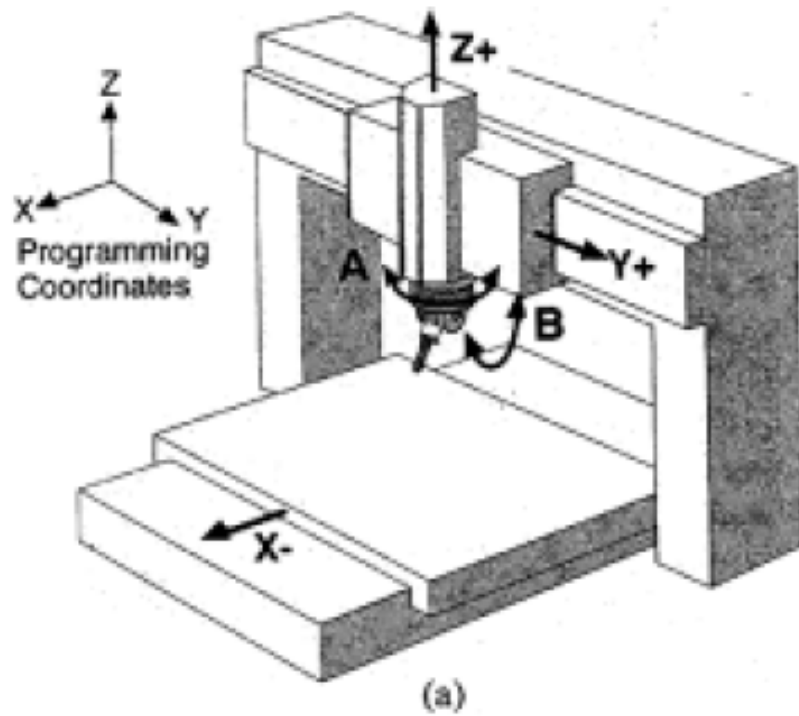
# Kinematika hlava- hlava



## Obrábění součástí na portálovém hlava-hlava obráběcím stroj, kombinace abrazivní vodní paprsek/frézování



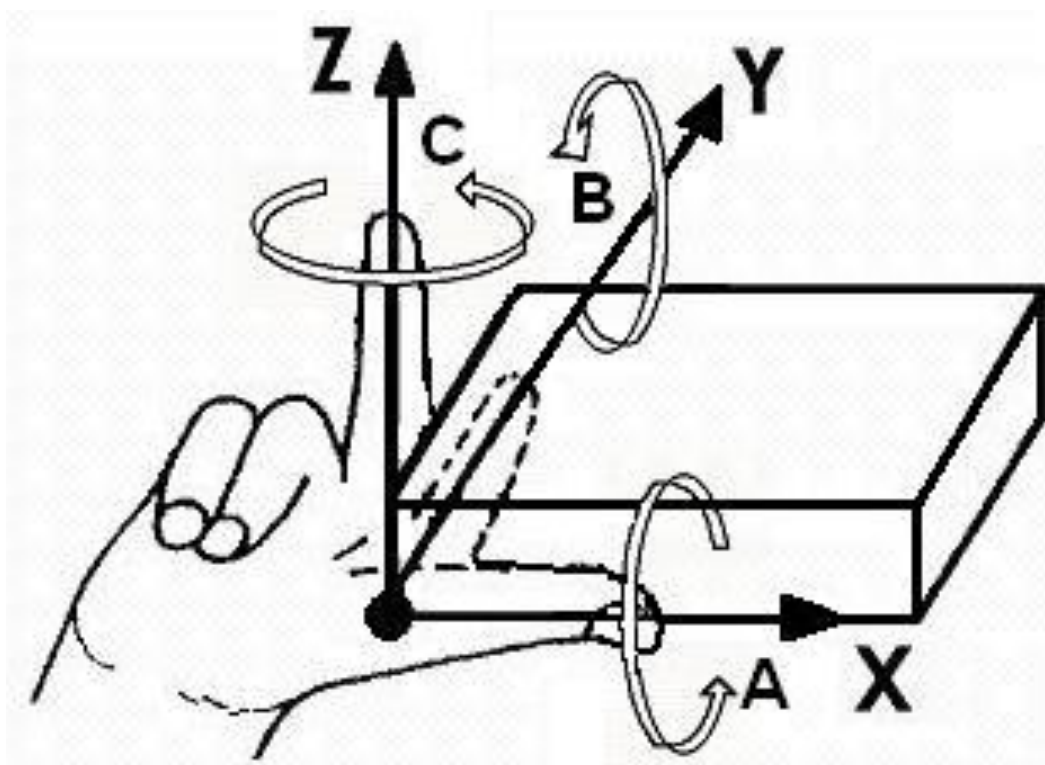




# Souřadnicový systém NC / CNC strojů

Popis os a pohybů určuje norma ČSN ISO 841 (ON 20 0604).

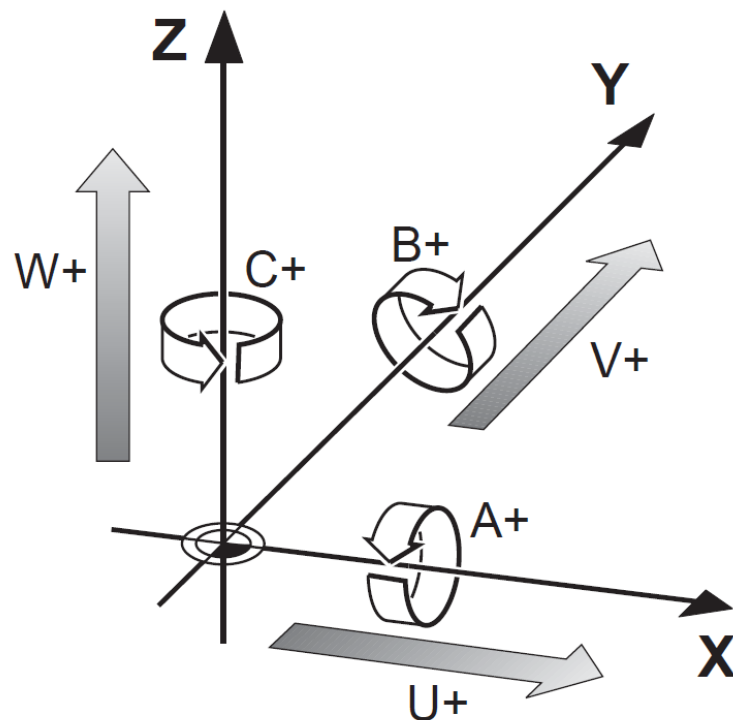
- vychází se z pravotočivého pravoúhlého souřadného systému,
- pravidla pravé ruky, (konečky prstů ukazují kladný smysl os)



**osa Z je osou  
hlavního vřetene**

**Červená**      **x**  
**Zelená**      **y**  
**Modrá**        **z**

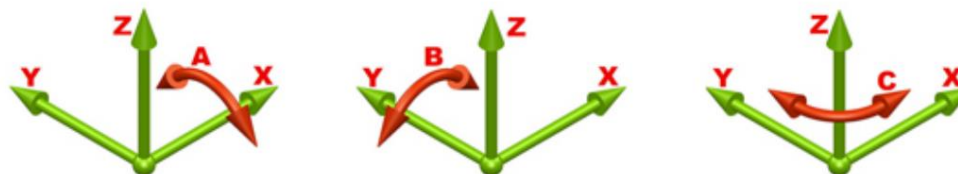
# Víceosé obrábění



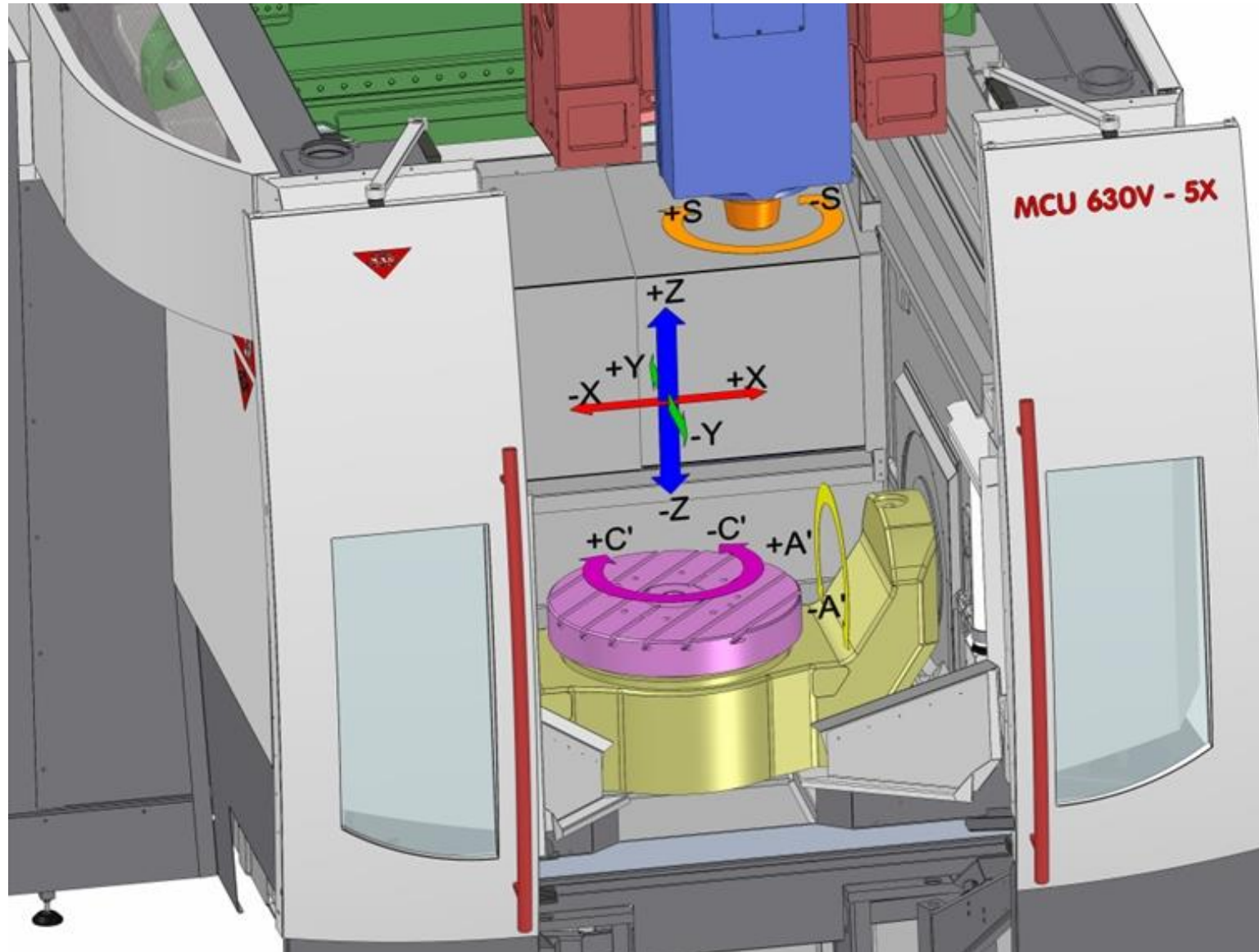
- X, Y a Z hlavní osy pravoúhlého souřadného systému.
- U, V a W přídatné osy, jsou rovnoběžné s hlavními osami.
- A, B a C rotační osy

## Rozdělení os

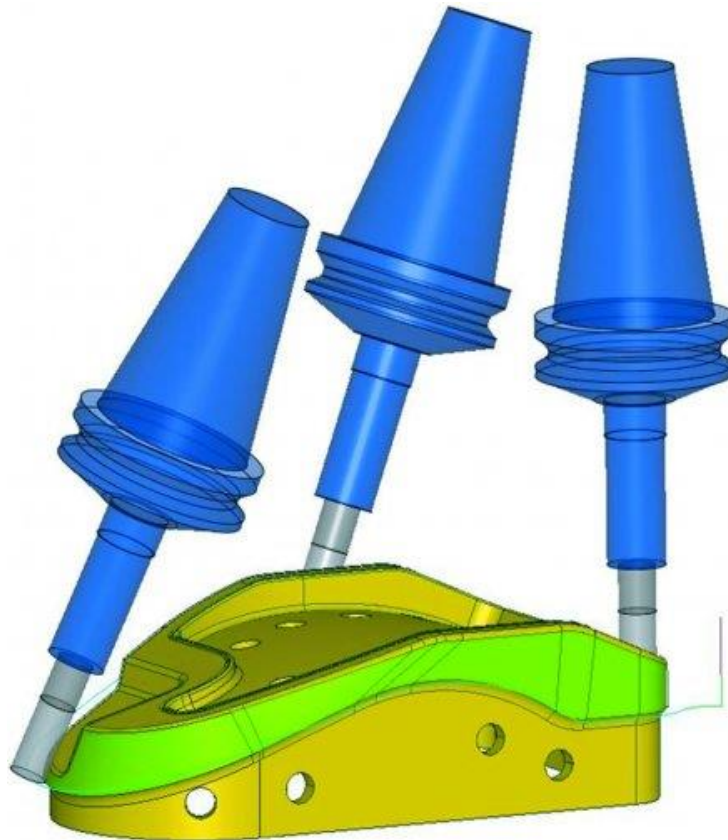
3-osé stroje mají jen tři hlavní lineární osy X, Y a Z. 5-osé stroje mají další dvě otočné osy, ve většině případů se tyto osy budou točit kolem jedné z hlavních os. Pojmenování těchto os se liší od výrobce k výrobcu, ale ve většině případů je pojmenování os následující:



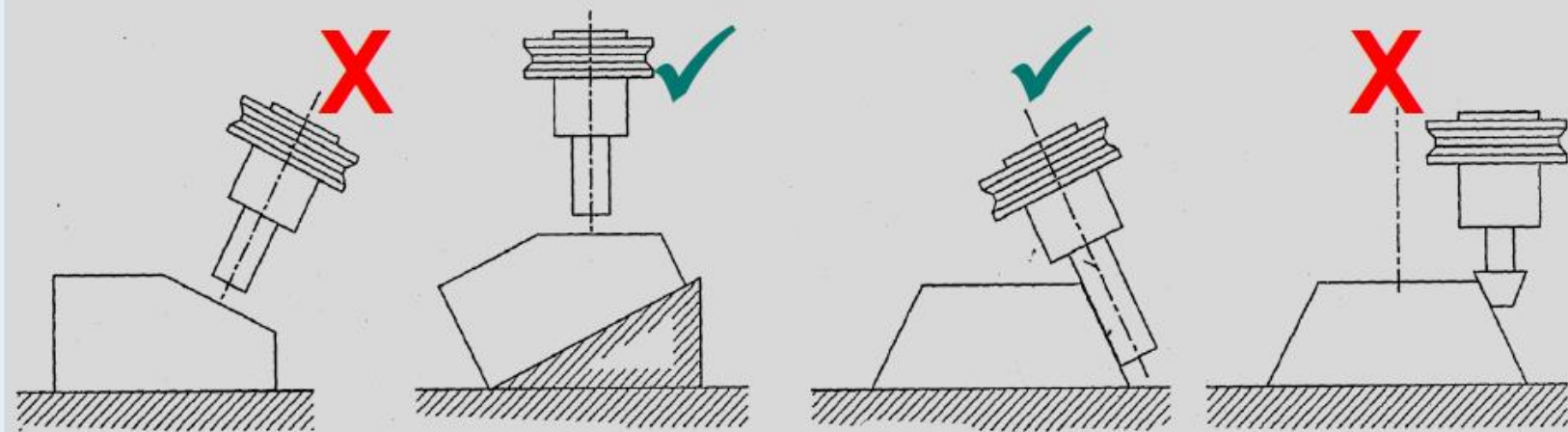
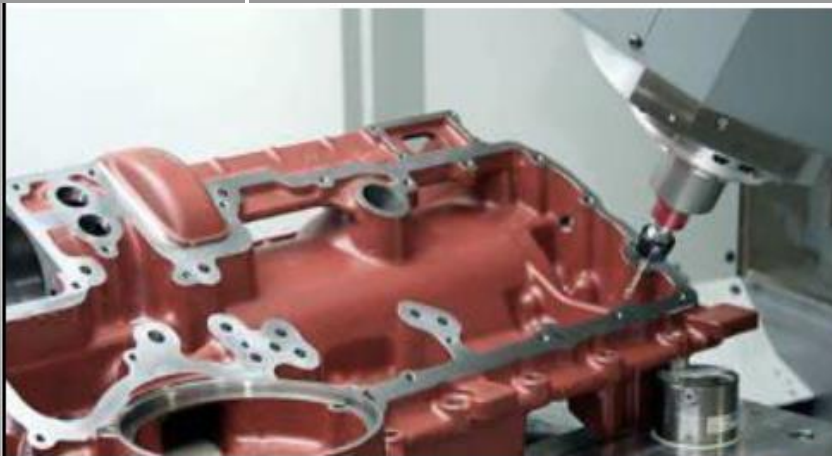
# Příklad: 5osé frézovací centrum MCU 630 – 5x



# Příklady 5-osého obrábění



# Příklady 5-osého obrábění



**Approached Tools – easier, faster and efficient**

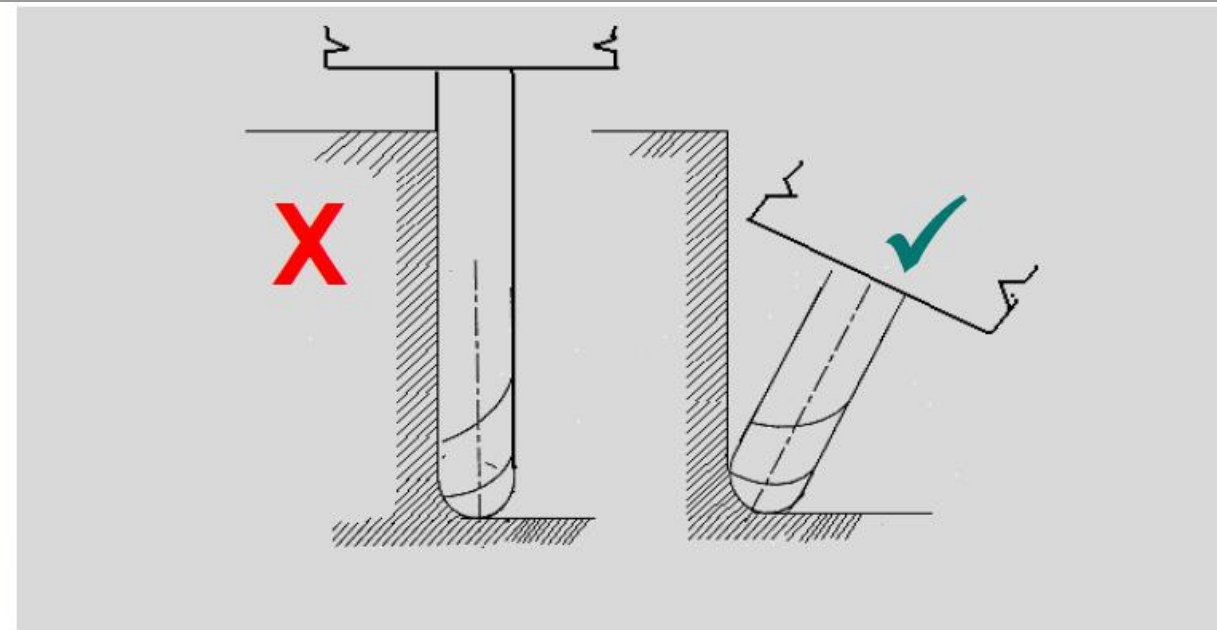
**No special, additional fixtures required**

- Cost and time savings
- Higher accuracy at the workpiece

**No special tools necessary**

- Less tools
- Lower costs for tools
- Shorter processing times

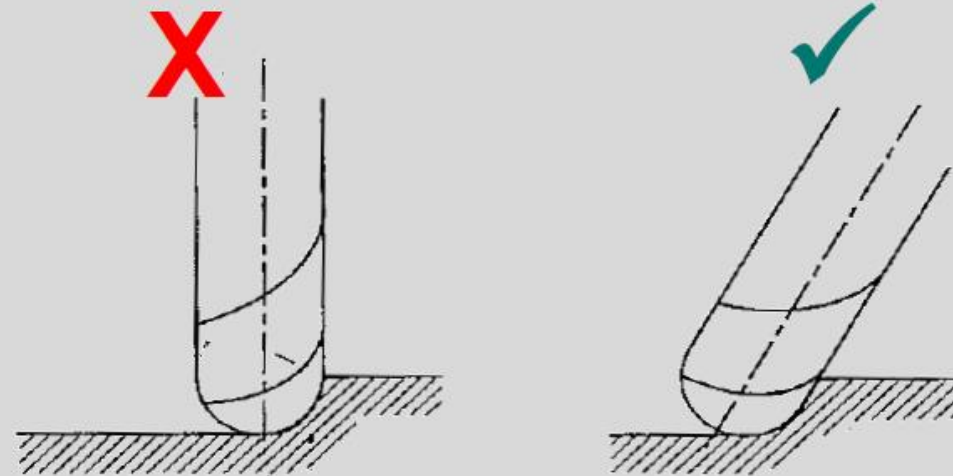
## Příklady 5-osého obrábění



### Reduction of tool lengths by approached tools

- Lower stress of tools and spindle bearings
- Higher accuracy at the workpiece
- Better surface quality
- Faster feed rates

## Příklady 5-osého obrábění

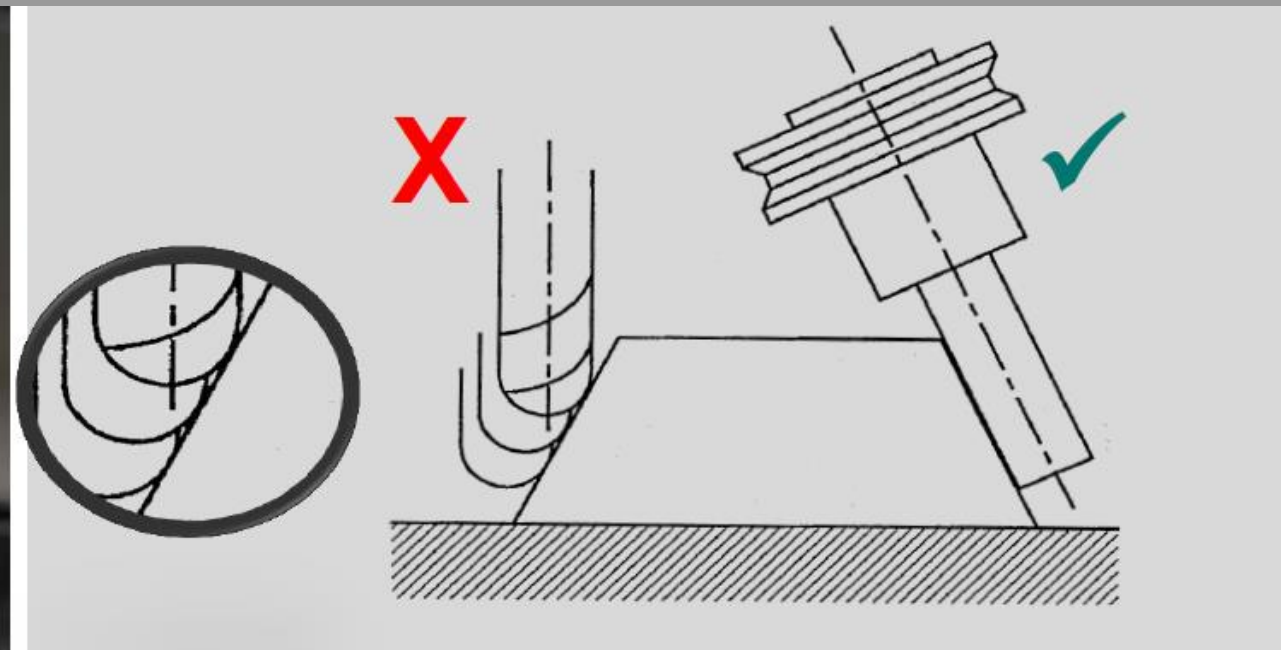


**Approached Tools –**  
easier, faster and efficient

**Avoiding cutting speed zero**

- higher tooling lifetimes
- reduction of tooling costs
- higher surface quality

## Příklady 5-osého obrábění



**Processing of the surface in one single cut instead of small incremental cuts**

- better surface quality
- shorter processing time
- less (finishing) rework

[https://transform.dmgmori.com/en/why-transformation-processintegration-millturn?utm\\_source=dmgmori\\_product&utm\\_medium=referral&utm\\_campaign=mx-2023](https://transform.dmgmori.com/en/why-transformation-processintegration-millturn?utm_source=dmgmori_product&utm_medium=referral&utm_campaign=mx-2023)

## Příklady 5-osého obrábění



Sterilization container  
// Medical Technology

### **5 sided machining**

Workpiece milled from a solid block in two clampings.

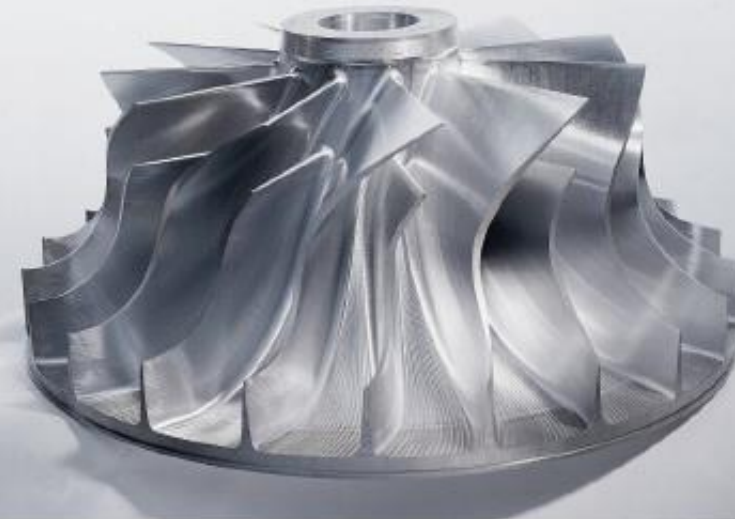


Hydraulic distributor  
// Motorsport

### **5 axis machining**

Workpiece milled from a solid block in two clampings.

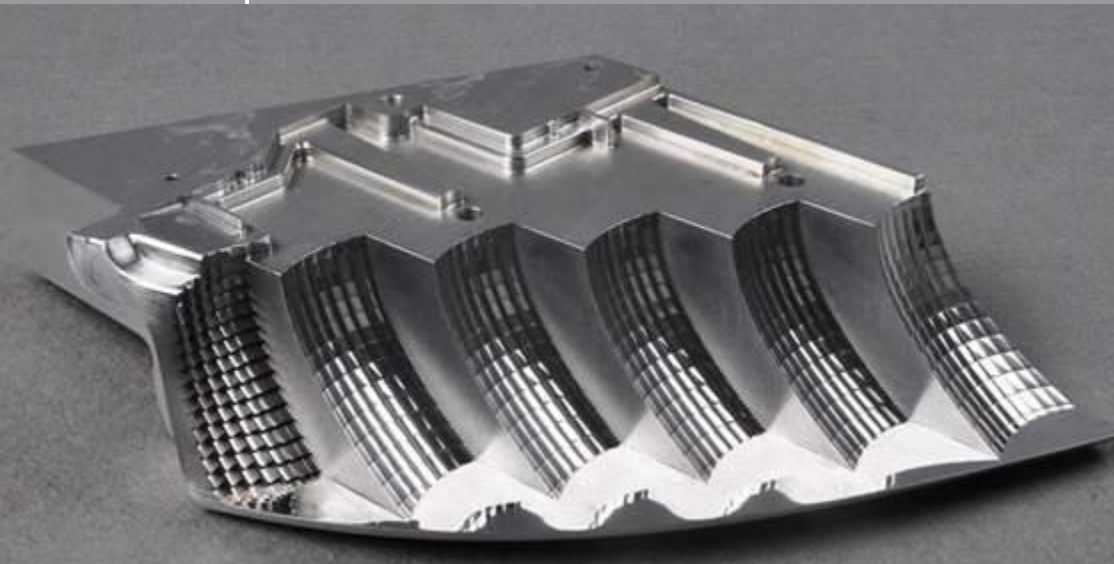
Workpiece requires different angulations.



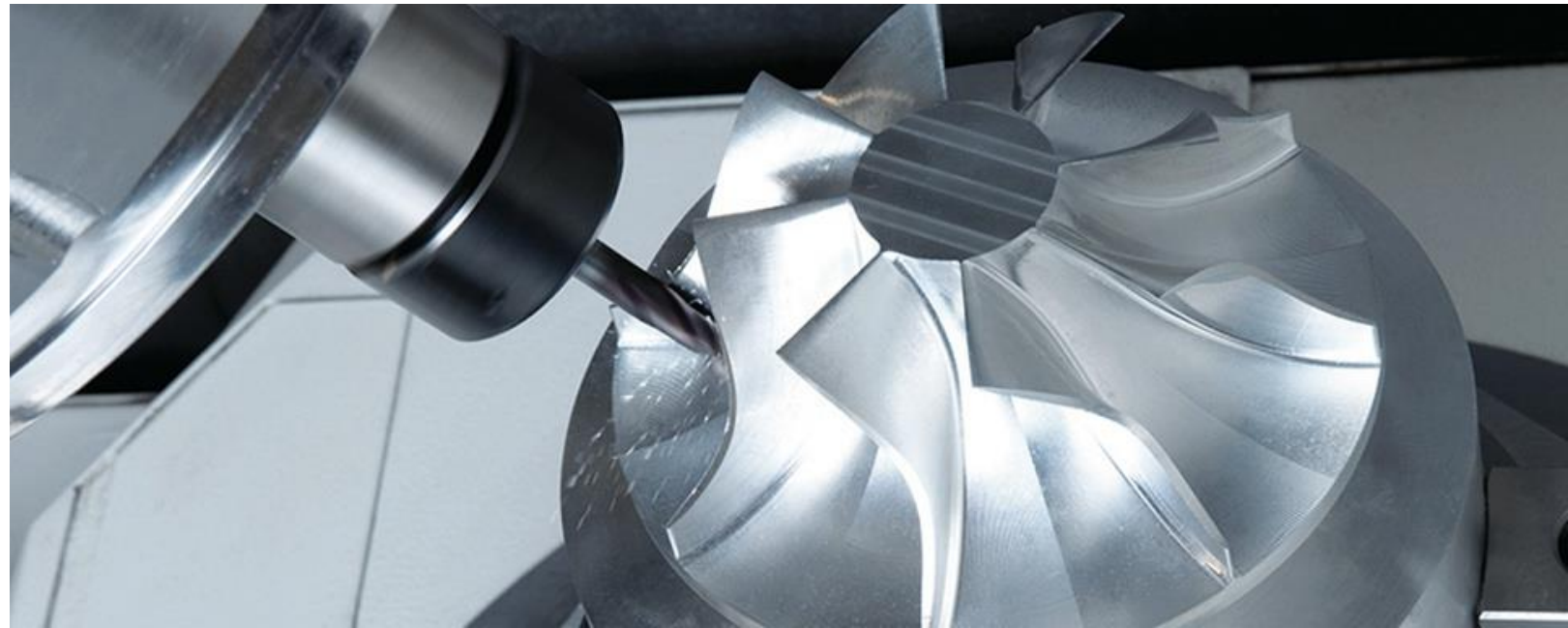
Impeller  
// Automotive Industry

### **5-axis simultaneous machining**

Blades require simultaneous machining



<https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/frezovani/petiose-frezovani>



## Základní výhody 5osého obrábění

- snížení času výroby,
- možnost komplexního obrobení dílu,
- možnost opracování dílců mnohem efektivněji, na menší počet upnutí obrobků – snížení možnosti chyby při seřizování – zvýšení přesnosti,
- možnost použití kratších nástrojů pro docílení produktivnějšího obrábění a zvýšení trvanlivosti nástrojů,
- zlepšení funkčních vlastností obrobeného povrchu (parametrů drsnosti povrchu, mikrotvrdosti, zpevnění povrchové vrstvy, atd.) díky obrábění mimo osový střed nástroje,
- zvýšení přesnosti výroby,
- možnost využití vyšších řezných a posuvových rychlostí.

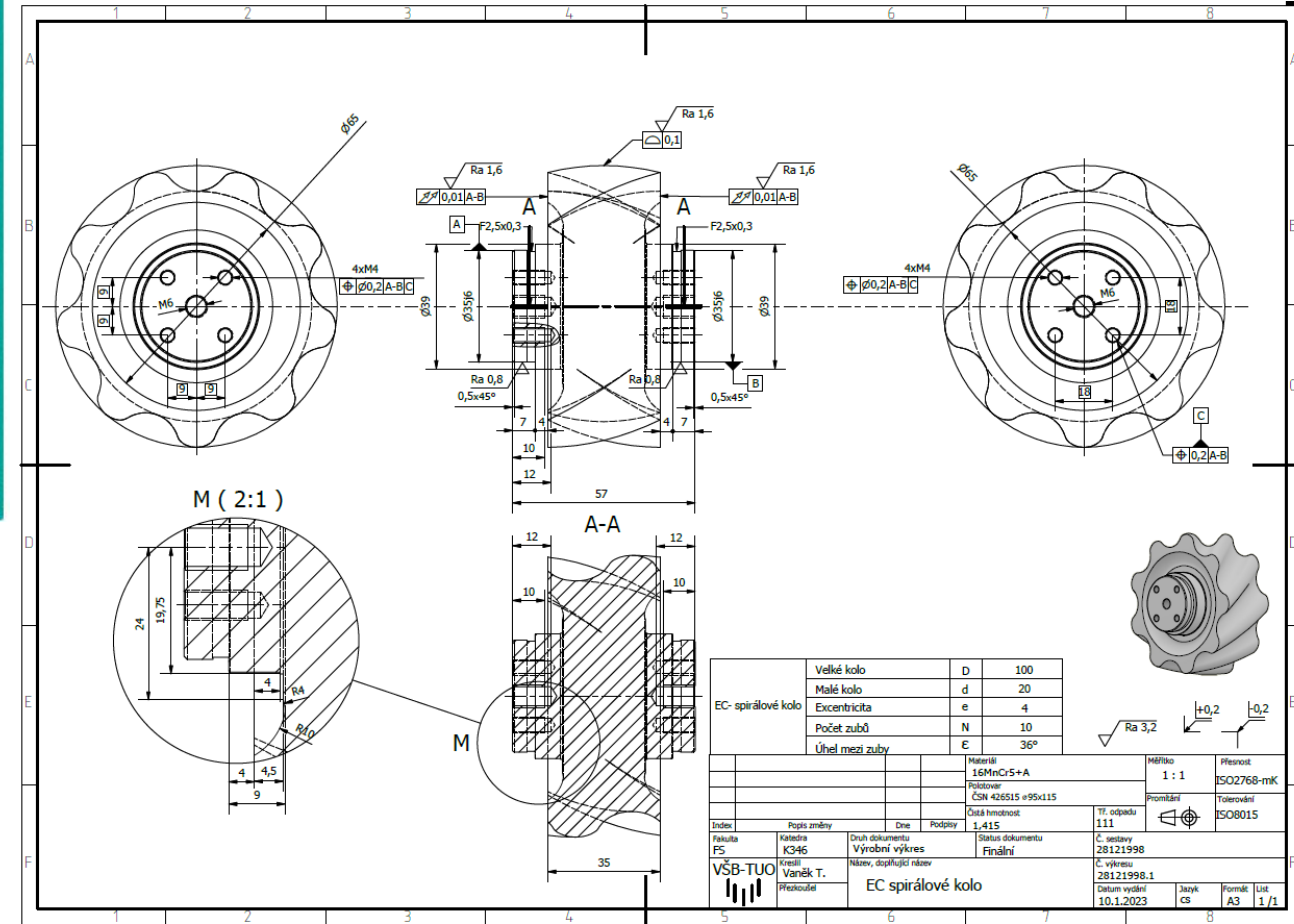
### Při využití 5-osého plynulého obrábění lze zmiňované výhody dále doplnit o:

- možnost obrobení velmi komplikovaných tvarů,
- odstranění v procesu výroby nekonvenční technologie,
- možnost naklonění nástroje pro předcházení kolizí mezi nástrojem, držákem nástroje a obrobkem,
- možnost naklonění nástroje pro docílení lepšího přístupu k obráběné ploše (markantní zejména pro obrábění hlubokých částí forem a zápustek),
- možnost tvorby konstantního průřezu třísky,
- použití mnohem efektivnějších strategií obráběné v porovnání s 3osým obráběním.

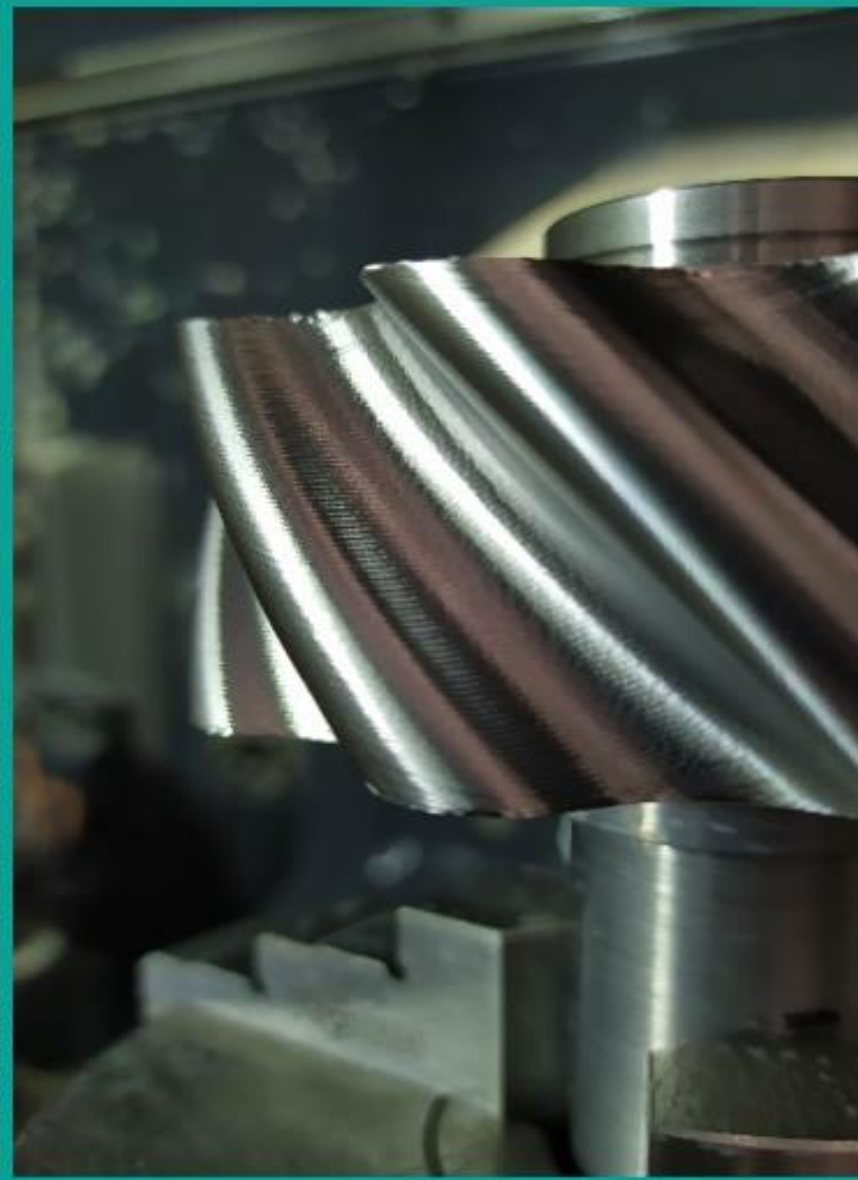
## Nevýhody použití 5osého plynulého obrábění

- vyšší pořizovací náklady (cena obráběcího centra, vybavení stroje, CAD/CAM systém, atd.)
- vyšší nároky na programátora a obsluhu stroje,
- problematická vizualizace a větší možnost kolizí,
- vyšší náklady na opravu stroje a jeho příslušenství při možné kolizi.

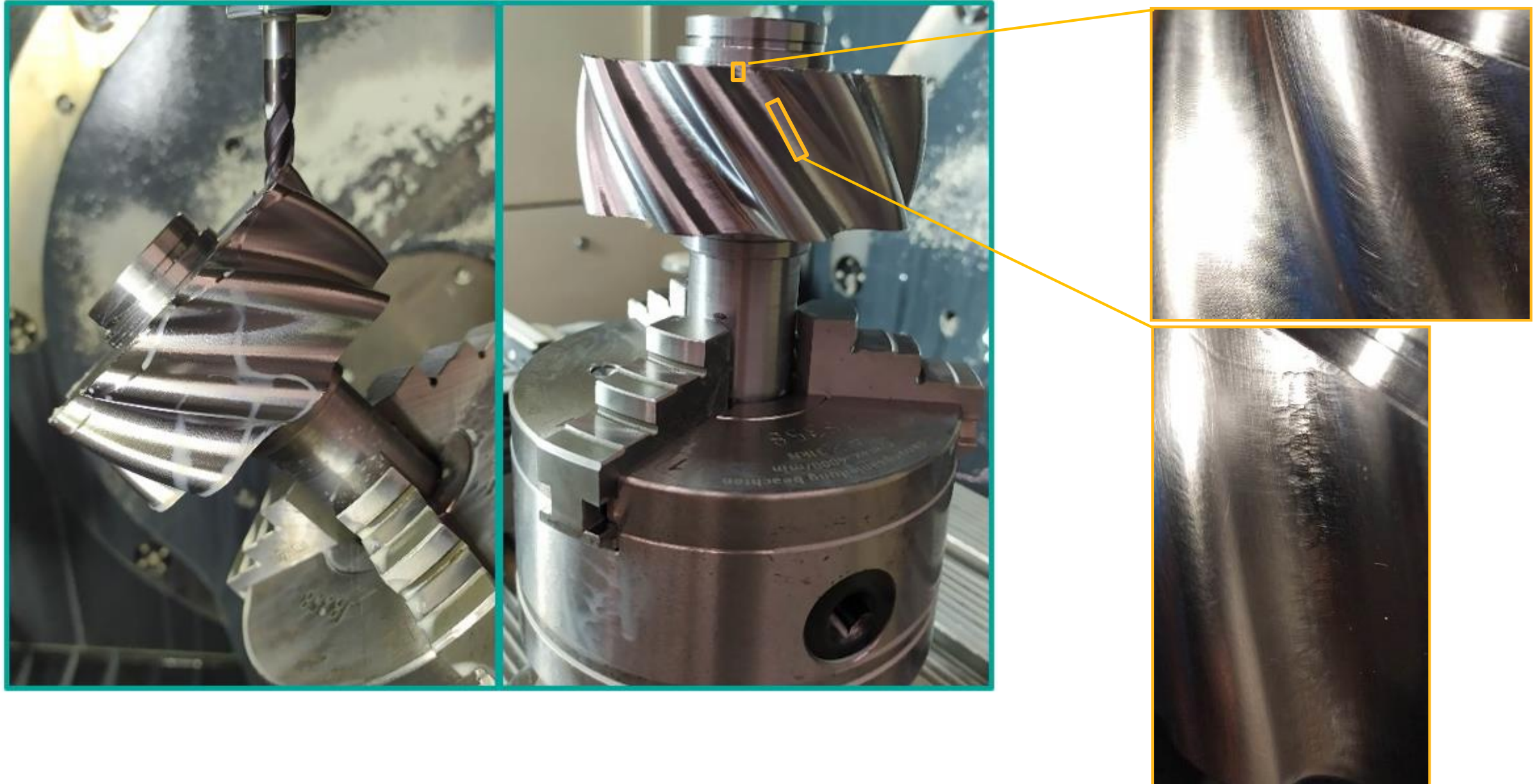
# Hrubování tvarové plochy (DMU 50, fréza Ø 8 mm, z4)

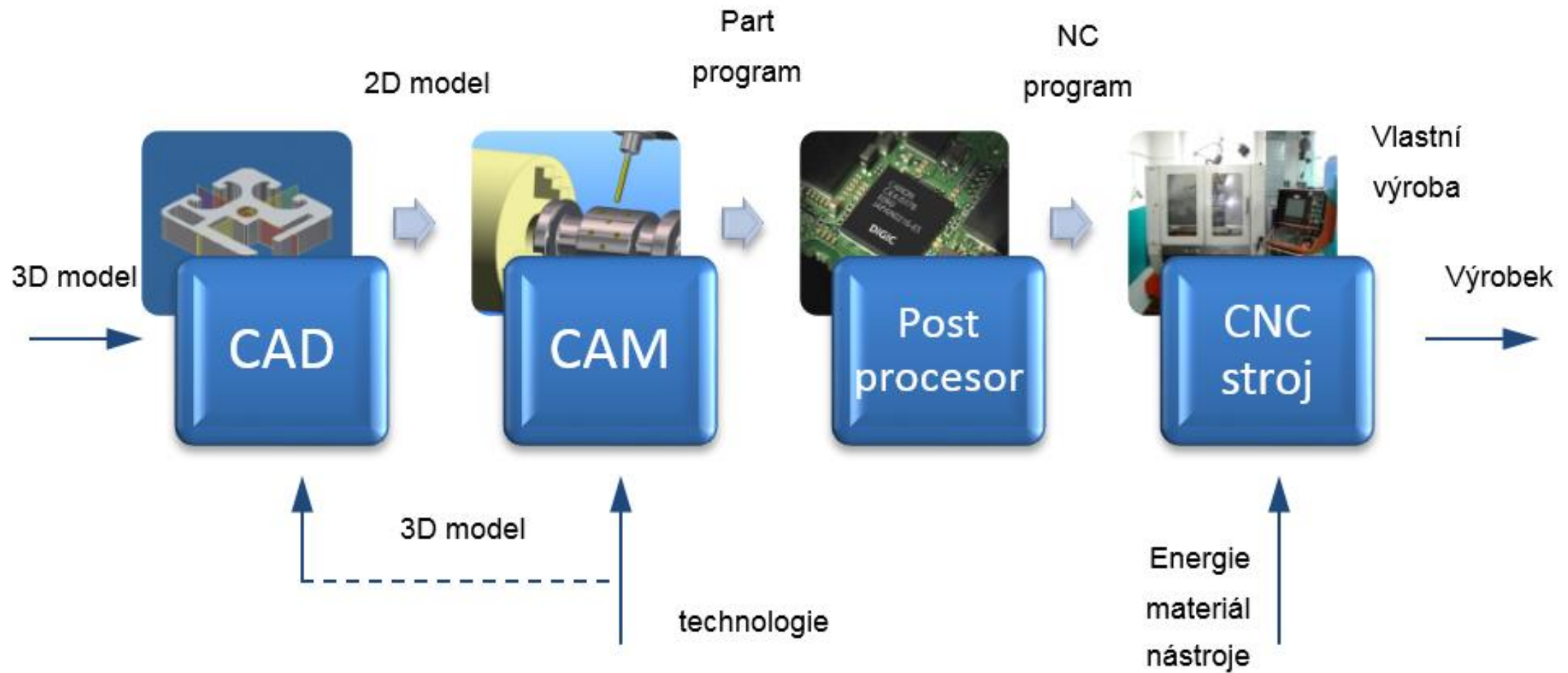


## Předdokončení (kulová fréza $\varnothing 8$ mm a 4 zuby)

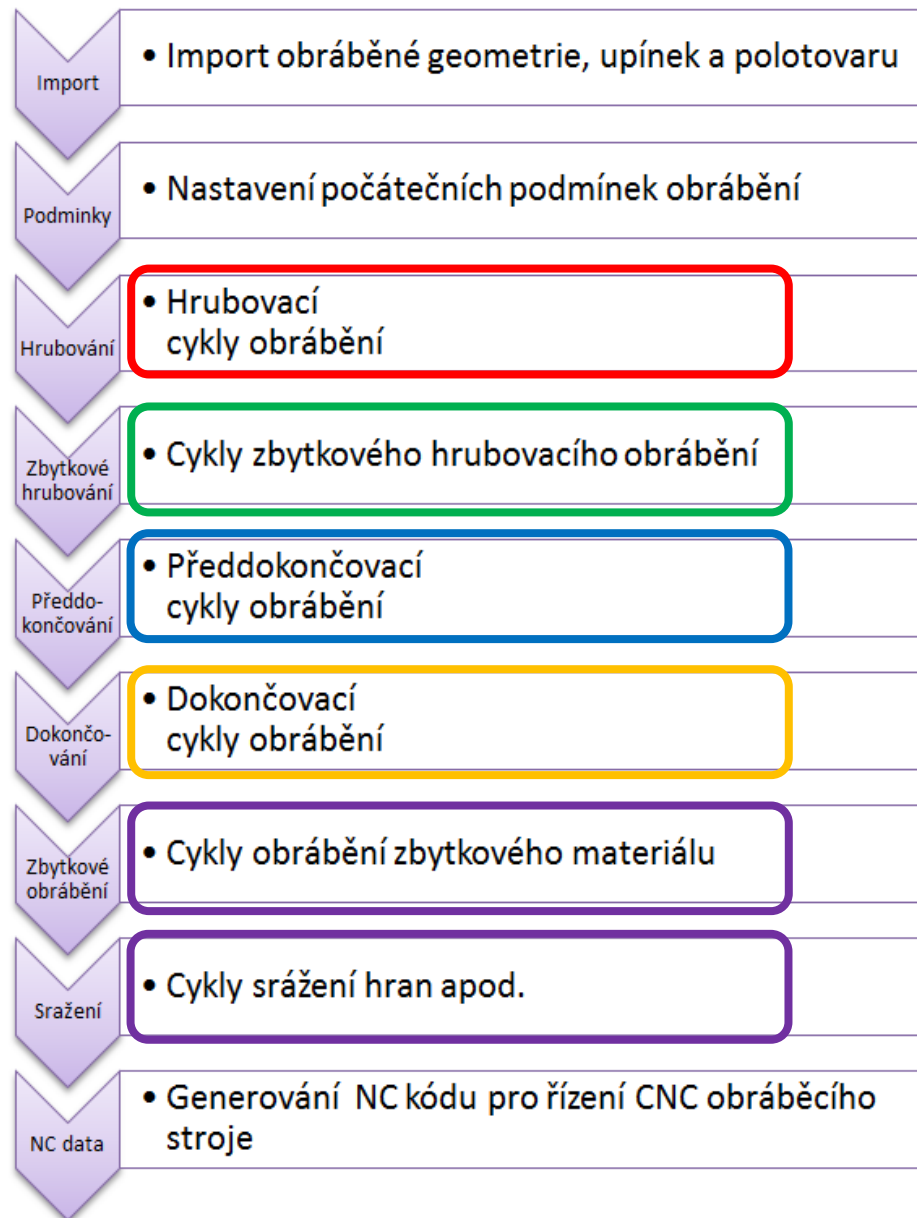


## Dokončení (kulová D4)





# Obecný postup při tvorbě pracovního postupu v CAD/CAM systému



## Příklad:

The screenshot shows the 'Správce operací' (Operation Manager) window in a CAM software. The title bar indicates 'Dráhy nástrojů | Tělesa | Art'. The main area displays a list of operations for a program titled 'frezování tvárniku: polotovaz kvádr, upnout mezi upínky č.1'. The operations are listed as follows:

- 1 - Plochy-vysokorychlostní (Optimalizované hrubování)** - [WCS: PŮDORYS] - Parameters: #1 - M25.00 VÁLCOVÁ - 25. FLAT ENDMILL
- 2 - Plochy-vysokorychlostní (Zbytkové hrubování)** - [WCS: PŮDORYS] - [Trovač] - Parameters: #2 - M16.00 RÁDIUSOVÁ - 16. BULL ENDMILL 2. RAD
- 3 - Plochy-vysokorychlostní (Z-průřezy)** - [WCS: PŮDORYS] - [Trovač] - Parameters: #3 - M14.00 KULOVÁ - 14. BALL ENDMILL
- 4 - Plochy-vysokorychlostní (Řádkovací dokončovací průchody)** - [WCS: PŮDORYS] - [Trovač] - Parameters: #3 - M14.00 KULOVÁ - 14. BALL ENDMILL
- 5 - Plochy-vysokorychlostní (Dokončovací Z-průřezy)** - [WCS: PŮDORYS] - [Trovač] - Parameters: #4 - M10.00 KULOVÁ - 10. BALL ENDMILL
- 6 - Plochy-vysokorychlostní (Řádkovací dokončovací průchody)** - [WCS: PŮDORYS] - [Trovač] - Parameters: #3 - M14.00 KULOVÁ - 14. BALL ENDMILL

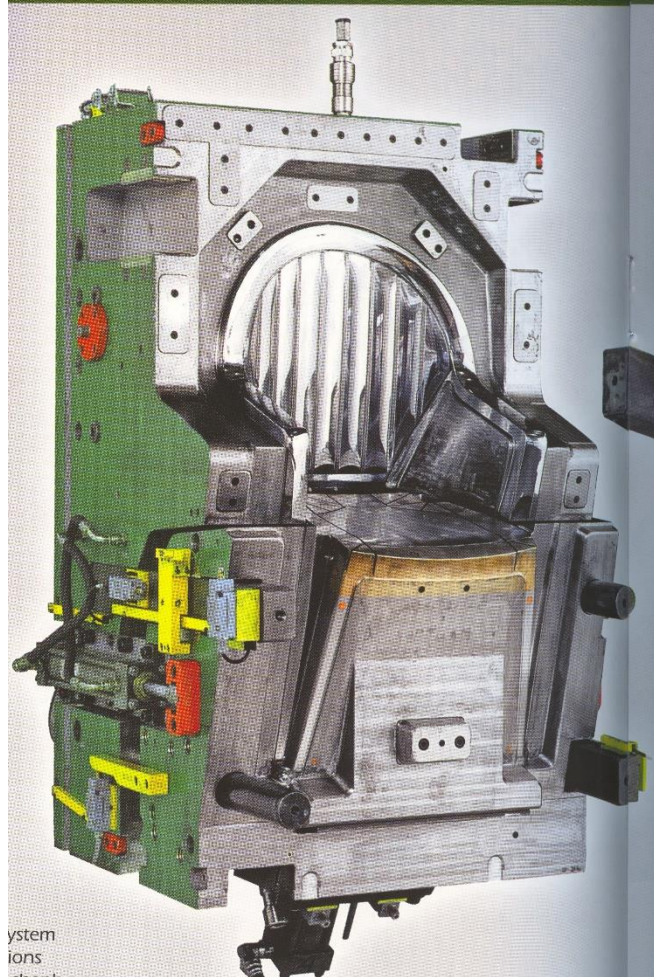
Below the list, there are several empty boxes, and at the bottom, a box labeled 'a další' (and more).

# Technologická příprava výroby – CAD – CAM systémů

↓  
obrábění



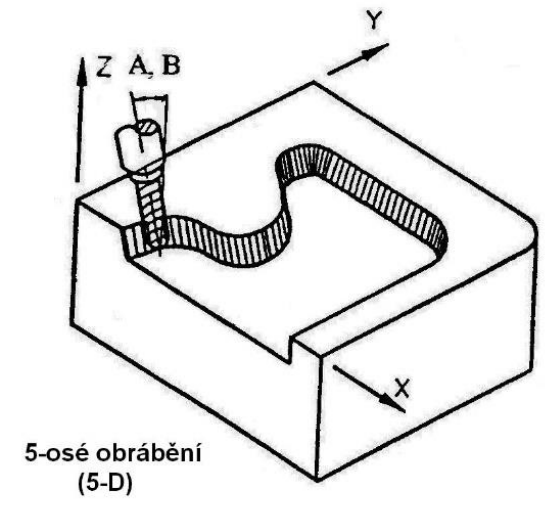
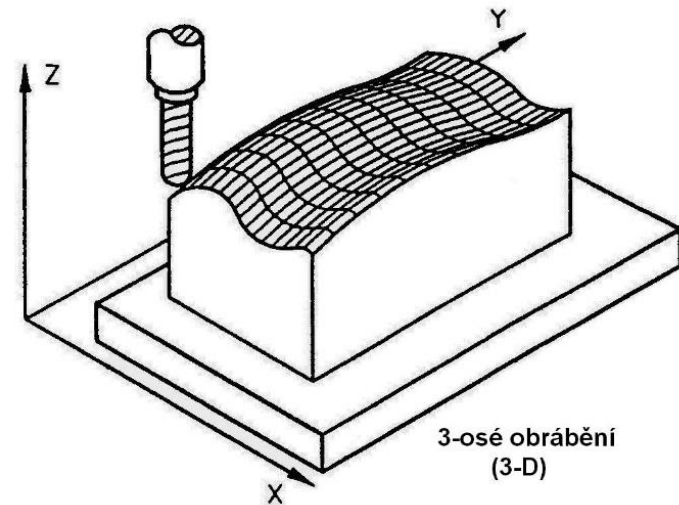
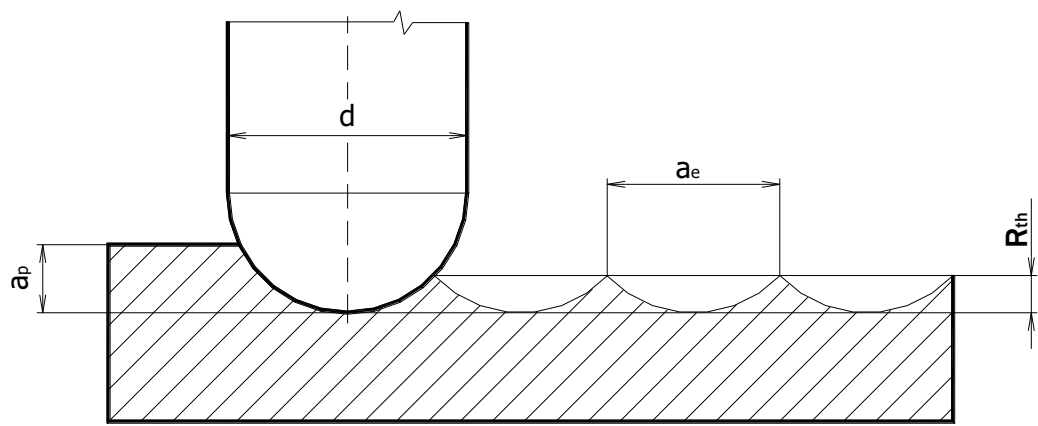
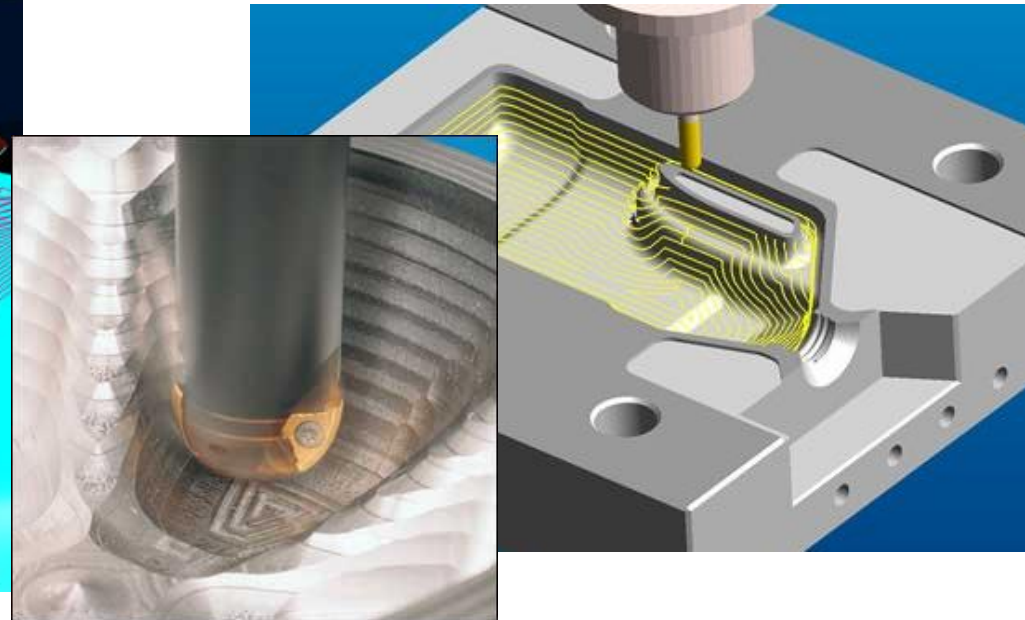
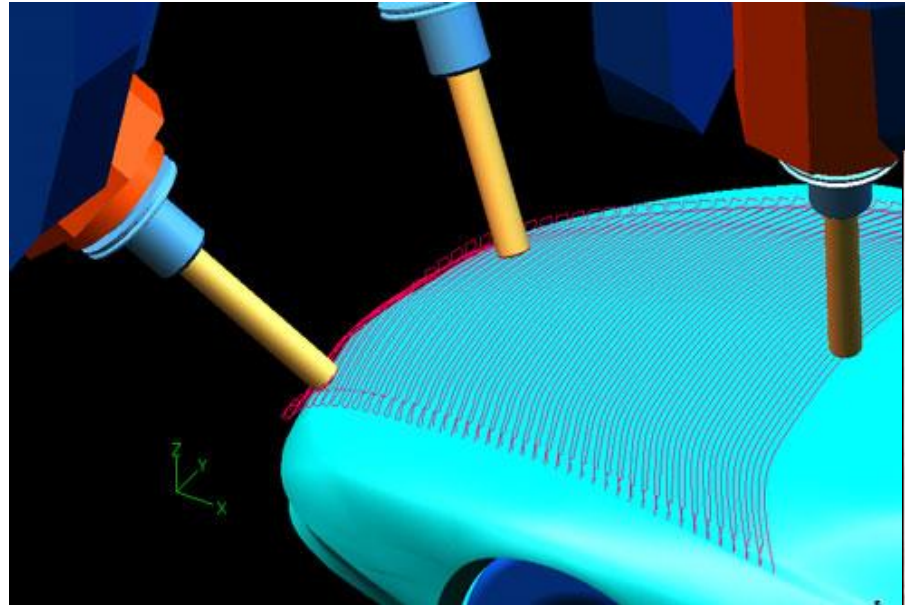
→ vstřikování plastu do formy



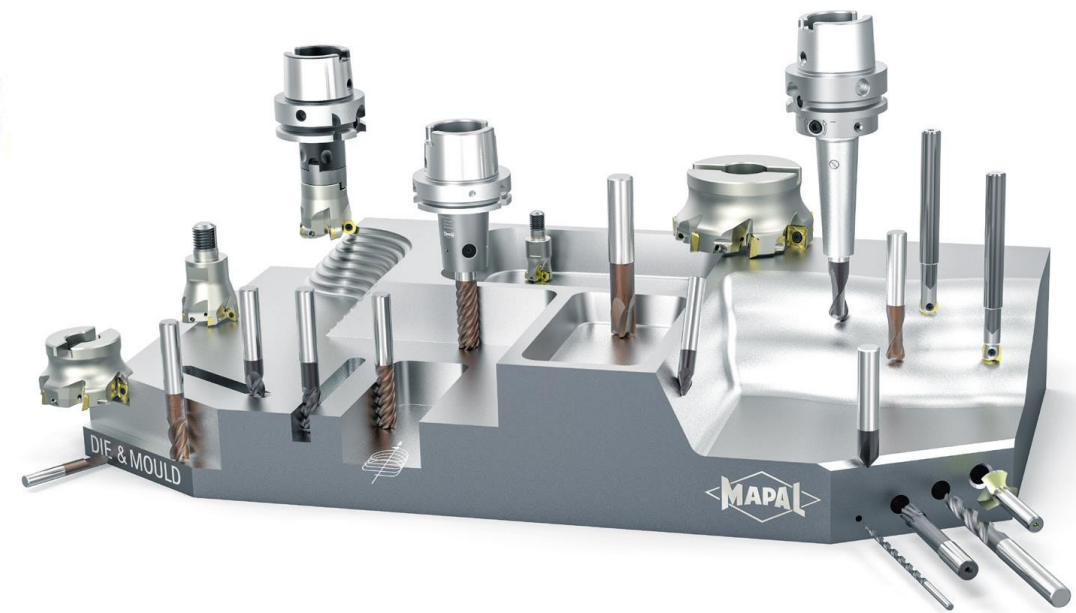
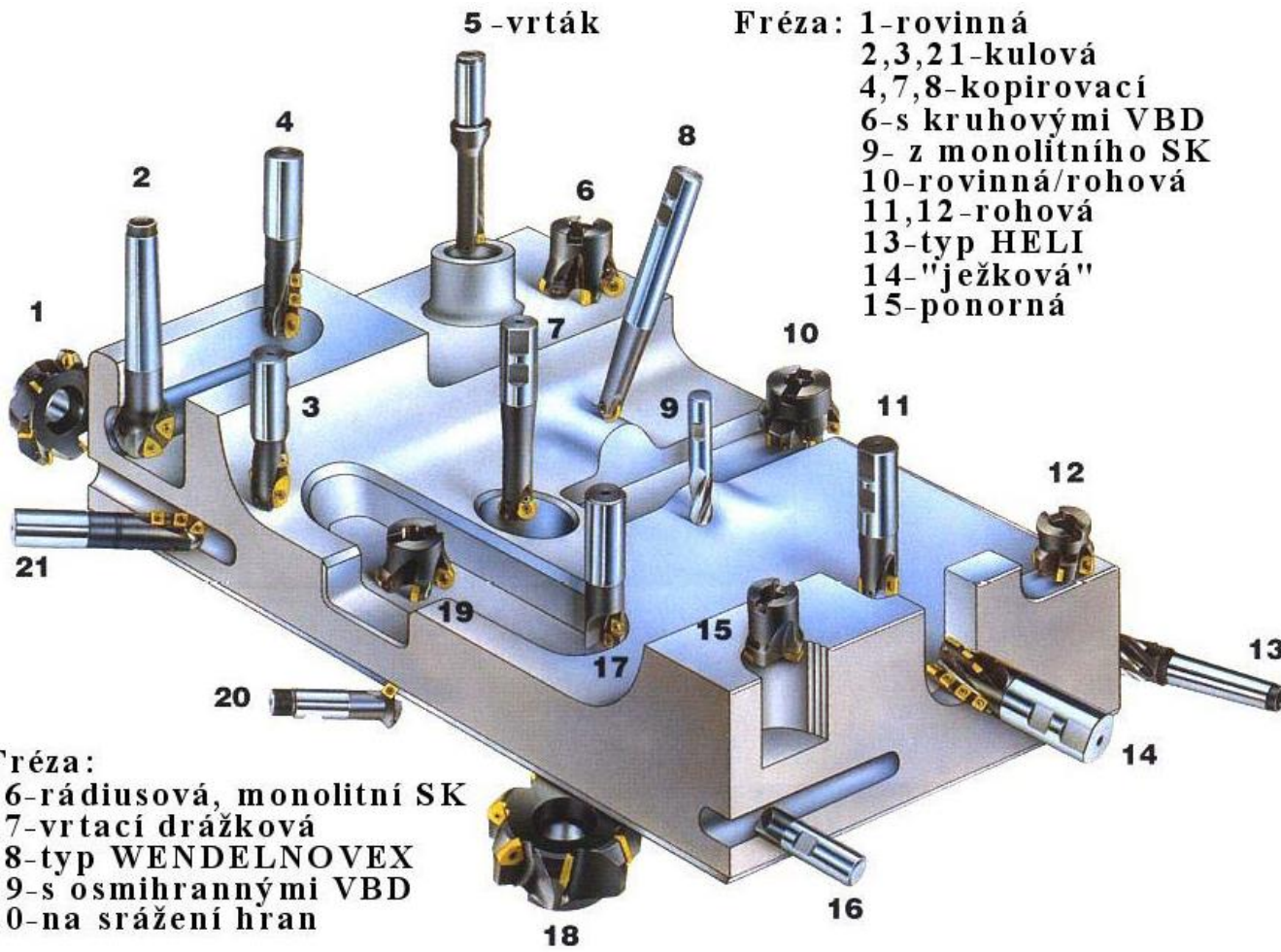
→ výrobek

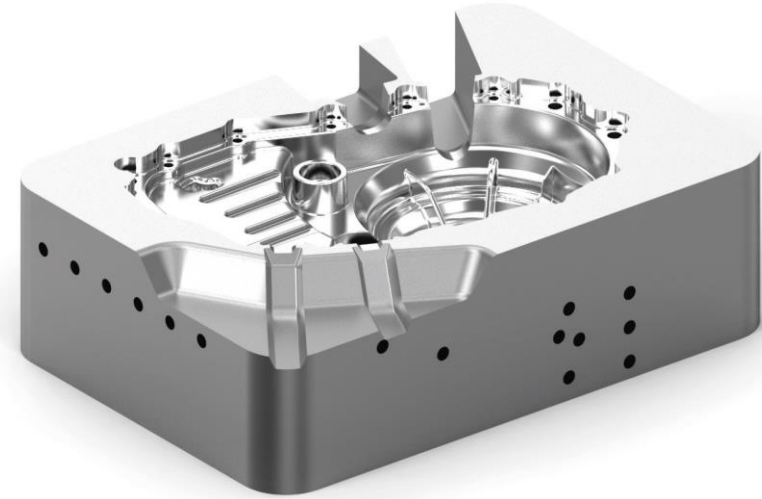
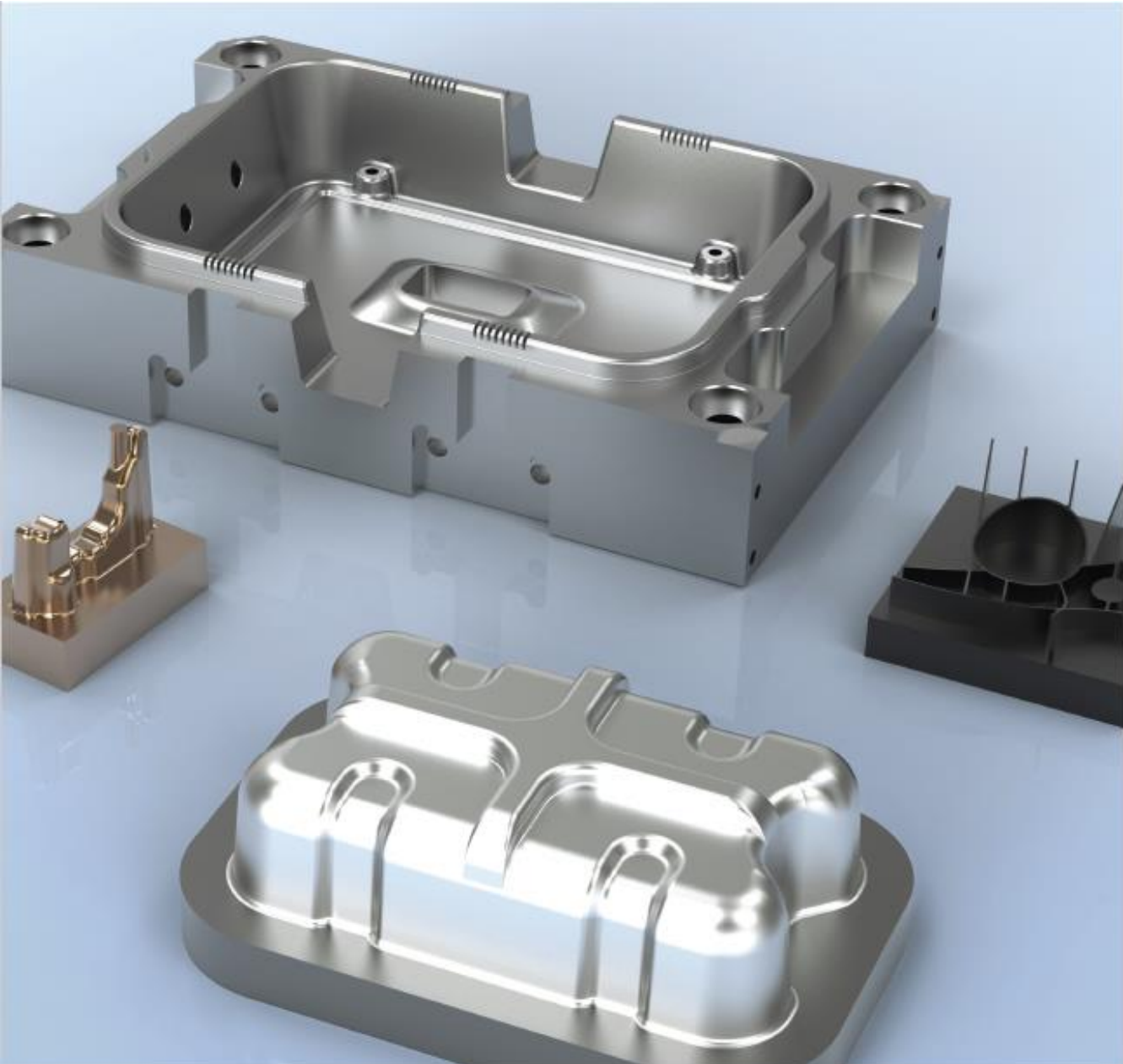


# Standardní obrábění – 3osé a 5osé



# Frézovací nástroje





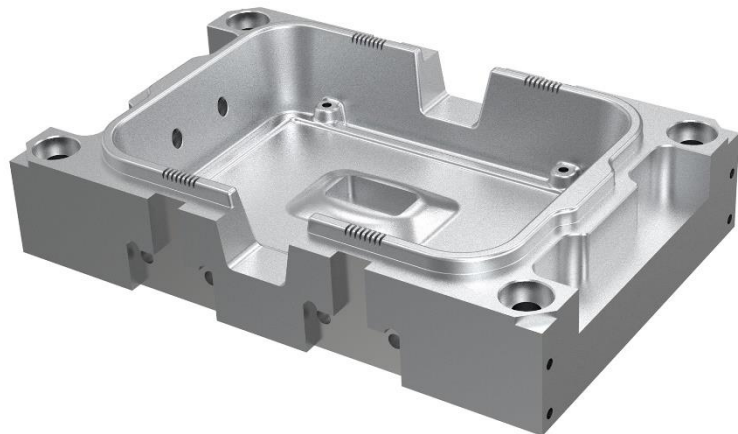
# Components and workpiece material

## Steel and hardened steel

Parts that become more and more complex with increasingly deep cavities as well as moulded and reinforcement ribs in plastic injection moulds and pressure die casting moulds necessitate the use of extra long tools with diameters that can be very small. Complex part geometries and various material characteristics place the highest demands on machining and tool life.

### Application examples:

- Plastic injection mould
- Pressure die casting mould

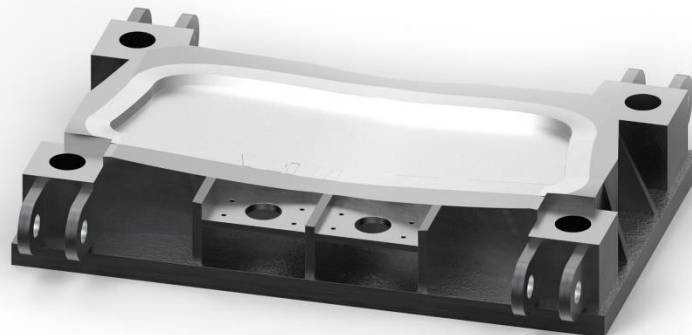


## Cast iron

For designing, engineering and constructing medium- and large-sized cold forming tools, cast iron is often used due to material properties such as compressive strength and easy machinability. The main components here are mould plates and mould inserts. Here, MAPAL has a lot of experience with milling (2D and 3D) and drilling operations (drilling, reaming, thread cutting).

### Application examples:

- Mould plates
- Mould inserts

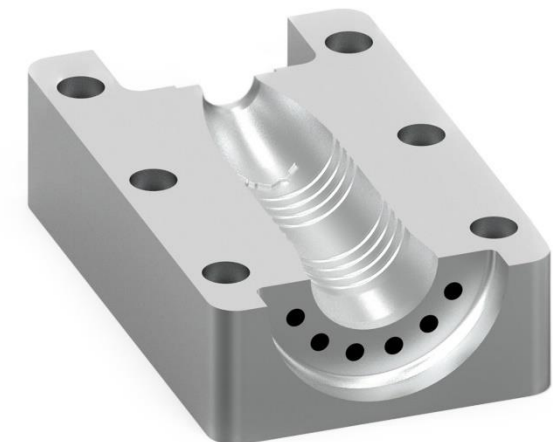


## Aluminium

When it comes to pre-series or prototype moulds, it is not unusual to use materials that are easy to machine. Aluminium alloys or uriol (plastics) are often used. In these cases, solid carbide tools with positive and partly polished cutting edges, or better still, PCD-tipped tools ensure high productivity and short machining times.

### Application examples:

- Pre-series moulds
- Prototype moulds



## Components and workpiece material

### Copper

Manufacturing of electrodes for EDM processes requires machining of copper alloys and graphite materials. The selection of the electrode material depends on the requirements of the mould to be created. Copper alloys are comparatively expensive and are generally used for finishing the electrodes, when it comes to high surface quality and shape accuracy. Solid carbide end mills with special geometries by MAPAL guarantee high-precision machining results here.

#### Application example:

- Electrodes for spark eroding (EDM)

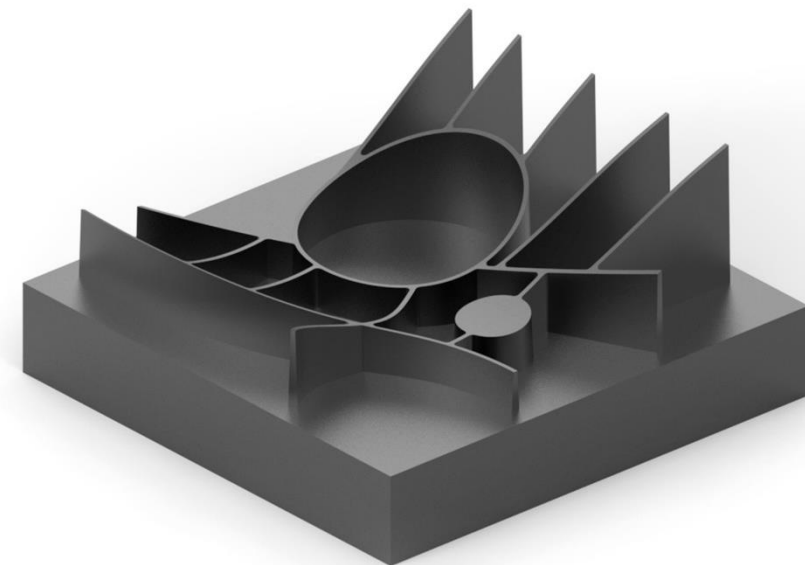


### Graphite

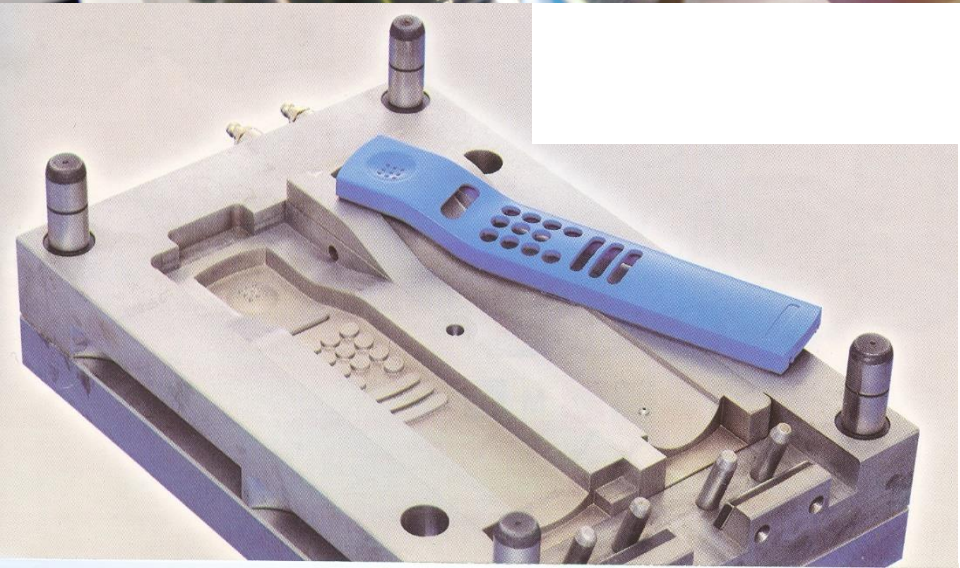
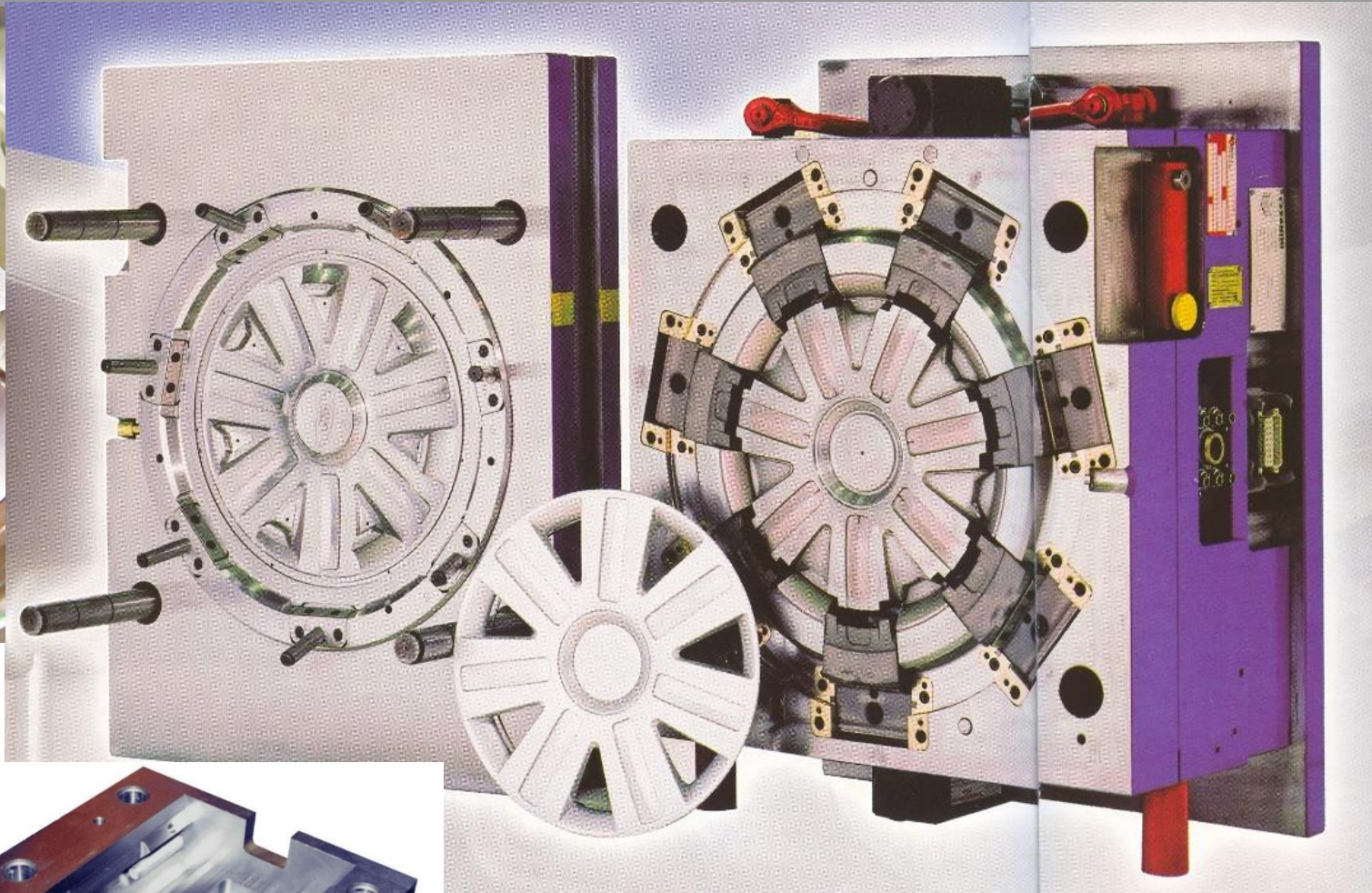
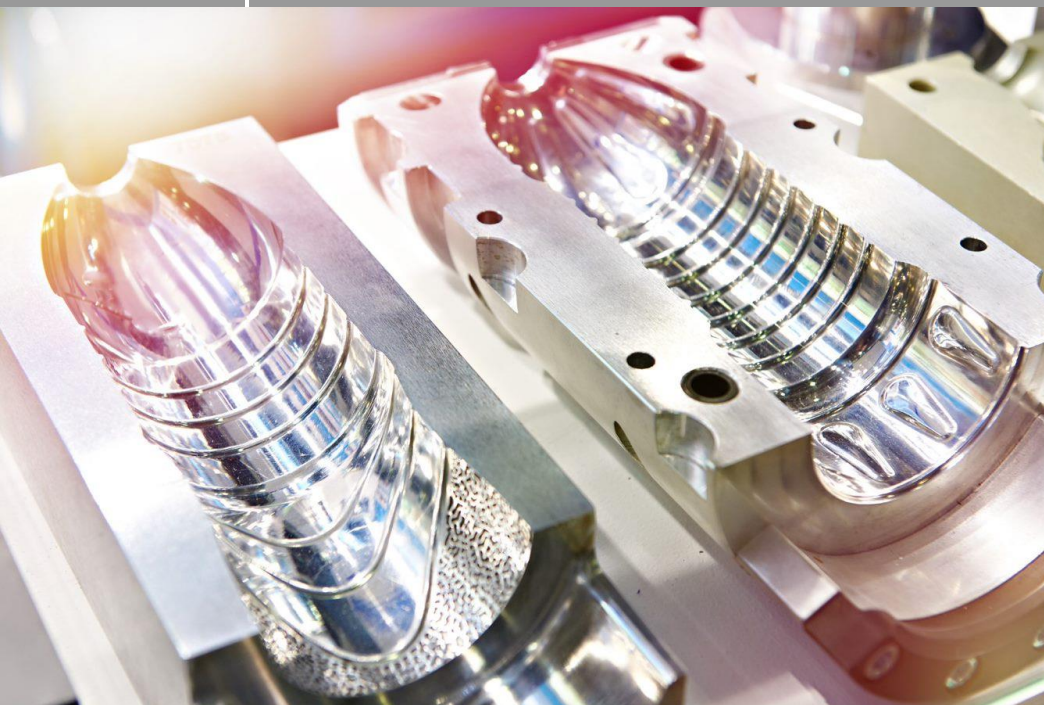
Graphite has a highly abrasive effect on the tool and causes strong wear on the cutting edge. The profiles to be machined tend to burst with increasing wear. Therefore, a tool with suitable geometry and optimum cutting material is required. For machining graphite, MAPAL uses diamond-coated solid carbide tools or PCD-tipped tools.

#### Application example:

- Electrodes for spark eroding (EDM)



# Ukázky forem



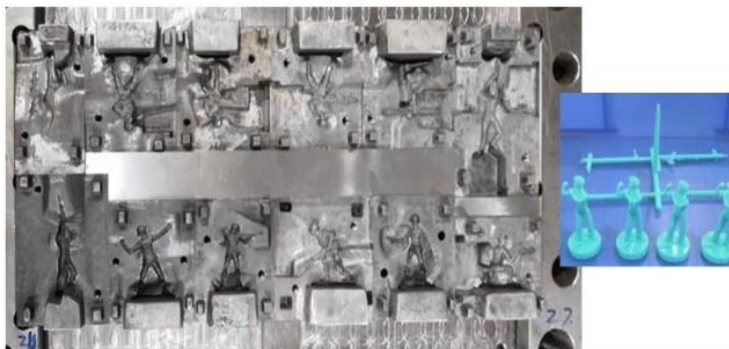
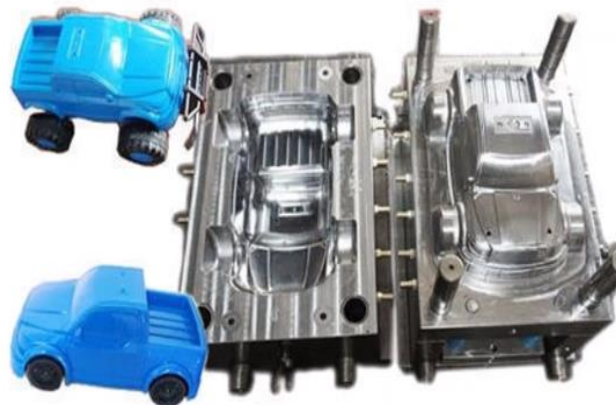
# VYUŽITÍ FOREM A ZÁPUSTEK V PRAXI

VÝROBA PNEUMATIK



# VYUŽITÍ FOREM A ZÁPUSTEK V PRAXI

HRAČKY A ZÁBAVNÍ PRŮMYSL



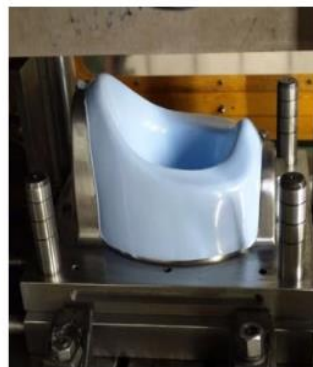
# VYUŽITÍ FOREM A ZÁPUSTEK V PRAXI

NÁBYTEK A NÁBYTKOVÉ KOVÁNÍ A PŘÍSLUŠENSTVÍ, VÝROBA PROFILŮ



## VYUŽITÍ FOREM A ZÁPUSTEK V PRAXI

SPOTŘEBNÍ PRŮMYSL, POTŘEBY PRO DOMÁCNOST A JEDNORÁZOVÉ KOMODITY



# VYUŽITÍ FOREM A ZÁPUSTEK V PRAXI

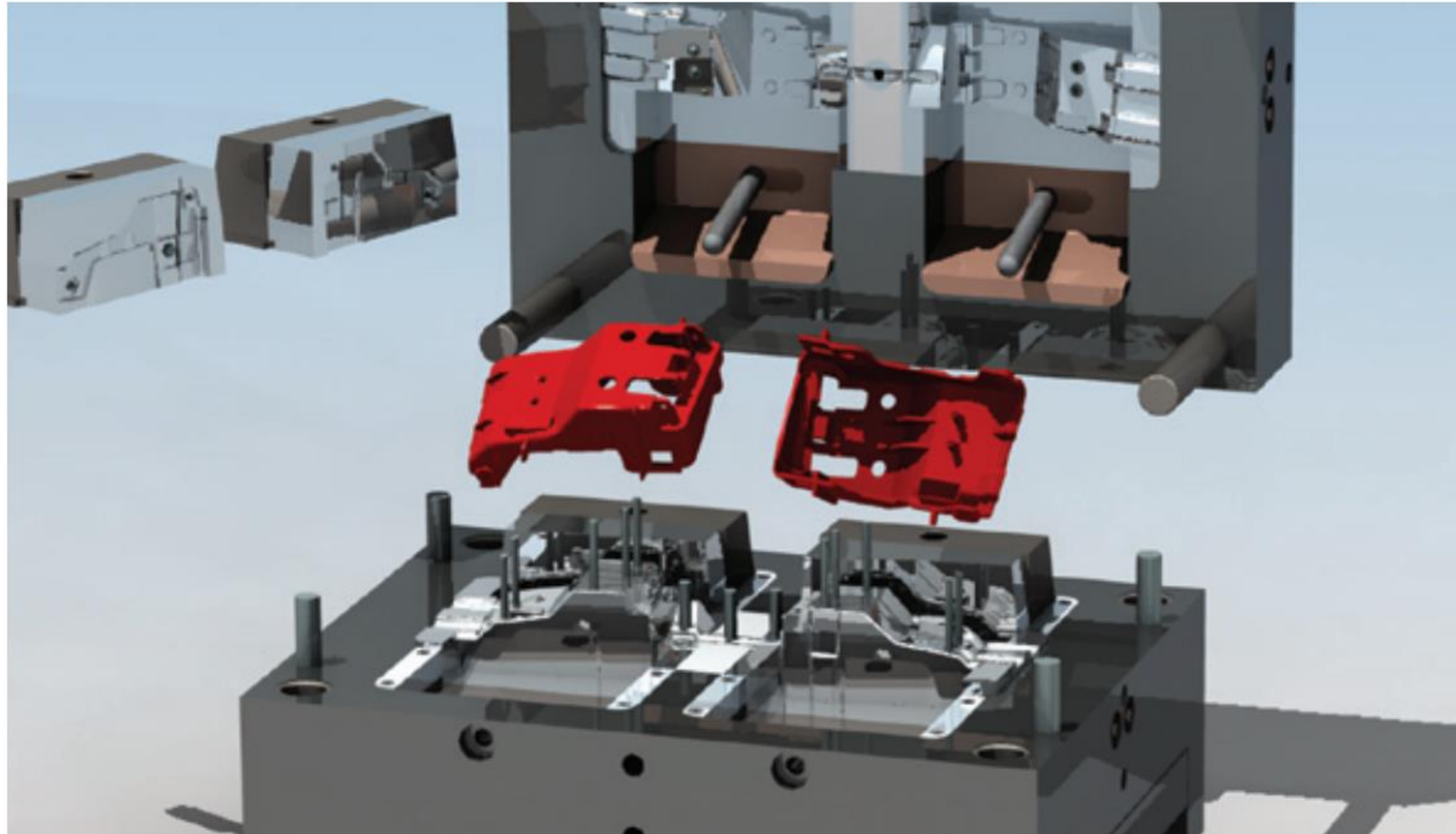
AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL A VÝ



# VYUŽITÍ FOREM A ZÁPUSTEK V PRAXI

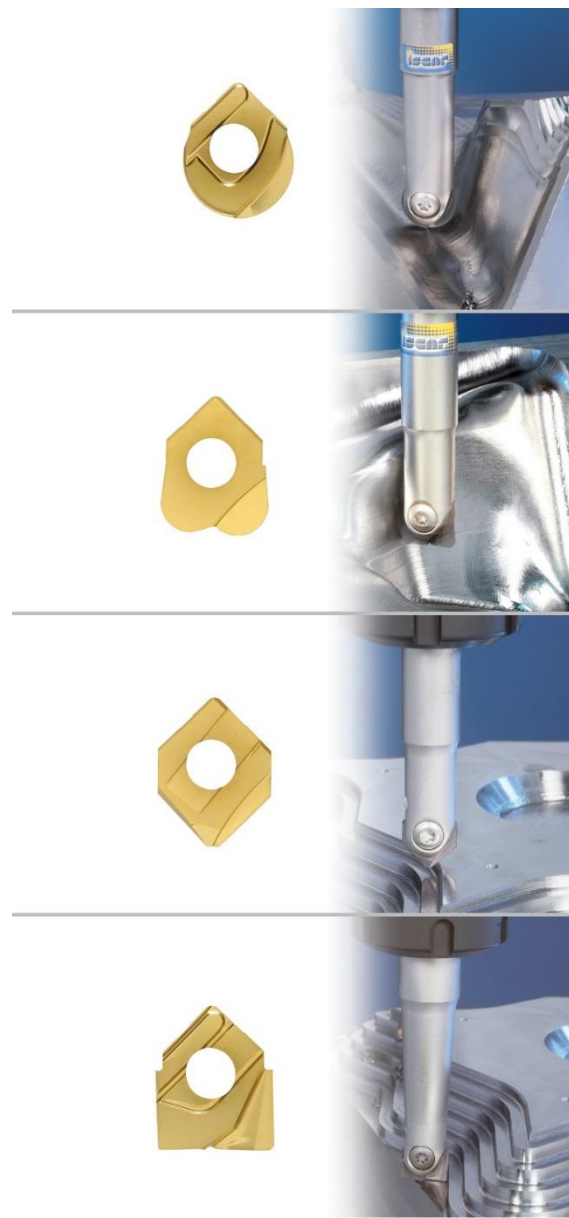
GUMÁRENSTVÍ A SPOTŘEBNÍ ZBOŽÍ





# Nástroje pro tvarové frézování

1. Kulové frézy (monolitní, VBD)
2. Toroidní frézy
3. Kuželové frézy:
  - s ostrým rohem,
  - s rohovým rádiusem,
  - s kulovou špičkou.
4. Tzv. Kuličky
5. Tvarové nástroje (frézy kruhového segmentu soudečkové, ..)



## FRANKEN TURBINE – kuželové, toroidní a kulové frézy pro 5-osé plochy



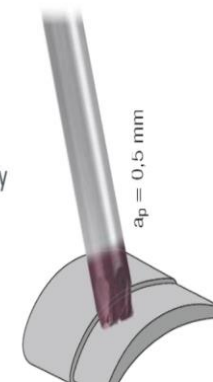
### • Kuželové frézy

- s ostrým rohem
- s rohovým rádiusem (toroidní kuželová fréza) – jak s hrubovacím profilem, tak hladkým ostrím
- s kulovou špičkou
  - Hrubovací, univerzální nebo dokončovací

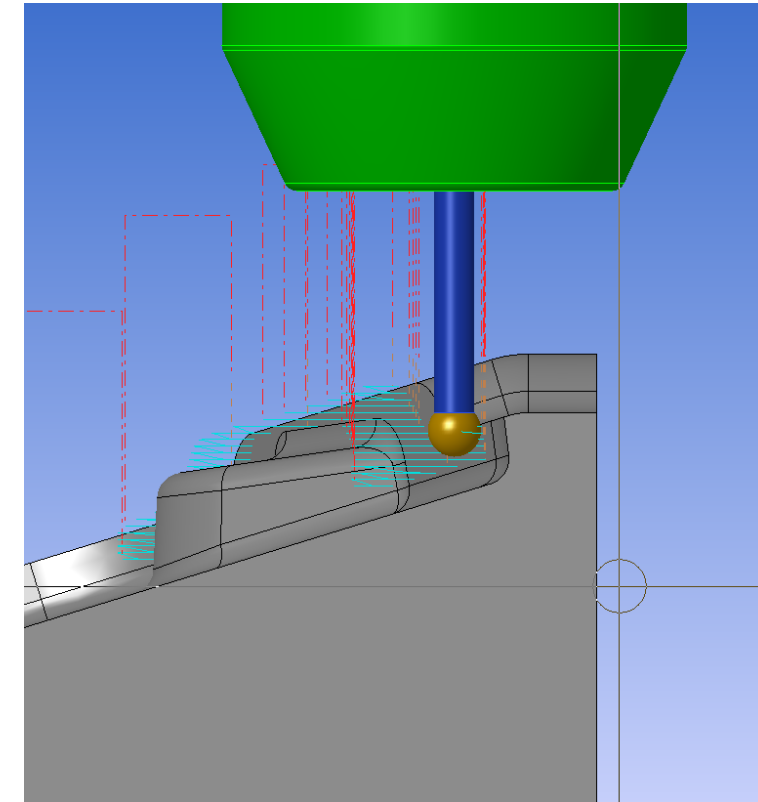
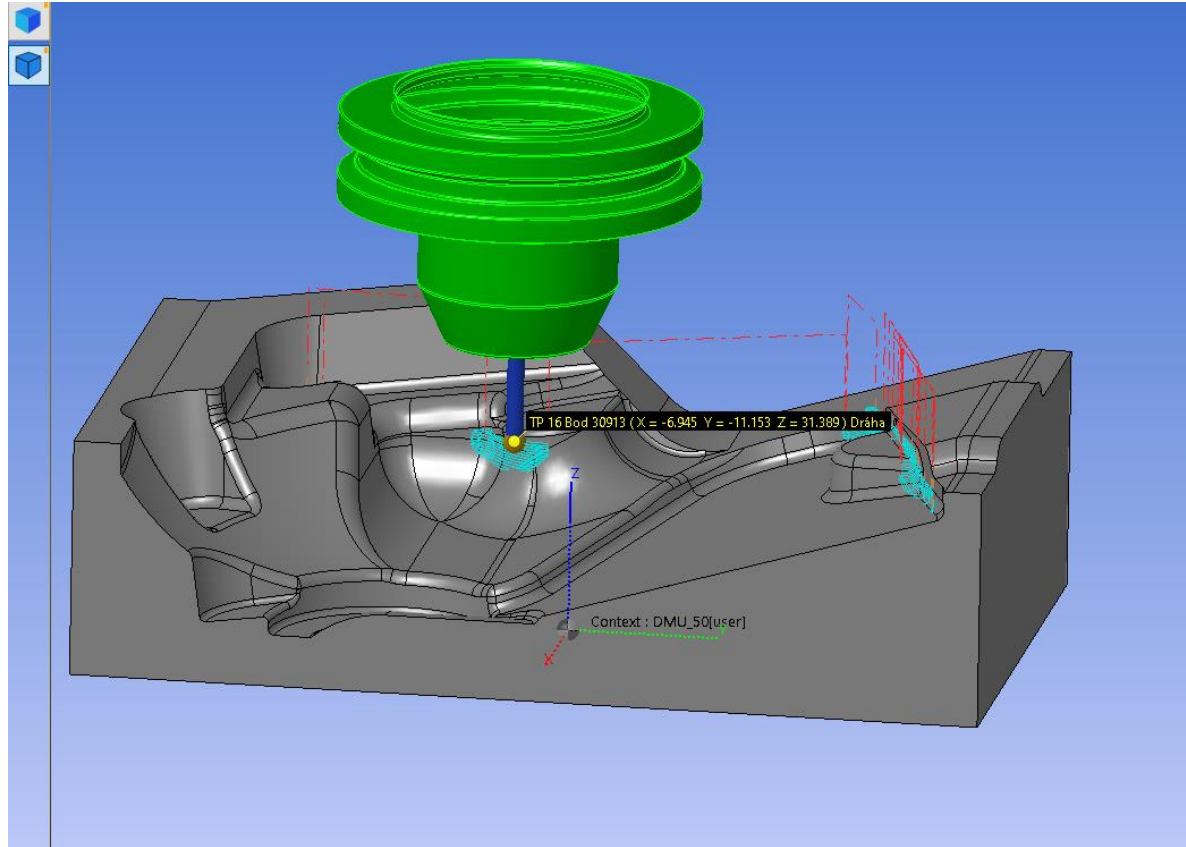


### • Toroidní frézy

- pro frézování rádiusem v rohu frézy
- pro frézování rádiusem frézy



## ad 4) Použití tzv. kuličky - Obrábění podúkosů



## ad 5) Tvarové nástroje - frézy kruhového segmentu



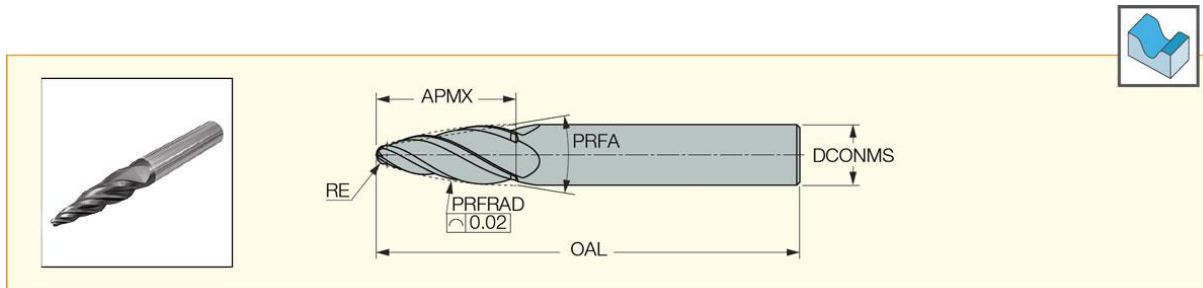
**FRANKEN**  
Expert

Frézy kruhového segmentu (KSF)

EMUGE  
FRANKEN

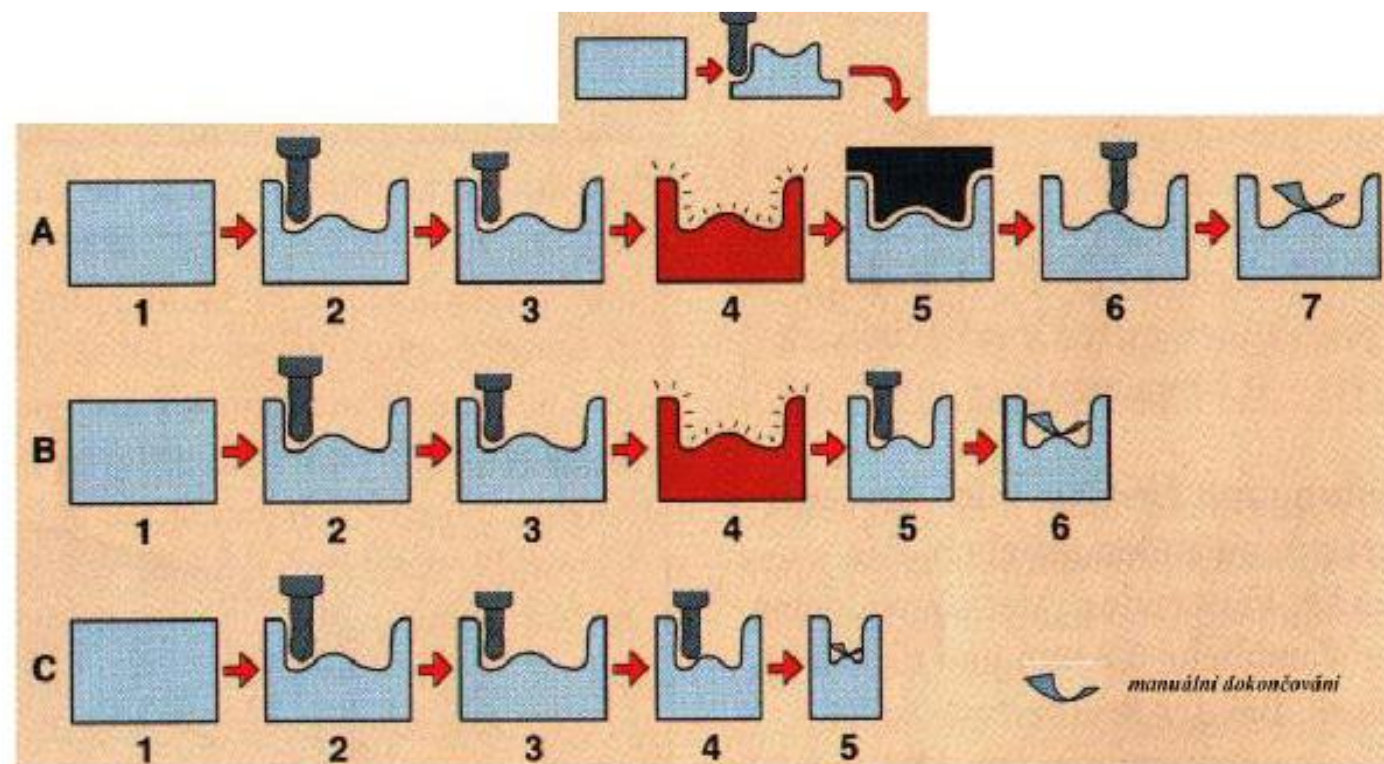
Stopkové frézy pro 5-ti osé obrábění Dokončovací operace





| Designation                   | Dimensions |      |       |       |        |                    |       |       | IC902 |
|-------------------------------|------------|------|-------|-------|--------|--------------------|-------|-------|-------|
|                               | PRFRAD     | RE   | APMX  | PRFA  | DCONMS | NOF <sup>(1)</sup> | OAL   | Shank |       |
| <b>EOB-R1R90A24/7-4C08-63</b> | 90.00      | 1.00 | 24.80 | 14.88 | 8.00   | 4                  | 63.00 | C     | •     |
| <b>EOB-R2R85A24/8-4C10-72</b> | 85.00      | 2.00 | 26.60 | 15.46 | 10.00  | 4                  | 72.00 | C     | •     |
| <b>EOB-R2R80A27/9-4C12-83</b> | 80.00      | 2.00 | 27.10 | 18.38 | 12.00  | 4                  | 83.00 | C     | •     |

# Problematika frézování forem a zápustek



**A) Tradiční proces.** Nekalený polotovár (1), hrubování (2), předdokončení (3), kalení na požadovanou tvrdost (4), elektroerozivní proces (5), elektrodové frézování malých rádiusů a rohů, dokončování v místech s dobrou přístupností (6), ruční dokončení nepřístupných míst (7);

**B)** Stejný průběh jako A), ale zde je elektroerozivní proces nahrazen dokončovací frézováním v režimu HSC (5), **úspora procesního kroku;**

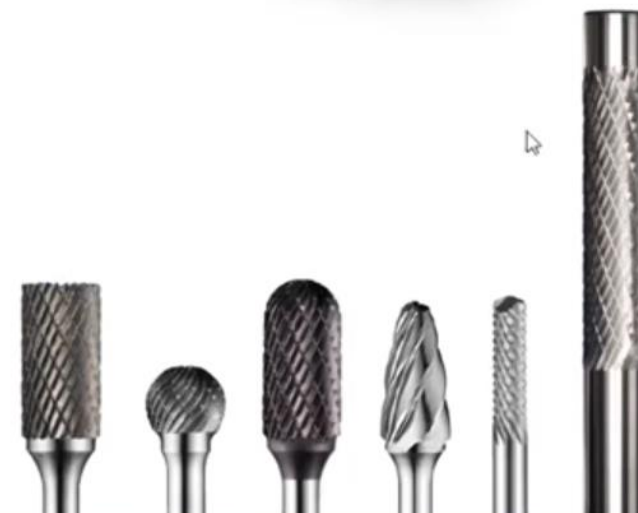
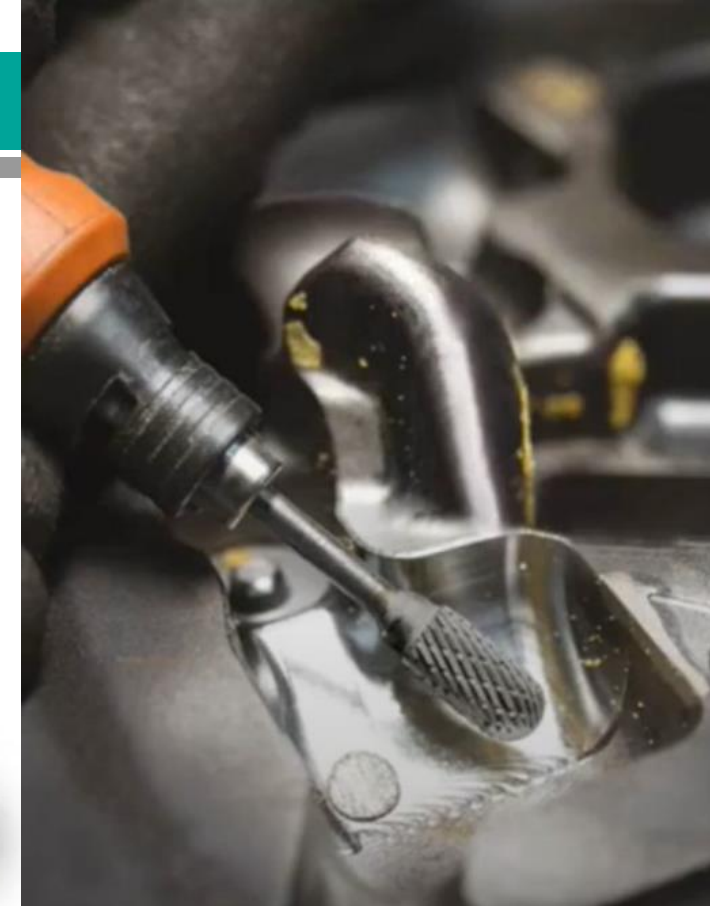
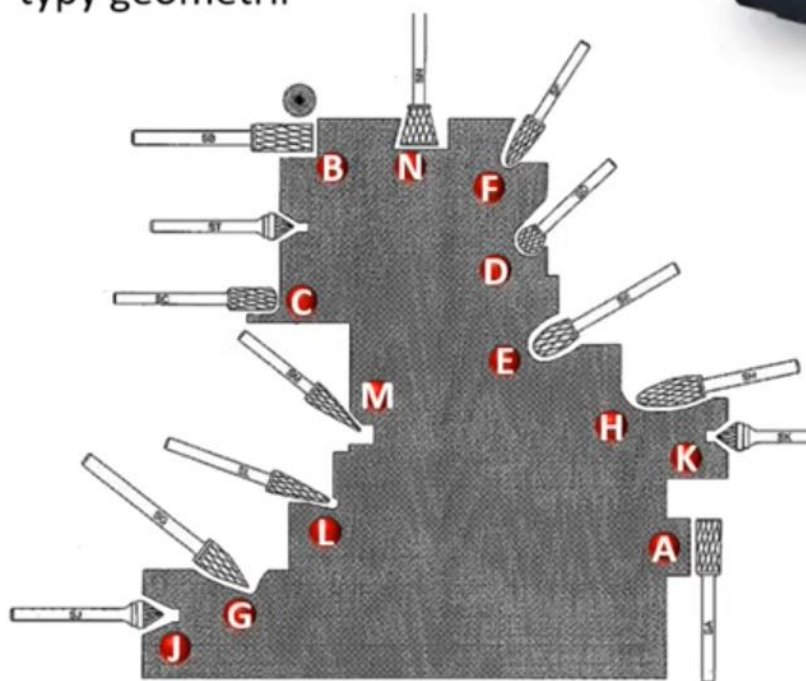
**C)** Polotovár je rovnou zakalen na požadovanou tvrdost (1), hrubování (2), předdokončení (3) a dokončení (4). HSC lze zpravidla použít u všech obrábění (speciálně u nástrojů s malým průměrem). **Úspora dvou procesních kroků.** Ve srovnání s procesem A) činí časová úspora přibližně **30-40%**. Nahrazeno plně automatickým dokončováním

# Opravy forem a zápustek

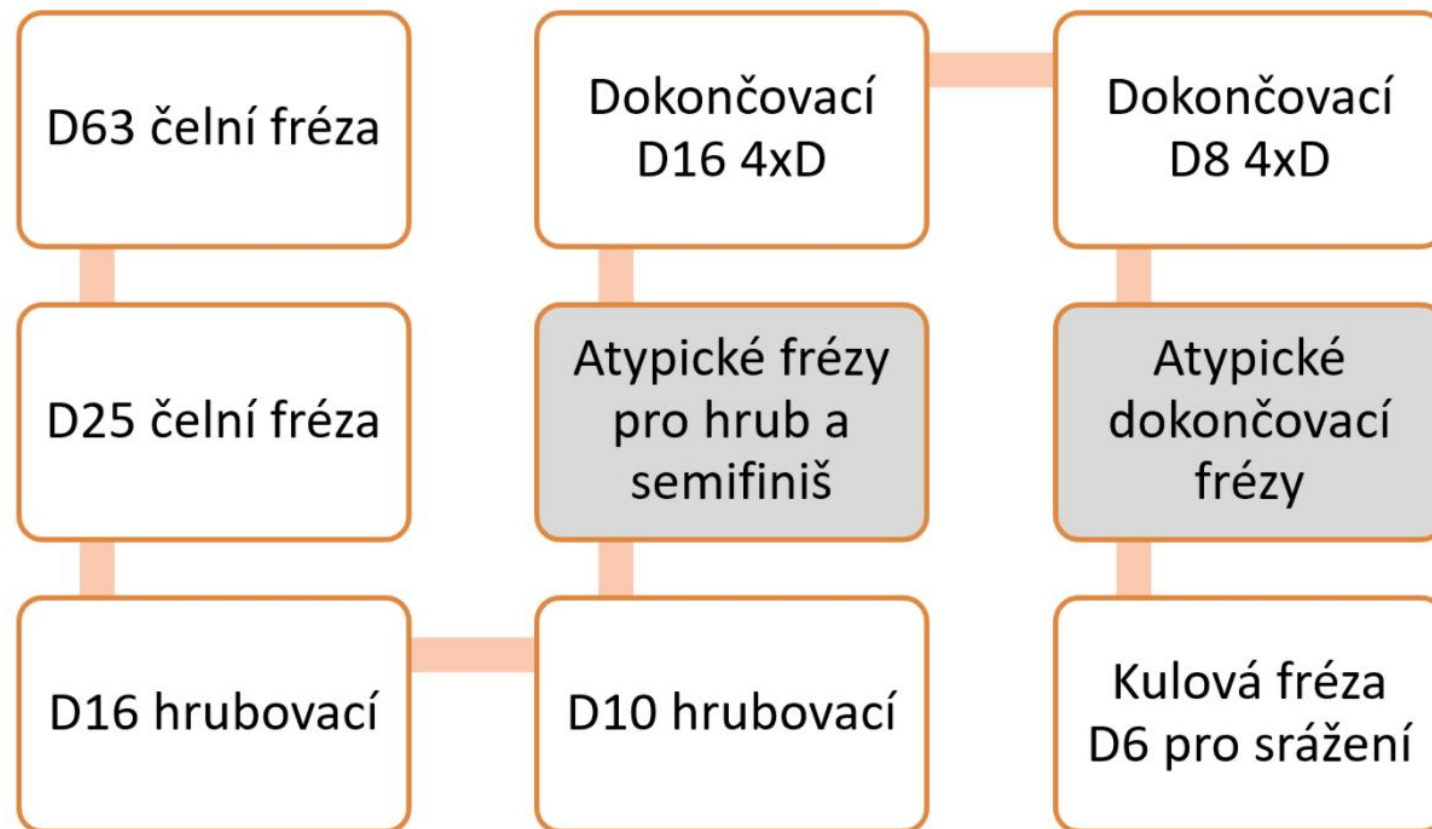
- Odjehlování tvarových součástí a čištění návarů

Karbidové technické frézy Pxxx jsou k dispozici podle Vaší formy:

- v různých velikostech
- tvarech
- typy geometrií



# Volba nástroje pro obrábění podobných dílů

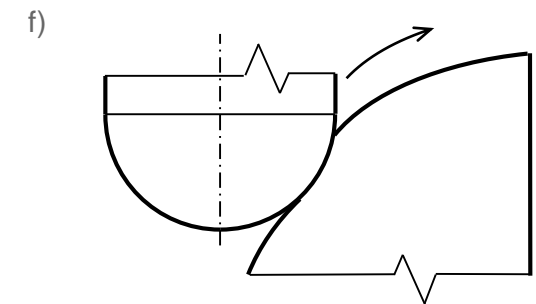
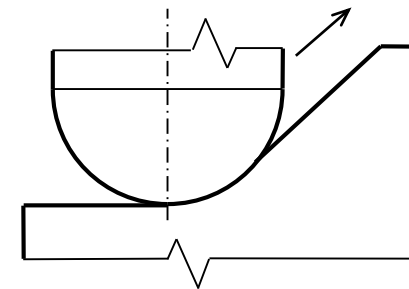
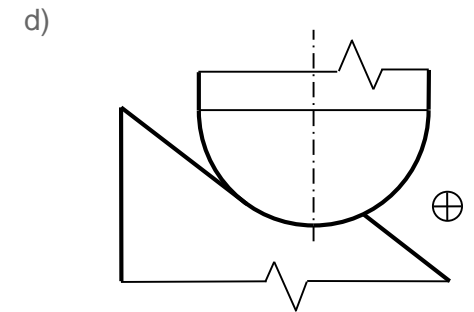
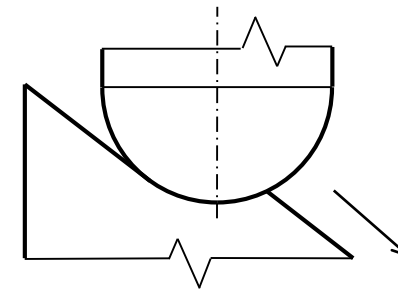
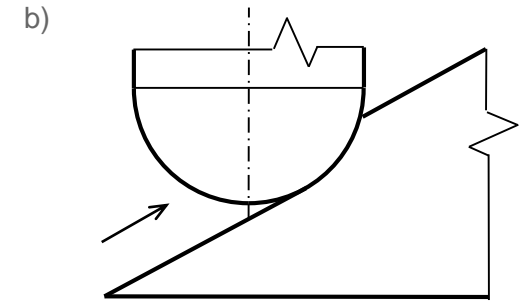
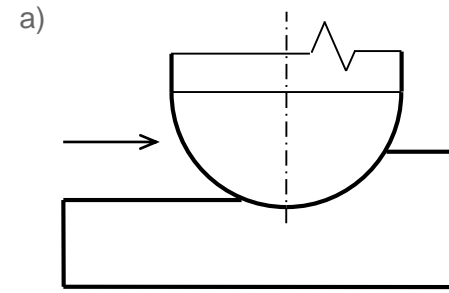
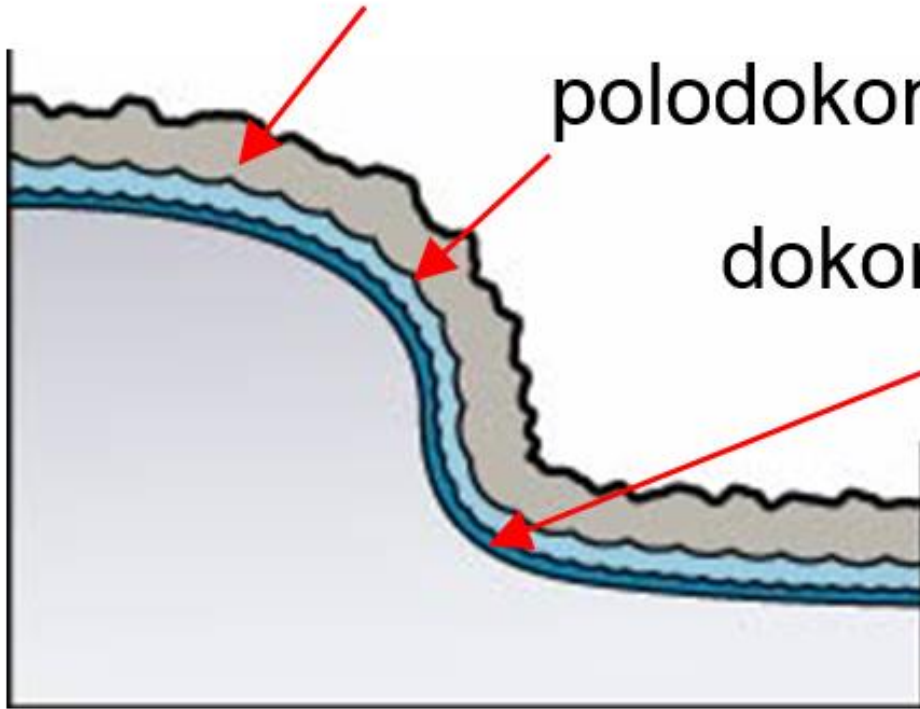


# Typické příklady obrábění tvaru kulovou frézou

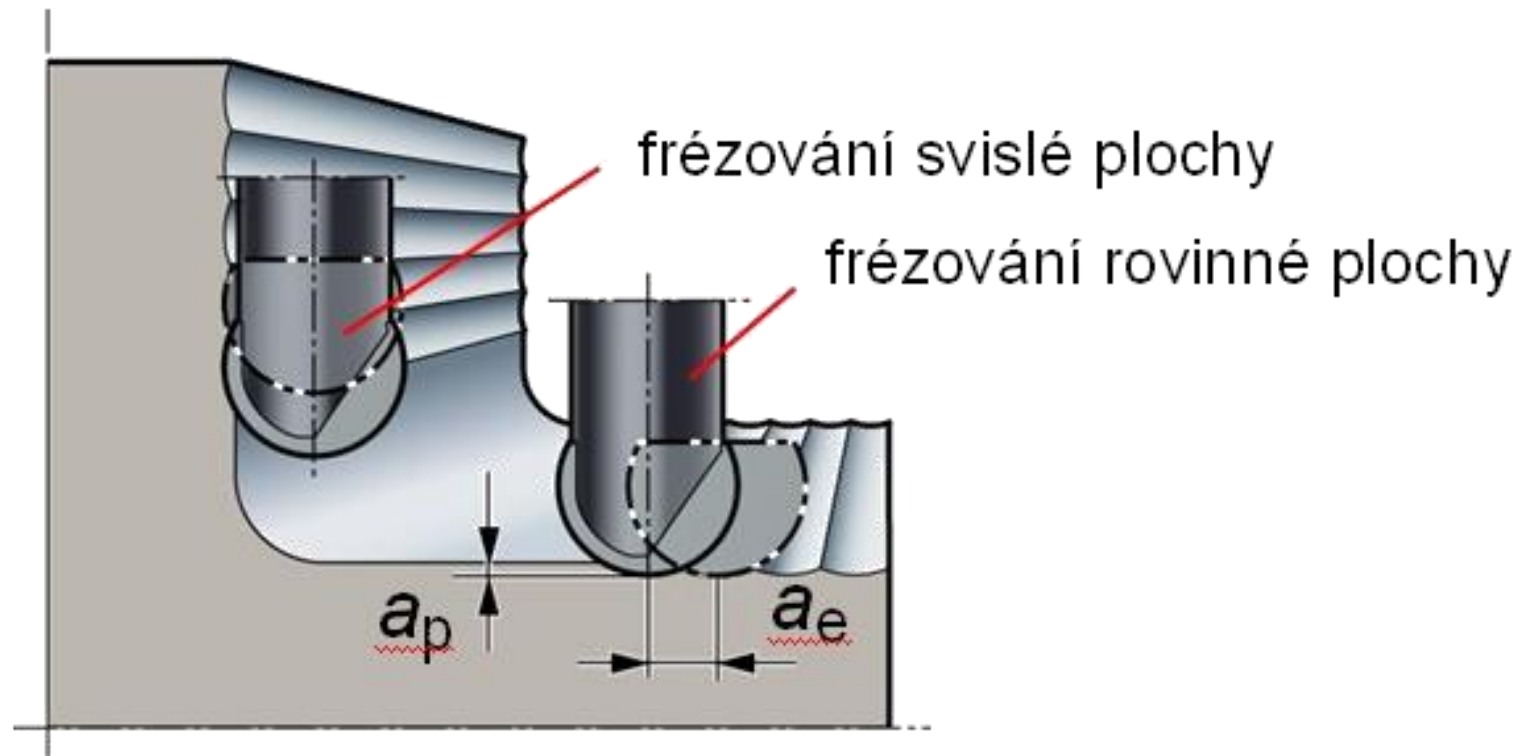
hrubování

polodokončování

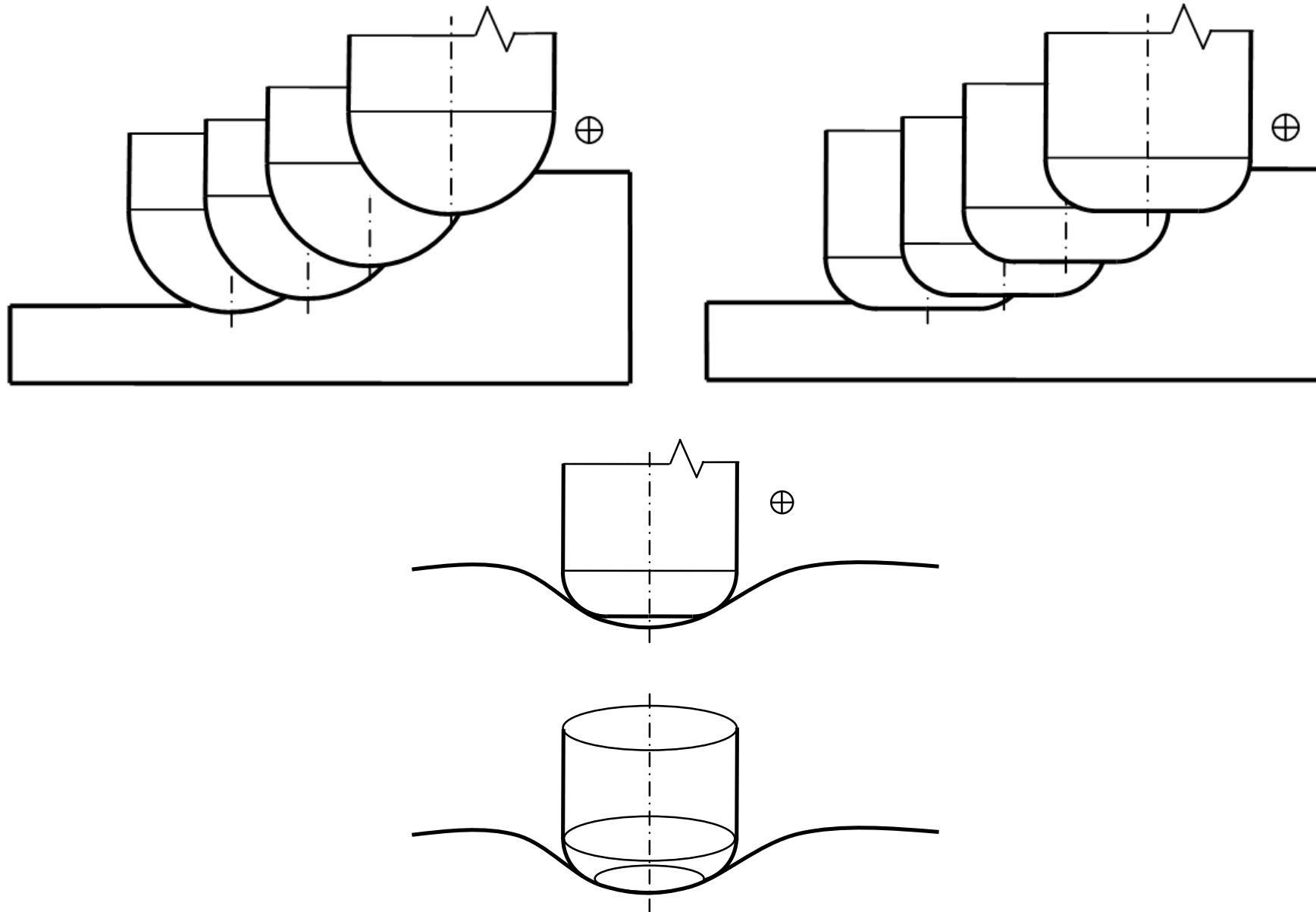
dokončování



# Kopírovacího frézování na svislé a rovinné ploše



# Frézování kulovou frézou vs. toroidní frézou



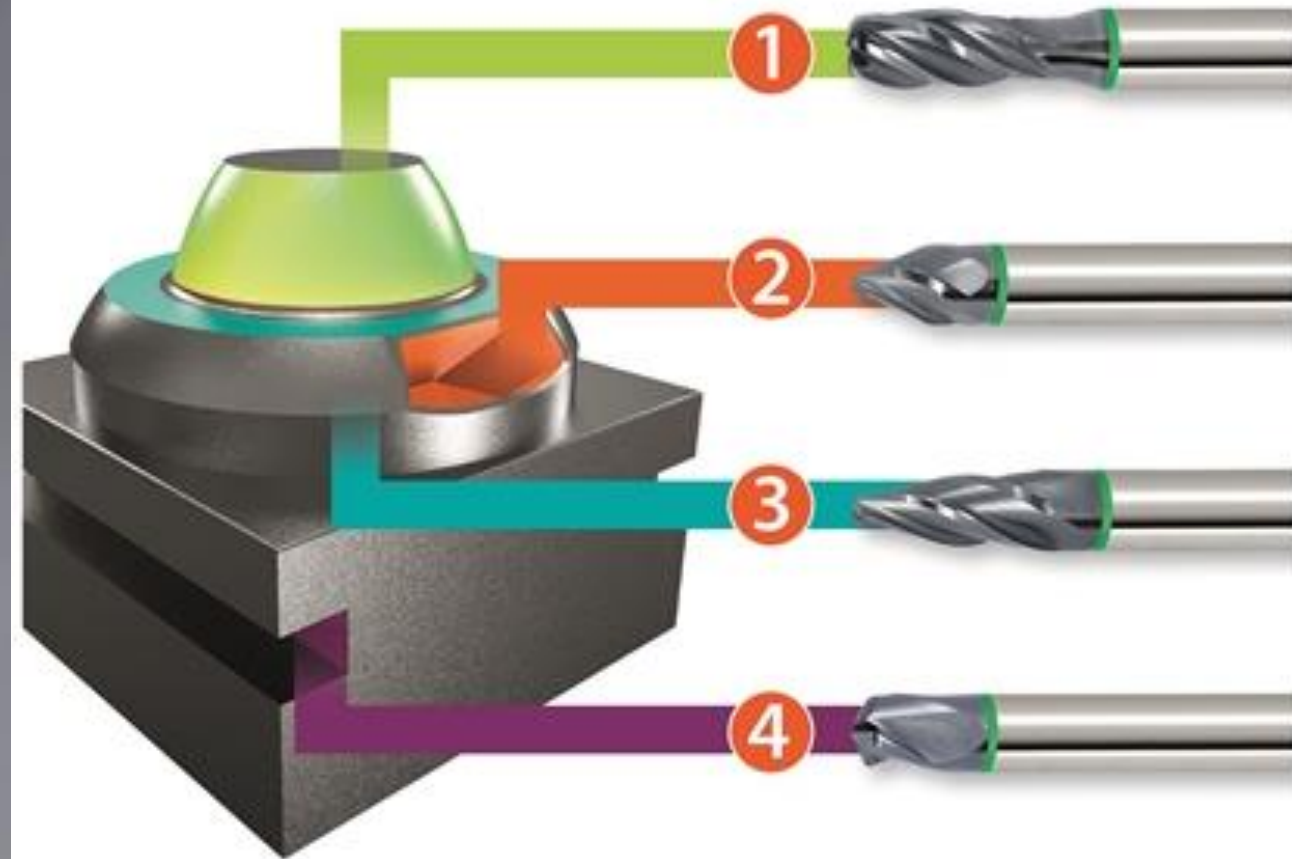
# Použití vysokorychlostního frézování

Typy fréz



| SMG 3          | HSS                | Monolitní karbid   | HSM                | HFM                | HPM                |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $v_c$ (m/min)  | 30                 | 120                | 310                | 230                | 140                |
| $f_z$ (mm/zub) | $0.004 \times D_c$ | $0.004 \times D_c$ | $0.008 \times D_c$ | $0.030 \times D_c$ | $0.010 \times D_c$ |
| $a_p$ (mm)     | $0.25 \times D_c$  | $0.25 \times D_c$  | $0.10 \times D_c$  | $0.10 \times D_c$  | $1.00 \times D_c$  |
| $a_e$ (mm)     | $1 \times D_c$     | $1 \times D_c$     | $1 \times D_c$     | $1 \times D_c$     | $1 \times D_c$     |
| Úběr materiálu | 1 jednotka         | 4 jednotky         | 9 jednotek         | 20 jednotek        | 50 jednotek        |

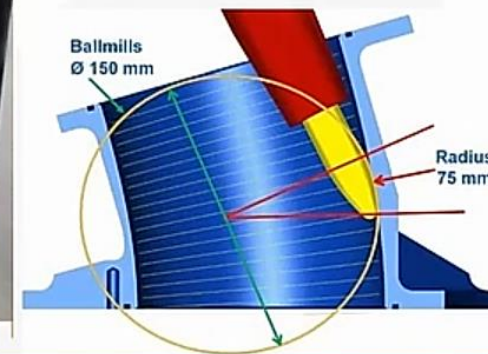
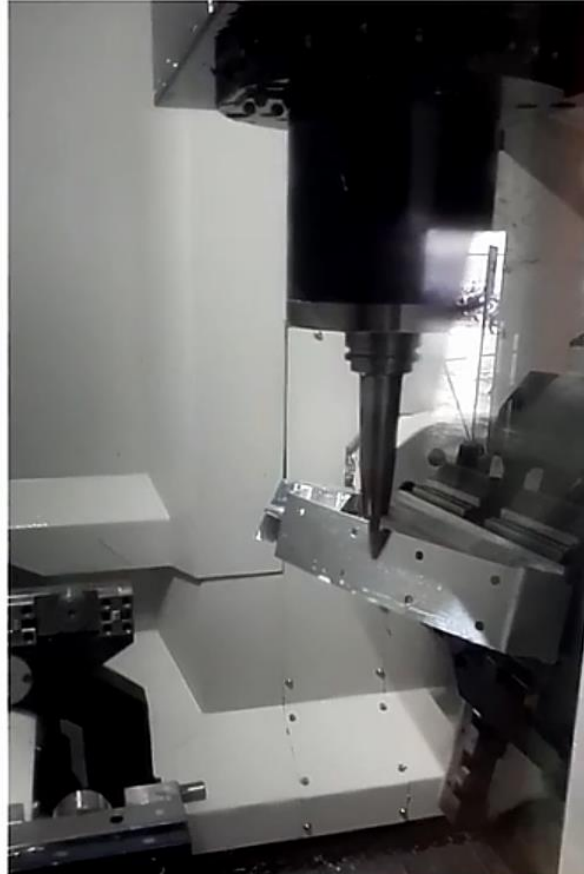
# Kónické frézy - frézy kruhového segmentu



# Použití frézy kruhového segmentu

## UKÁZKY VYBRANÝCH ŘEŠENÍ

Soudečková fréza S791





# Frézy kruhového segmentu – soudečkové stopkové frézy

**Kuželová**

**Kapková (oválná, tangenciální)**

**Přímá**

**Čočková**

**S**

**PFRAD(2)**

**N**

**RE**

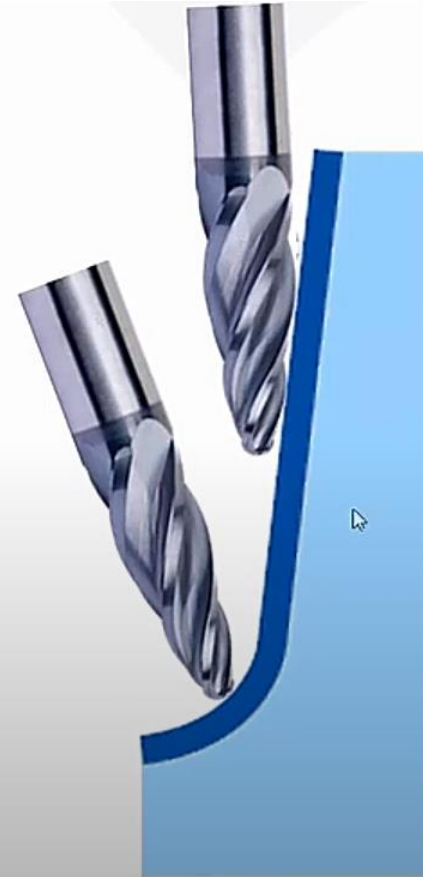
**Vertikální přísuv ( $A_p$ )**

| Druh frézování | Krupičková |               | Krupičková s vysokou rychlostí |               | Krupičková s vysokou rychlostí a vysokou přesností |               | Krupičková s vysokou rychlostí a vysokou přesností a vysokou tvrdostí |               |
|----------------|------------|---------------|--------------------------------|---------------|--|---------------|---|---------------|
|                | $A_p$ [mm] | $v_c$ [m/min] | $A_p$ [mm]                     | $v_c$ [m/min] | $A_p$ [mm]   | $v_c$ [m/min] | $A_p$ [mm]  | $v_c$ [m/min] |
| Přímá          | 0,1        | 100           | 0,1                            | 150           | 0,1  | 200           | 0,1   | 250           |
|                | 0,2        | 100           | 0,2                            | 150           | 0,2  | 200           | 0,2   | 250           |
|                | 0,3        | 100           | 0,3                            | 150           | 0,3  | 200           | 0,3   | 250           |
|                | 0,4        | 100           | 0,4                            | 150           | 0,4  | 200           | 0,4   | 250           |
| Čočková        | 0,1        | 100           | 0,1                            | 150           | 0,1  | 200           | 0,1   | 250           |
|                | 0,2        | 100           | 0,2                            | 150           | 0,2  | 200           | 0,2   | 250           |
|                | 0,3        | 100           | 0,3                            | 150           | 0,3  | 200           | 0,3   | 250           |
|                | 0,4        | 100           | 0,4                            | 150           | 0,4  | 200           | 0,4   | 250           |
| Kupolová       | 0,1        | 100           | 0,1                            | 150           | 0,1  | 200           | 0,1   | 250           |
|                | 0,2        | 100           | 0,2                            | 150           | 0,2  | 200           | 0,2   | 250           |
|                | 0,3        | 100           | 0,3                            | 150           | 0,3  | 200           | 0,3   | 250           |
|                | 0,4        | 100           | 0,4                            | 150           | 0,4  | 200           | 0,4   | 250           |
| Kapková        | 0,1        | 100           | 0,1                            | 150           | 0,1  | 200           | 0,1   | 250           |
|                | 0,2        | 100           | 0,2                            | 150           | 0,2  | 200           | 0,2   | 250           |
|                | 0,3        | 100           | 0,3                            | 150           | 0,3  | 200           | 0,3   | 250           |
|                | 0,4        | 100           | 0,4                            | 150           | 0,4  | 200           | 0,4   | 250           |



### 3. OSÉ FRÉZOVÁNÍ

- Nástroj lze použít pro frézování ve strmé části obrobku.
- Pro přechodovou část obrobku je však nutné použít další nástroj.

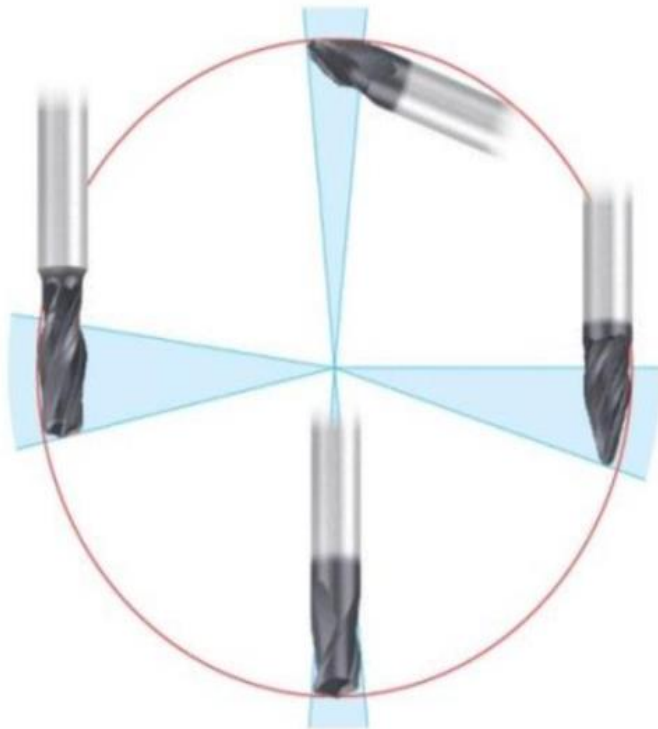


### 5. OSÉ FRÉZOVÁNÍ

- Nástroj je určený pro frézování s odklonem 5 až 7° od obrobku.
- Navíc je schopný obrobit i přechodovou část pomocí kulové části.

# Stopkové frézy KSF firmy Franken

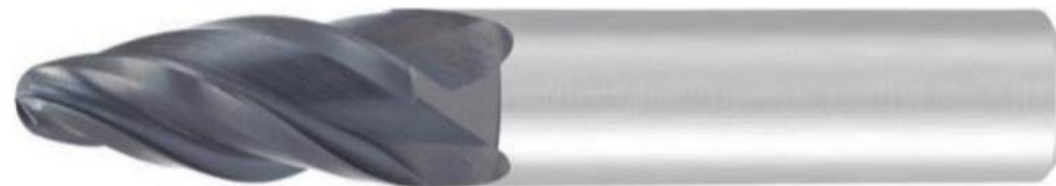
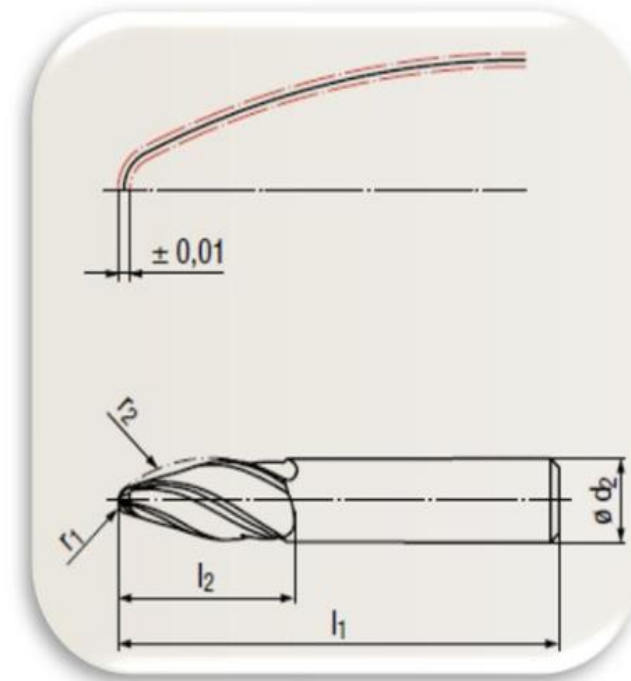
**Kegelform**  
Kuželový tvar - Taper form



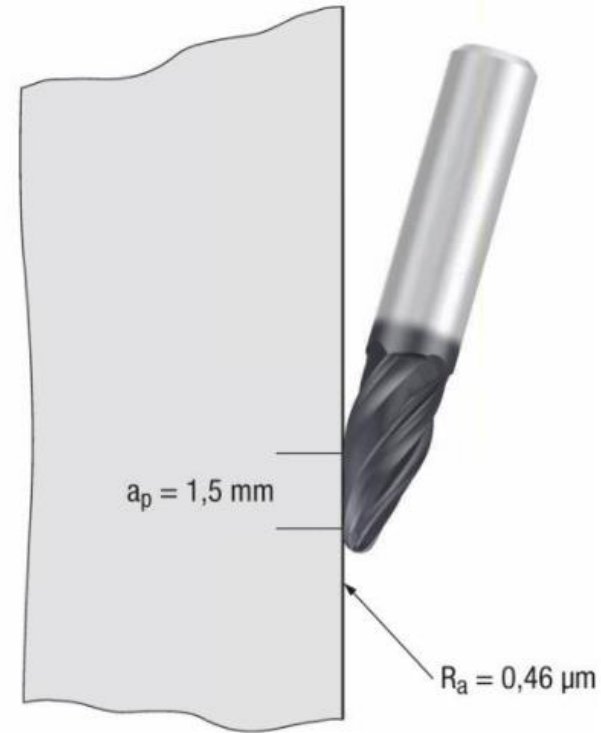
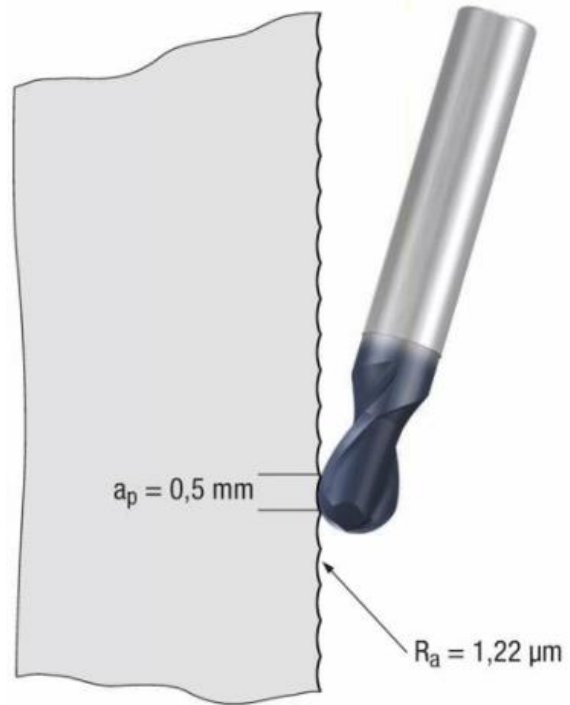
**Tonnenform**  
Soudečkový tvar  
Barrel - shape

**Linsenform**  
Čočkový tvar - Lens-shape

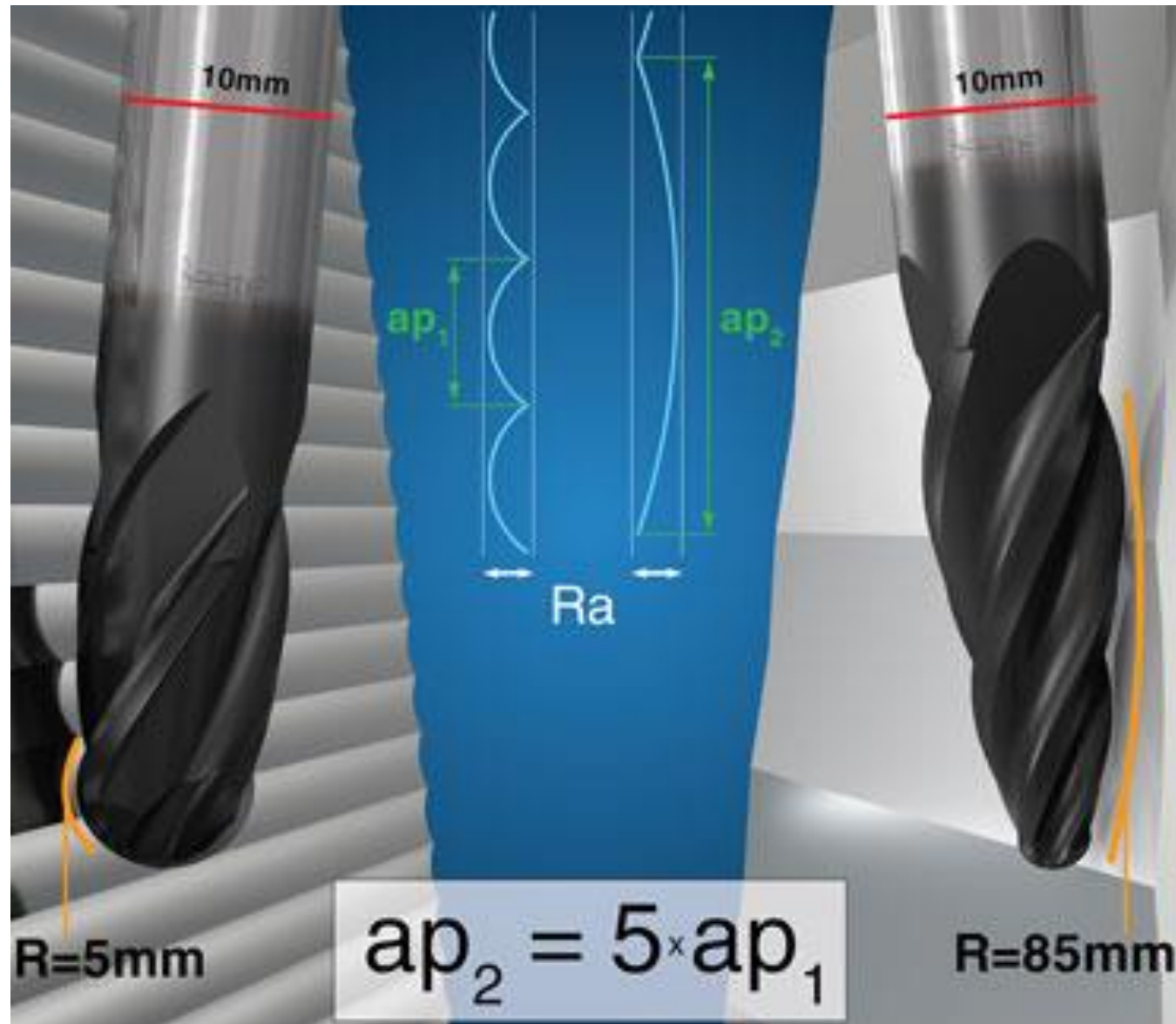
**Tropfenform**  
Oválný tvar - Oval form



# Porovnání kulových fréz a fréz kruhového segmentu



# Axiální hloubka řezu



## TK soudková fréza, kónický tvar Nová strategie obrábění



### Výhody metody PPC:

- Kratší doba obrábění díky velkému řádkování.
- Nižší náklady na přípravu.
- Minimalizace skladových zásob díky frézám s univerzálním použitím.
- Vyšší kvalita povrchu při kratších dobách obrábění.
- Vynikající procesní spolehlivost.
- Extrémní odolnost proti opotřebení.
- Vyšší produktivita.

PPC fréza, kuželový tvar  
č. 20 7530 12/500  
 $D_c = 12 \text{ mm}$   
 $R_w = 500 \text{ mm}$

Řádkování  $b_r$   
(kruhový segment)

Efektivní rádius  $R_w$

**Velká řádkování**

-> Krátké doby obrábění. Kvalita povrchu se zvyšuje.

TK rádiusová fréza,  
 $D_c = 12 \text{ mm}$   
 $r = 6 \text{ mm}$

Rádius  $r$

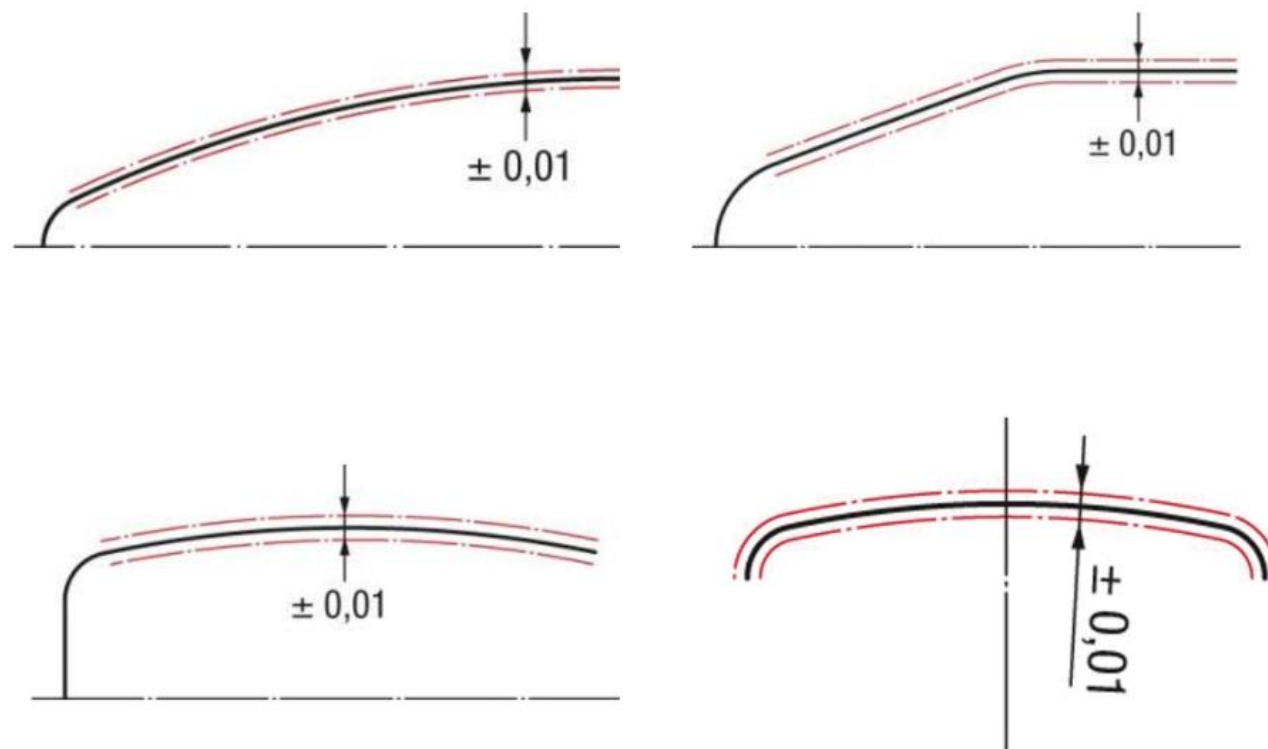
Řádkování  $b_r$   
(kruhový segment)

# Výroba – přesnost - stopkové frézy KSF firmy Emuge Franken

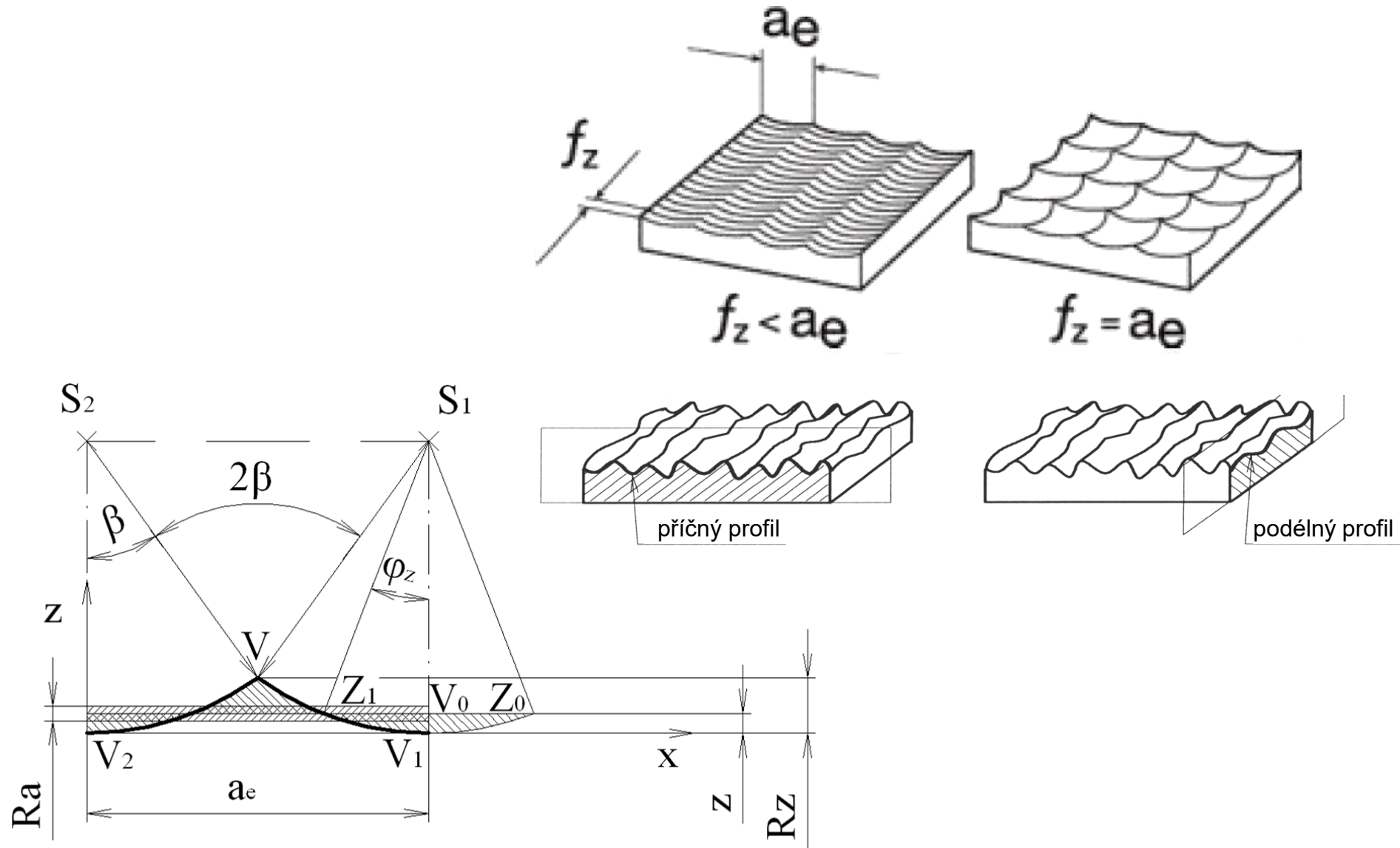
## Měřicí centrum Walter Helicheck Basic 3



### garantované přesnosti



# Teoretická drsnost povrchu při kopírovacím frézování

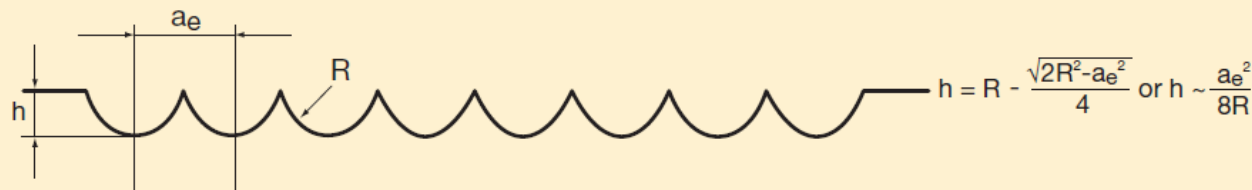
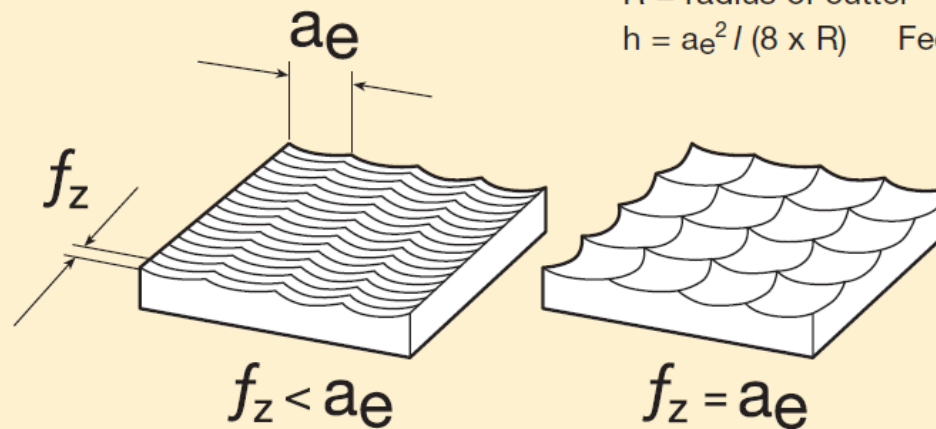




Spindle speed  $n = 12000$  rpm, cutter diameter = 6 mm

|            |         |         |         |         |        |        |
|------------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| $f_z/a_e$  | 0.05    | 0.075   | 0.1     | 0.15    | 0.2    | 0.25   |
| Feed $v_f$ | F1200   | F1800   | F2400   | F3600   | F4800  | F6000  |
| Cusp/h     | h0.0001 | h0.0002 | h0.0004 | h0.0009 | h0.002 | h0.003 |
| Time (min) | 10      | 4.44    | 2.50    | 1.11    | 0.62   | 0.40   |

$R$  = radius of cutter  $h$  = cusp height  
 $h = a_e^2 / (8 \times R)$     Feed = Rpm  $\times f_z \times z$



## Výpočty teoretické drsnosti u kopírovacího frézování

$$1) \quad Ra = \frac{Rz}{3 \div 5} \quad Rz \approx \frac{a_e^2}{8 \cdot R}$$

kde:  $Ra$  průměrná aritmetická odchylka [ $\mu\text{m}$ ],

$Rz$  největší výška nerovností profilu [ $\mu\text{m}$ ],

$$Rz = \frac{d}{2} - \sqrt{\frac{d^2 - a_e^2}{4}} \quad a_e = 2 \cdot \sqrt{a_p (d - a_p)}$$

$a_p$  hloubka řezu [mm],

$\beta_n$  úhel náklonu [ $^\circ$ ],

$d$  průměr frézy [mm],

$a_e$  šířka řezu [mm],

$R$  poloměr frézy [mm],

$$2) \quad Ra = \frac{10^3 \cdot R^2 \cdot (2\alpha_A - \sin 2\alpha_A)}{a_e}$$

$$\text{kde: } \alpha_A = \arccos \left[ \frac{R}{a_e} \left( \arcsin \frac{a_e}{2 \cdot R} + \frac{a_e}{4 \cdot R^2} \sqrt{4 \cdot R^2 - a_e^2} \right) \right]$$

$$3) \quad Ra = \frac{R^2}{a_e} \left\{ \text{arc2} \left[ \arccos \left( \frac{1}{2} \cos \arcsin \frac{a_e}{2 \cdot R} + \frac{R}{a_e} \arcsin \frac{a_e}{2 \cdot R} \right) \right] - \right. \\ \left. - \sin 2 \left[ \arccos \left( \frac{1}{2} \cos \arcsin \frac{a_e}{2 \cdot R} + \frac{R}{a_e} \arcsin \frac{a_e}{2 \cdot R} \right) \right] \right\} \cdot 1000$$

$$R_t = \frac{f^2}{8r}$$

$$f \approx a_p$$

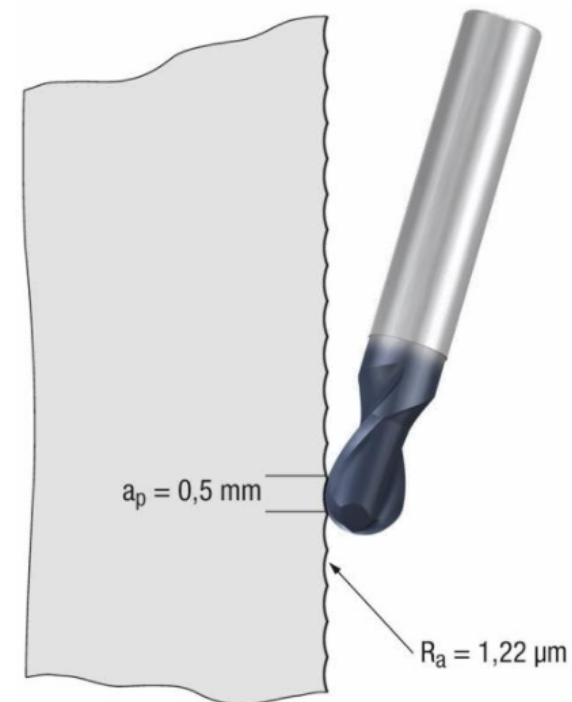
$$r = \frac{D}{2}$$

Čím větší rádius břitu frézy, tím lepší dosažená kvalita povrchu obrobku

nebo

Čím větší rádius břitu frézy, tím větší krok frézy při stejné kvalitě povrchu obrobku

**Větší krok frézy znamená výrazné zkrácení strojního času obrábění !**

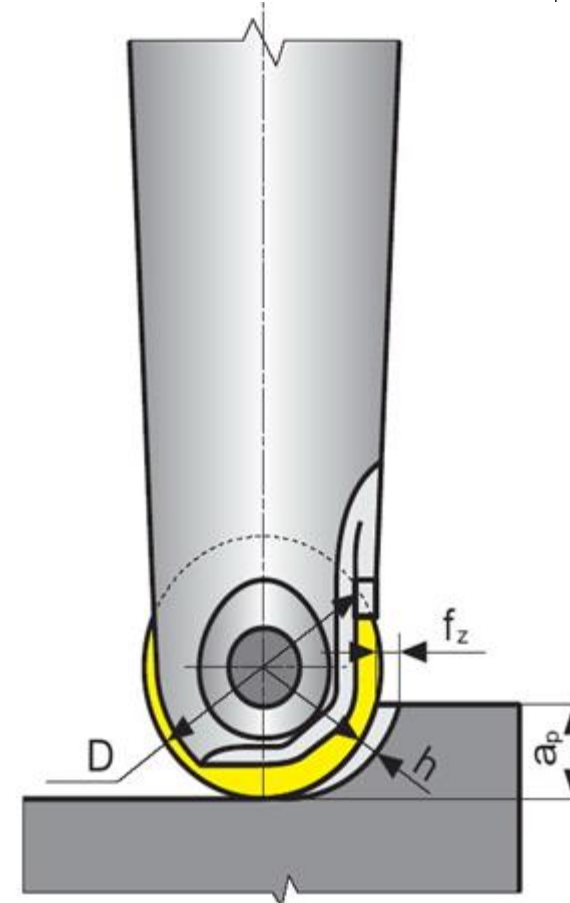


Ekonomické zhodnocení přínosů dostupné na <http://www.frankenexpert.com/>

# Tabulka výpočtu kroku a posuvu frézy průměru 8 mm

| průměr frézy                    | hloubka řezu            | délka měřené plochy | šířka měřené plochy |                         |                                |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------|
| d                               | a <sub>p</sub>          | l                   | b                   |                         |                                |
| [mm]                            | [mm]                    | [mm]                | [mm]                |                         |                                |
| 8                               | 0,3                     | 100                 | 100                 |                         |                                |
| krok frézy / posuv na zub       | procent z průměru frézy | Drsnost povrchu     |                     | počet přejezdů na ploše | max. tloušťka odebírané vrstvy |
| a <sub>e</sub> / f <sub>z</sub> | -                       | R <sub>z</sub>      | R <sub>a</sub>      | i                       | h <sub>max</sub>               |
| [mm]                            | [%]                     | [μm]                | [μm]                | -                       | [mm]                           |
| 0,040                           | 0,5                     | 0,050               | 0,013               | 2500,00                 | 0,008                          |
| 0,060                           | 0,8                     | 0,113               | 0,029               | 1666,67                 | 0,012                          |
| <b>0,080</b>                    | <b>1,0</b>              | <b>0,200</b>        | <b>0,051</b>        | <b>1250,00</b>          | <b>0,015</b>                   |
| 0,100                           | 1,3                     | 0,313               | 0,080               | 1000,00                 | 0,019                          |
| 0,120                           | 1,5                     | 0,450               | 0,115               | 833,33                  | 0,023                          |
| 0,140                           | 1,8                     | 0,613               | 0,157               | 714,29                  | 0,027                          |
| 0,177                           | 2,2                     | 0,974               | 0,250               | 566,57                  | 0,034                          |
| 0,180                           | 2,3                     | 1,013               | 0,260               | 555,56                  | 0,035                          |
| 0,200                           | 2,5                     | 1,250               | 0,321               | 500,00                  | 0,039                          |
| 0,250                           | 3,1                     | 1,949               | 0,500               | 400,48                  | 0,048                          |
| 0,300                           | 3,8                     | 2,813               | 0,722               | 333,33                  | 0,058                          |
| 0,353                           | 4,4                     | 3,896               | 1,000               | 283,29                  | 0,068                          |
| 0,400                           | 5,0                     | 5,003               | 1,284               | 250,00                  | 0,077                          |
| 0,499                           | 6,2                     | 7,798               | 2,001               | 200,28                  | 0,097                          |
| 0,500                           | 6,3                     | 7,820               | 2,006               | 200,00                  | 0,097                          |

| řezná rychlost         | otáčky                  |
|------------------------|-------------------------|
| v <sub>c</sub>         | n                       |
| [m·min <sup>-1</sup> ] | [ot·min <sup>-1</sup> ] |
| 140                    | 5 570                   |



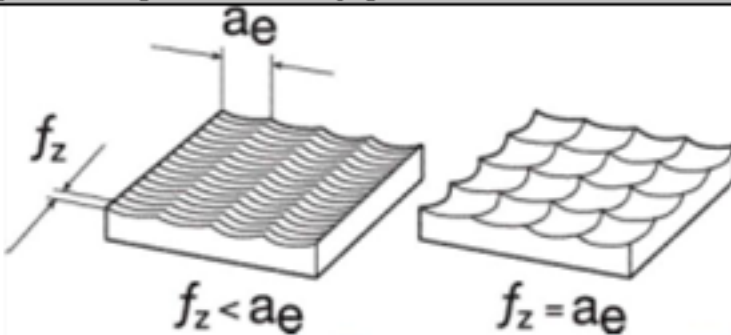
**Tloušťka třísky**

$$h = f_z \cdot \sqrt{\frac{a_p}{D}}$$

**Posuv na zub**

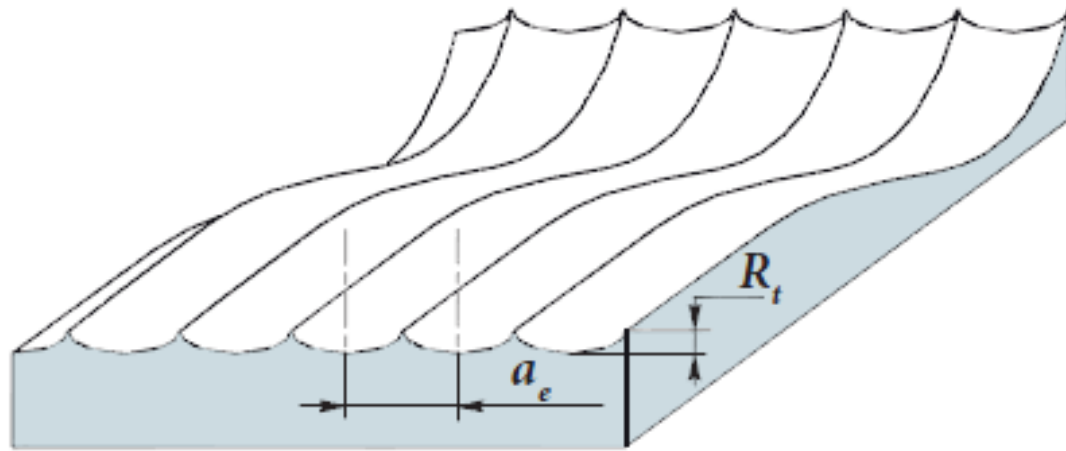
$$f_z = h \cdot \sqrt{\frac{D}{a_p}}$$

Tabulka výpočtu šířky řezu a posuvu frézy průměru 10 mm

| průměr frézy                    | hloubka řezu                  |  |                   |                                      |
|---------------------------------|-------------------------------|--|-------------------|--------------------------------------|
| d                               | $a_p$                         |  |                   |                                      |
| [mm]                            | [mm]                          |  |                   |                                      |
| 10                              | 0,3                           |  |                   |                                      |
| šířka řezu<br>(posuv na<br>zub) | procent z<br>průměru<br>frézy | Parametr drsnosti povrchu  |                   | max. tloušťka<br>odebírané<br>vrstvy |
| $a_e (f_z)$                     | -                             | Rz   | Ra                | $h_{max}$                            |
| [mm]                            | [%]                           | [ $\mu\text{m}$ ]  | [ $\mu\text{m}$ ] | [mm]                                 |
| 0,040                           | 0,4                           | 0,040  | 0,010             | 0,007                                |
| 0,060                           | 0,6                           | 0,090  | 0,023             | 0,010                                |
| <b>0,080</b>                    | <b>0,8</b>                    | <b>0,160</b>   | <b>0,041</b>      | <b>0,014</b>                         |
| 0,100                           | 1,0                           | 0,250  | 0,064             | 0,017                                |
| 0,120                           | 1,2                           | 0,360  | 0,092             | 0,021                                |
| 0,140                           | 1,4                           | 0,490  | 0,126             | 0,024                                |
| 0,177                           | 1,8                           | 0,779  | 0,200             | 0,031                                |
| 0,180                           | 1,8                           | 0,810  | 0,208             | 0,031                                |
| 0,200                           | 2,0                           | 1,000  | 0,257             | 0,035                                |
| 0,250                           | 2,5                           | 1,559  | 0,400             | 0,043                                |
| 0,300                           | 3,0                           | 2,251  | 0,577             | 0,052                                |
| 0,353                           | 3,5                           | 3,116  | 0,800             | 0,061                                |
| 0,400                           | 4,0                           | 4,002  | 1,027             | 0,069                                |

| Tabulka výpočtu šířky řezu a posuvu frézy průměru 20 mm |                         |                           |                   |                         |                                |
|---|-------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|
| průměr frézy  | hloubka řezu            | délka měřené plochy       |                   | šířka měřené plochy     |                                |
| d   | $a_p$                   | l                         |                   | b                       |                                |
| [mm]  | [mm]                    | [mm]                      |                   | [mm]                    |                                |
| 20  | 0,3                     | 20                        |                   | 20                      |                                |
| šířka řezu (posuv na zub)                               | procent z průměru frézy | Parametr drsnosti povrchu |                   | počet přejezdů na ploše | max. tloušťka odebírané vrstvy |
| $a_e (f_z)$   | -                       | $R_z$                     | $R_a$             | i                       | $h_{max}$                      |
| [mm]  | [%]                     | [ $\mu\text{m}$ ]         | [ $\mu\text{m}$ ] | -                       | [mm]                           |
| 0,040   | 0,2                     | 0,020                     | 0,005             | 500                     | 0,005                          |
| 0,060   | 0,3                     | 0,045                     | 0,012             | 333                     | 0,007                          |
| 0,080   | 0,4                     | 0,080                     | 0,021             | 250                     | 0,010                          |
| 0,100   | 0,5                     | 0,125                     | 0,032             | 200                     | 0,012                          |
| 0,120   | 0,6                     | 0,180                     | 0,046             | 167                     | 0,015                          |
| 0,140   | 0,7                     | 0,245                     | 0,063             | 143                     | 0,017                          |
| 0,160   | 0,8                     | 0,320                     | 0,082             | 125                     | 0,020                          |
| 0,180   | 0,9                     | 0,405                     | 0,104             | 112                     | 0,022                          |
| 0,200   | 1,0                     | 0,500                     | 0,128             | 100                     | 0,024                          |
| <b>0,250</b>  | <b>1,2</b>              | <b>0,779</b>              | <b>0,200</b>      | <b>81</b>               | <b>0,031</b>                   |
| 0,300   | 1,5                     | 1,125                     | 0,289             | 67                      | 0,037                          |

| průměr frézy                     | hloubka řezu            | délka měřené plochy       |      | šířka měřené plochy     |                                |
|----------------------------------|-------------------------|---------------------------|------|-------------------------|--------------------------------|
| d                                | a <sub>p</sub>          | l                         |      | b                       |                                |
| [mm]                             | [mm]                    | [mm]                      |      | [mm]                    |                                |
| 25                               | 0,3                     | 20                        |      | 20                      |                                |
| šířka řezu (posuv na zub)        | procent z průměru frézy | Parametr drsnosti povrchu |      | počet přejezdů na ploše | max. tloušťka odebírané vrstvy |
| a <sub>e</sub> (f <sub>z</sub> ) | -                       | Rz                        | Ra   | i                       | h <sub>max</sub>               |
| [mm]                             | [%]                     | [μm]                      | [μm] | -                       | [mm]                           |
| 0,10                             | 0,4                     | 0,10                      | 0,02 | 200                     | 0,011                          |
| 0,12                             | 0,5                     | 0,14                      | 0,04 | 167                     | 0,013                          |
| 0,14                             | 0,6                     | 0,20                      | 0,05 | 143                     | 0,015                          |
| 0,16                             | 0,6                     | 0,27                      | 0,07 | 125                     | 0,018                          |
| 0,18                             | 0,7                     | 0,32                      | 0,08 | 112                     | 0,020                          |
| 0,20                             | 0,8                     | 0,40                      | 0,10 | 100                     | 0,022                          |
| 0,25                             | 1,0                     | 0,62                      | 0,16 | 81                      | 0,027                          |
| 0,30                             | 1,2                     | 0,90                      | 0,23 | 67                      | 0,033                          |
| 0,39                             | 1,6                     | 1,56                      | 0,40 | 51                      | 0,043                          |
| 0,40                             | 1,6                     | 1,60                      | 0,41 | 50                      | 0,044                          |
| 0,50                             | 2,0                     | 2,50                      | 0,64 | 40                      | 0,055                          |
| 0,56                             | 2,2                     | 3,12                      | 0,80 | 36                      | 0,061                          |
| 0,60                             | 2,4                     | 3,60                      | 0,92 | 34                      | 0,066                          |
| 0,70                             | 2,8                     | 4,90                      | 1,26 | 29                      | 0,077                          |
| 0,79                             | 3,2                     | 6,23                      | 1,60 | 26                      | 0,086                          |
| 0,90                             | 3,6                     | 8,10                      | 2,08 | 23                      | 0,099                          |



$$R_t = \frac{a_e^2}{8R}$$

**Drsnost  $R_t$ :**

Velikost  $R_t$  v závislosti na  $a_e$

**Drsnost'  $R_t$ :**

Velikost'  $R_t$  závisi na  $a_e$

| Průměr frézy<br>Priemer frézy | 10   |      |      | 12   |      |      | 16   |      |      | 20   |      |      | 25   |      |      | 32   |      |      | 40   |      |      | 50   |      |      |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $a_e$                         | 0,7  | 1,0  | 1,5  | 1,0  | 1,5  | 2,0  | 1,0  | 2,0  | 3,0  | 2,0  | 3,0  | 4,0  | 3,0  | 4,0  | 5,0  | 3,0  | 4,0  | 5,0  | 4,0  | 6,0  | 8,0  | 4,0  | 6,0  | 8,0  |
| $R_t$                         | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,05 | 0,08 | 0,02 | 0,06 | 0,14 | 0,05 | 0,11 | 0,20 | 0,09 | 0,16 | 0,25 | 0,07 | 0,13 | 0,20 | 0,10 | 0,23 | 0,40 | 0,08 | 0,18 | 0,32 |

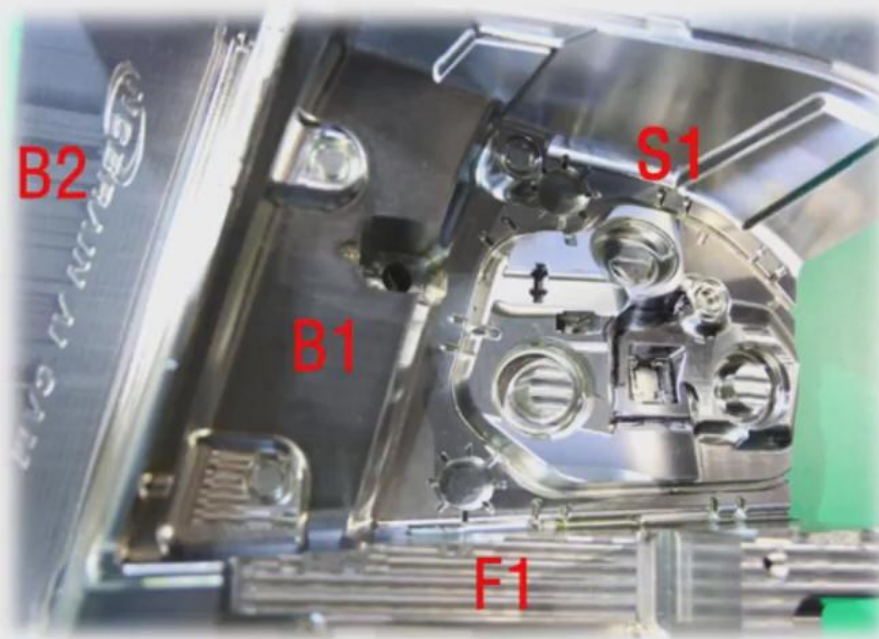
# Doporučené šířky řezu a posuvy na zub pro frézování tvarů

| Doporučené minimální šířky řezu a posuvy na zub |                           |
|---|---------------------------|
| průměr frézy                                    | šířka řezu (posuv na zub) |
| d   | $a_e (f_z)$               |
| [mm]  | [mm]                      |
| 20  | 0,50                      |
| 10  | 0,35                      |

| Praktické hodnoty velikosti šířky řezu a posuvu na zub kulových fréz |            |              |  |
|--|------------|--------------|--|
| průměr frézy   | šířka řezu | posuv na zub | velikost obráběné tvarové plochy (formy) |
| d  | $a_e$      | $f_z$        |  |
| [mm]   | [mm]       | [mm]         |  |
| 32   | 0,74       | 0,23         | velké plochy - hrubování                 |
| 20   | 0,60       | 0,23         | střední plochy - polohrubování           |
| 16   | 0,30       | 0,15         |  |
| 10   | 0,20       | 0,08         | malé plochy - dokončování, doobrobení    |

# Scallop recognition-> equal quality

Scallop height 2 -> average illumination 1.4~2.0Rz(um)

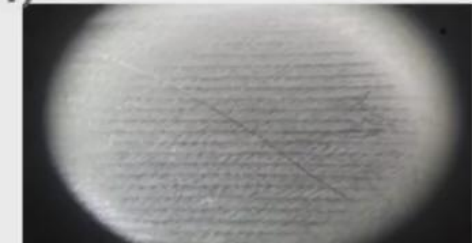


Rz ( $\mu\text{m}$ )

| Surface | Tool  | Feed direction | Side direction |
|---------|-------|----------------|----------------|
| B1      | D8r3  | 1.4            | 1.7            |
| B2      | D8r3  | 1.6            | 1.9            |
| F1      | D10r1 | 1.8            | 1.6            |
| S1      | D8r3  | 1.8            | 1.7            |

magnified

B1



B2



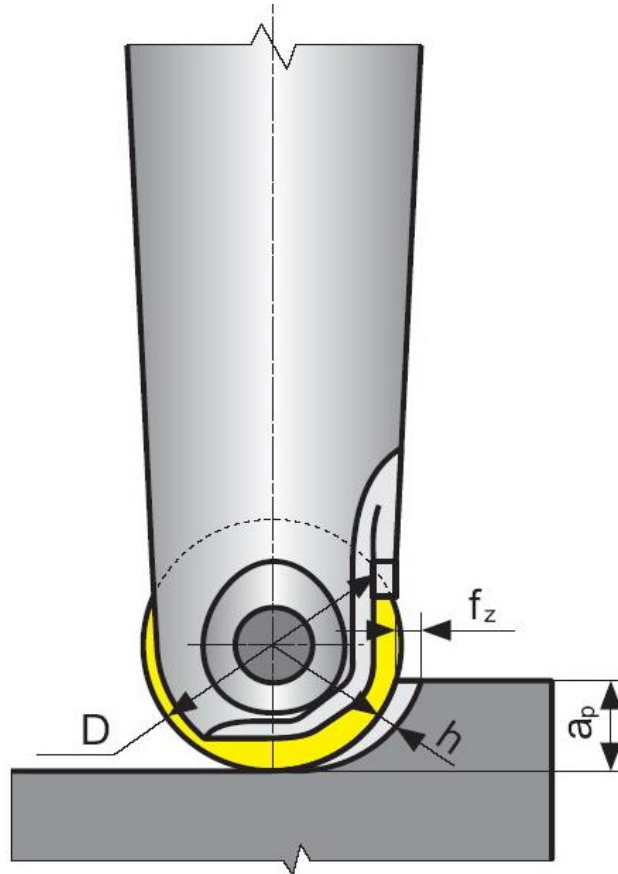
F1



S1

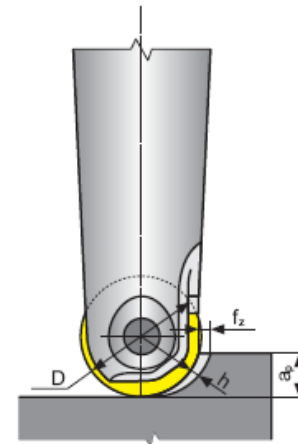


# Tloušťka třísky



$$h = f_z \cdot \sqrt{\frac{a_p}{D}}$$

$$f_z = h \cdot \sqrt{\frac{D}{a_p}}$$



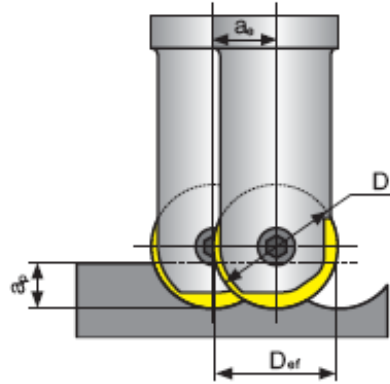
TLOUŠŤKA TŘÍSKY  
CHIP THICKNESS

$$h = f_z \sqrt{\frac{a_p}{D}} \quad [m/min]$$

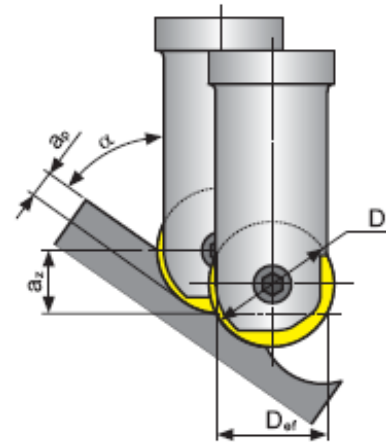


POSUV PRO HLOUBKU TŘÍSKY  
FEED FOR CHIP THICKNESS

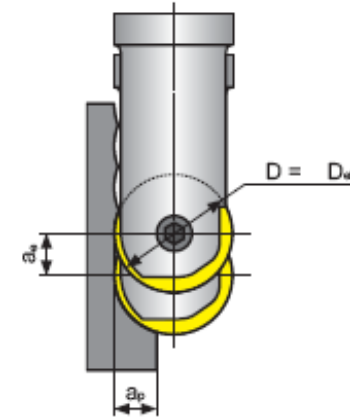
$$f_z = h \sqrt{\frac{D}{a_p}} \quad [mm/min]$$



$$D_{ef} = 2\sqrt{a_p \times (D - a_p)} \quad [mm]$$



$$D_{ef} = D \times \cos \alpha \quad [mm]$$



$$D_{ef} = D \quad [mm]$$



**ŘEZNÁ RYCHLOST / CUTTING SPEED**

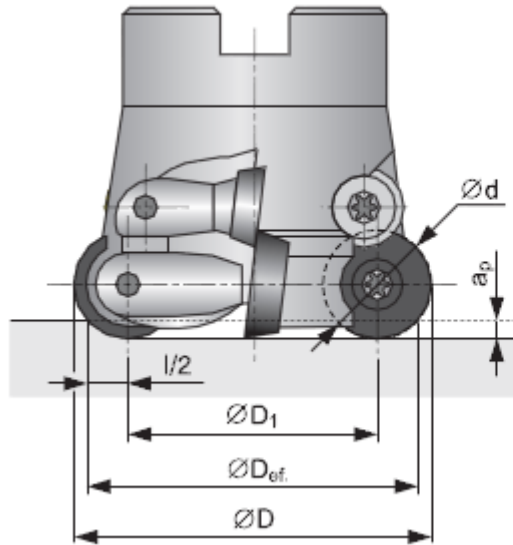
$$v_c = \frac{\pi \times D_{ef} \times n}{1000} \quad [m/mm]$$



**OTÁČKY / REVOLUTION**

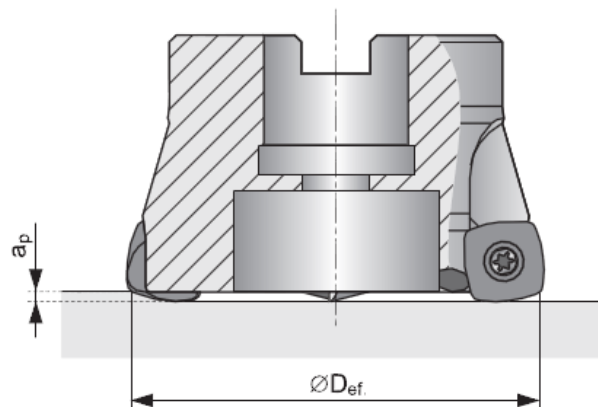
$$n = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D} \quad \begin{matrix} [ot./mm] \\ [rev/mm] \end{matrix}$$

# Efektivní průměr frézy



$$v_c = \frac{\pi \cdot D_{ef.} \cdot n}{1000} \quad [\text{m/min}]$$

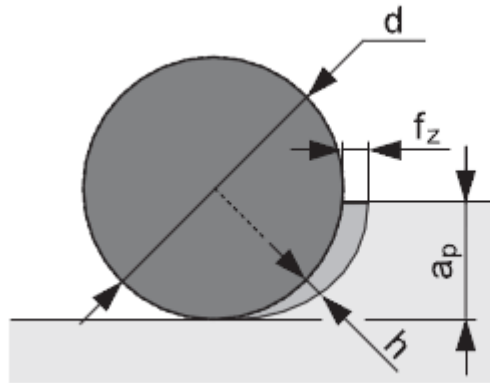
$$D_{ef.} = D_1 + l \quad [\text{mm}]$$



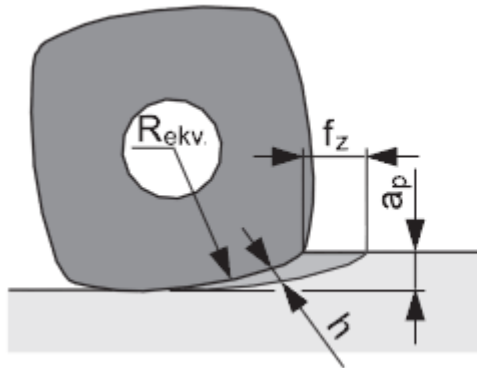
Efektivní průměry nástrojů pro rovinné frézování:

Efektívne priemery nástrojov pre rovinné frézovanie:

| Ø frézy<br>[mm] | Vyměnitelná destička<br>Vymeniteľná doštička | Efektivní průměry fréz $D_{ef.}$ v závislosti na $a_p$ [mm]<br>Efektívne priemery fréz $D_{ef.}$ v závislosti na $a_p$ [mm] |             |             |
|-----------------|--|---|-------------|-------------|
|                 |  | $a_p = 0$   | $a_p = 0,5$ | $a_p = 1,0$ |
| 16              | ZDCW 070304                                  | 6,0   | 12,2        | 15,3        |
| 20              |  | 10,0  | 16,2        | 19,3        |
| 25              |  | 15,0  | 21,2        | 24,3        |
| 32              |  | 22,0  | 28,2        | 31,3        |
| 25              | ZDCW 09T304                                  | 11,6  | 21,0        | 23,7        |
| 32              |  | 18,7  | 27,9        | 30,7        |
| 40              |  | 27,7  | 35,9        | 38,7        |

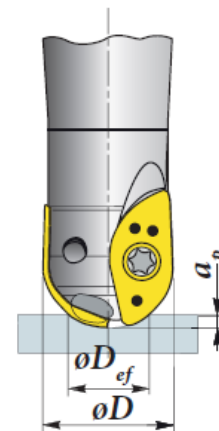
**Optimální posuv pro daný obráběný materiál a hloubku řezu se určí z doporučeného rozsahu tlouštěk třísky**

$$f_z = h_m \sqrt{\frac{d}{a_p}} \quad [\text{mm/zub}]$$



$$f_z = h_m \sqrt{\frac{2R_{ekv.}}{a_{p \max}}} \quad [\text{mm/zub}]$$

|          |                             |                              |
|----------|-----------------------------|------------------------------|
| $v_c$    | Řezná rychlost [m/min]      | Rezná rýchlosť [m/min]       |
| $n$      | Počet otáček [ot.]          | Počet otáčok [ot.]           |
| $D$      | Průměr frézy [mm]           | Priemer frézy [mm]           |
| $D_{ef}$ | Efektivní řezný průměr [mm] | Efektívny rezný priemer [mm] |
| $a_p$    | Hĺbka řezu [mm]             | Hĺbka rezu [mm]              |



$$D_{ef} = 2 \cdot \sqrt{a_p \cdot (D - a_p)} \quad [\text{mm}]$$

Efektivní řezný průměr  $D_{ef}$  v závislosti na  $a_p$

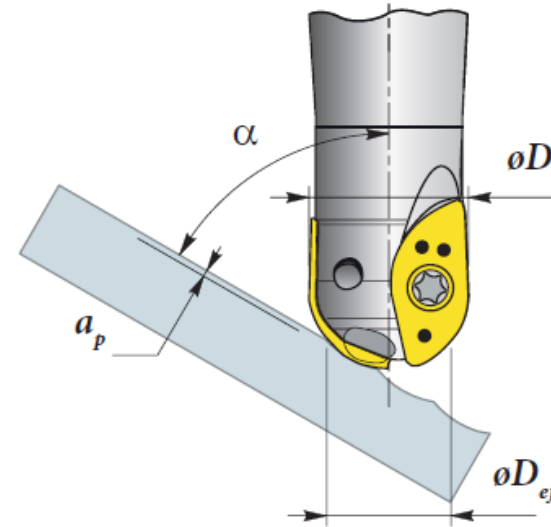
Efektívny rezný priemer  $D_{ef}$  v závislosti na  $a_p$

| $\varnothing D$ | $a_p$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                 | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   |
| 10              | 6,0   | 8,0  | 9,2  | 9,8  | 10,0 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 12              | 6,6   | 8,9  | 10,4 | 11,3 | 11,8 | 12,0 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 16              | 7,7   | 10,6 | 12,5 | 13,9 | 14,8 | 15,5 | 15,9 | 16,0 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 20              | 8,7   | 12,0 | 14,3 | 16,0 | 17,3 | 18,3 | 19,1 | 19,6 | 19,9 | 20,0 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| 25              | 9,8   | 13,6 | 16,2 | 18,3 | 20,0 | 21,4 | 22,4 | 23,3 | 24,0 | 24,5 | 24,8 | 25,0 | -    | -    | -    | -    | -    |
| 30              | 10,8  | 15,0 | 18,0 | 20,4 | 22,4 | 24,0 | 25,4 | 26,5 | 27,5 | 28,3 | 28,9 | 29,4 | 29,7 | 29,9 | 30,0 | -    | -    |
| 32              | 11,1  | 15,5 | 18,7 | 21,2 | 23,2 | 25,0 | 26,5 | 27,7 | 28,8 | 29,7 | 30,4 | 31,0 | 31,4 | 31,7 | 31,9 | 32,0 | -    |
| 40              | 12,5  | 17,4 | 21,1 | 24,0 | 26,5 | 28,6 | 30,4 | 32,0 | 33,4 | 34,6 | 35,7 | 36,7 | 37,5 | 38,2 | 38,7 | 39,2 | 39,5 |
| 50              | 14,0  | 19,6 | 23,7 | 27,1 | 30,0 | 32,5 | 34,7 | 36,7 | 38,4 | 40,0 | 41,4 | 42,7 | 43,9 | 44,9 | 45,8 | 46,6 | 47,4 |

Příklad: Pro frézu  $\varnothing 20\text{mm}$  a hloubku řezu  $a_p = 3\text{mm}$  je efektivní  $\varnothing D_{ef} = 14,3\text{mm}$ .

Příklad: Pre frézu  $\varnothing 20\text{mm}$  a hĺbke rezu  $a_p = 3\text{mm}$  je efektívne  $\varnothing D_{ef} = 14,3\text{mm}$ .

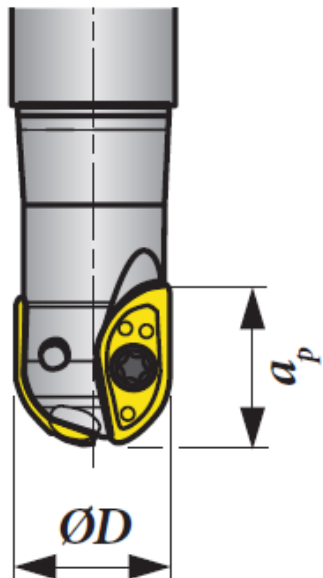
$$D_{ef} = 2 \cdot \sqrt{a_p \cdot (D - a_p)} \cdot \cos \alpha \quad [\text{mm}]$$



Řeznou rychlost je vždy nutné počítat na efektivním průměru.

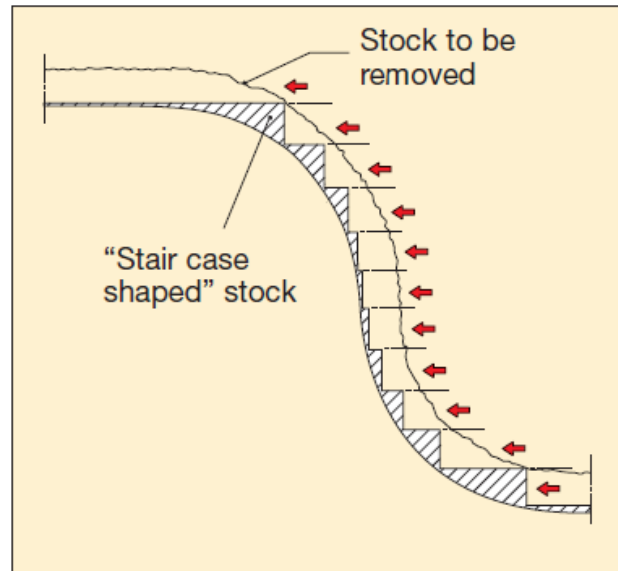
Reznú rýchlosť je vždy nutné počítat na efektívnom priemere.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_{ef} \cdot n}{1000} \quad [\text{m/min}]$$

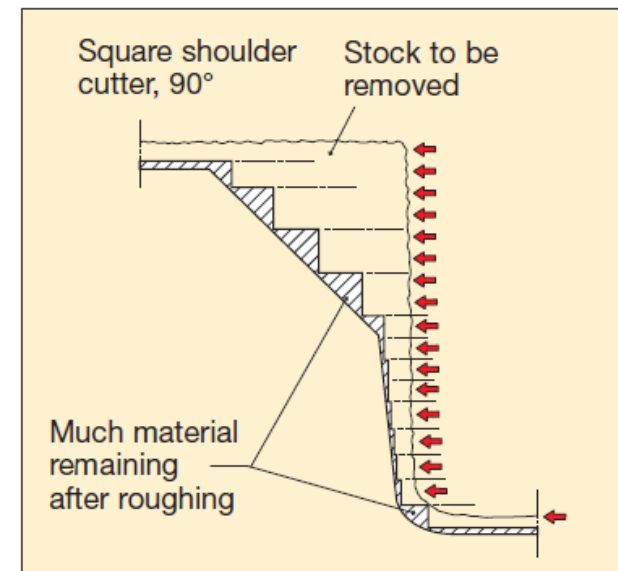
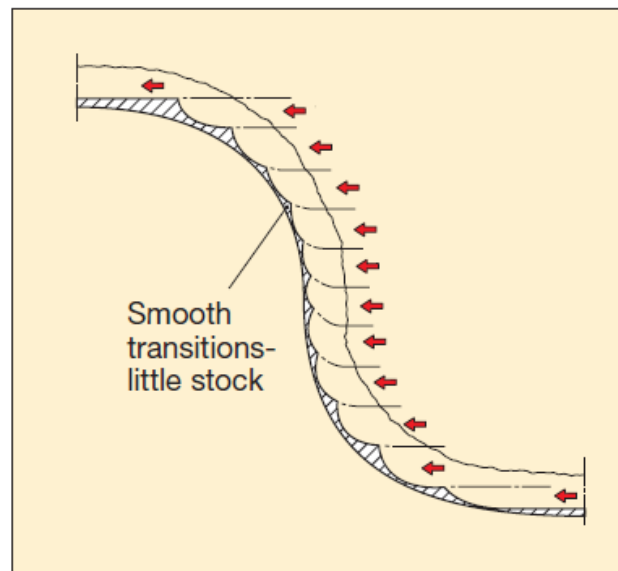


$$f_z = \frac{h_m}{\sin \left[ \arccos \left( \frac{D/2 - a_p}{D/2} \right) \right]} \quad [\text{mm/zub}]$$

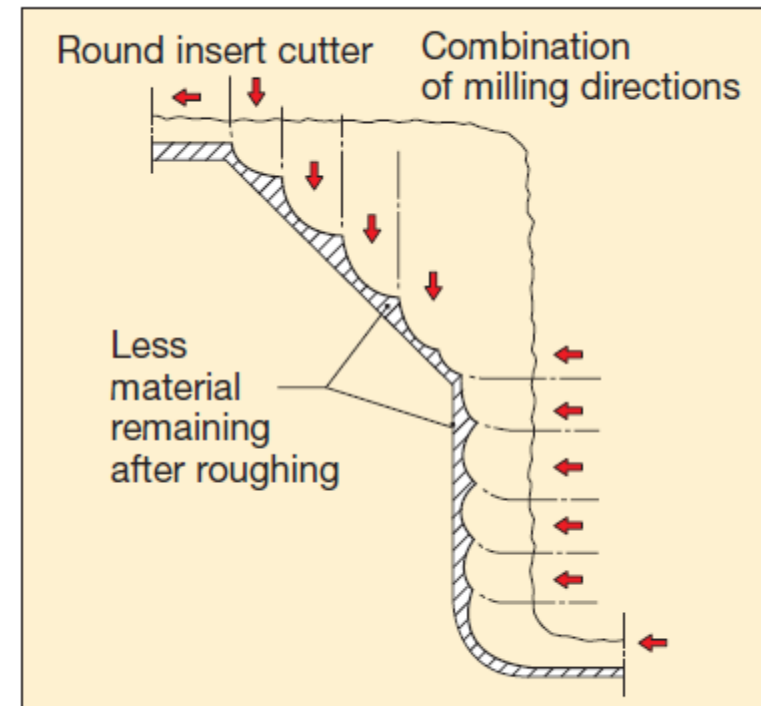
| VBD<br>VRD | D/2  | a <sub>p max</sub> | Doporučené rozsahy středních tlouštěk třísek s ohledem na skupinu obráběných materiálů<br>Doporučené rozsahy středních hlubok třísek s ohledem na skupinu obráběných materiálů |             |             |   |             |             |
|------------|------|--------------------|--|-------------|-------------|---|-------------|-------------|
|            |      |                    | [mm]   | P           | M           | K | N           | S           |
| ZP 10ER-FM | 5,0  | 8,9                | 0,05 ÷ 0,08  | 0,05 ÷ 0,08 | 0,05 ÷ 0,10 | – | 0,04 ÷ 0,06 | 0,04 ÷ 0,06 |
| ZP 12ER-FM | 6,0  | 10,7               | 0,05 ÷ 0,08  | 0,05 ÷ 0,08 | 0,05 ÷ 0,10 | – | 0,04 ÷ 0,06 | 0,04 ÷ 0,06 |
| ZP 12ER-M  | 6,0  | 10,7               | 0,06 ÷ 0,10  | 0,06 ÷ 0,10 | 0,06 ÷ 0,12 | – | –           | –           |
| ZP 16ER-FM | 8,0  | 14,4               | 0,06 ÷ 0,10  | 0,06 ÷ 0,10 | 0,06 ÷ 0,13 | – | 0,04 ÷ 0,07 | 0,04 ÷ 0,07 |
| ZP 16ER-M  | 8,0  | 14,4               | 0,07 ÷ 0,12  | 0,07 ÷ 0,12 | 0,07 ÷ 0,15 | – | –           | –           |
| ZP 16ER-R  | 8,0  | 14,4               | 0,09 ÷ 0,15  | 0,09 ÷ 0,15 | 0,09 ÷ 0,19 | – | –           | –           |
| ZP 20ER-F  | 10,0 | 17,9               | 0,04 ÷ 0,07  | 0,04 ÷ 0,07 | –           | – | 0,03 ÷ 0,05 | 0,03 ÷ 0,05 |
| ZP 20ER-FM | 10,0 | 17,9               | 0,06 ÷ 0,10  | 0,06 ÷ 0,10 | 0,06 ÷ 0,13 | – | 0,04 ÷ 0,07 | 0,04 ÷ 0,07 |
| ZP 20ER-M  | 10,0 | 17,9               | 0,07 ÷ 0,12  | 0,07 ÷ 0,12 | 0,07 ÷ 0,15 | – | –           | –           |
| ZP 20ER-R  | 10,0 | 17,9               | 0,09 ÷ 0,15  | 0,09 ÷ 0,15 | 0,09 ÷ 0,19 | – | –           | –           |
| ZP 25ER-FM | 12,5 | 22,3               | 0,08 ÷ 0,15  | 0,08 ÷ 0,15 | 0,08 ÷ 0,17 | – | 0,05 ÷ 0,08 | 0,05 ÷ 0,08 |
| ZP 25ER-M  | 12,5 | 22,3               | 0,10 ÷ 0,18  | 0,10 ÷ 0,18 | 0,10 ÷ 0,20 | – | –           | –           |
| ZP 25ER-R  | 12,5 | 22,3               | 0,12 ÷ 0,22  | 0,12 ÷ 0,22 | 0,12 ÷ 0,25 | – | –           | –           |
| ZP 32ER-FM | 16,0 | 28,6               | 0,08 ÷ 0,15  | 0,08 ÷ 0,15 | 0,08 ÷ 0,17 | – | 0,05 ÷ 0,08 | 0,05 ÷ 0,08 |
| ZP 32ER-M  | 16,0 | 28,6               | 0,10 ÷ 0,18  | 0,10 ÷ 0,18 | 0,10 ÷ 0,20 | – | –           | –           |
| ZP 32ER-R  | 16,0 | 28,6               | 0,12 ÷ 0,22  | 0,12 ÷ 0,22 | 0,12 ÷ 0,25 | – | –           | –           |
| ZP 40ER-R  | 20,0 | 35,7               | 0,12 ÷ 0,22  | 0,12 ÷ 0,22 | 0,12 ÷ 0,25 | – | –           | –           |
| ZP 50ER-F  | 25,0 | 44,7               | 0,07 ÷ 0,13  | 0,07 ÷ 0,13 | –           | – | –           | –           |
| ZP 50ER-R  | 25,0 | 44,7               | 0,15 ÷ 0,25  | 0,15 ÷ 0,25 | 0,15 ÷ 0,3  | – | –           | –           |



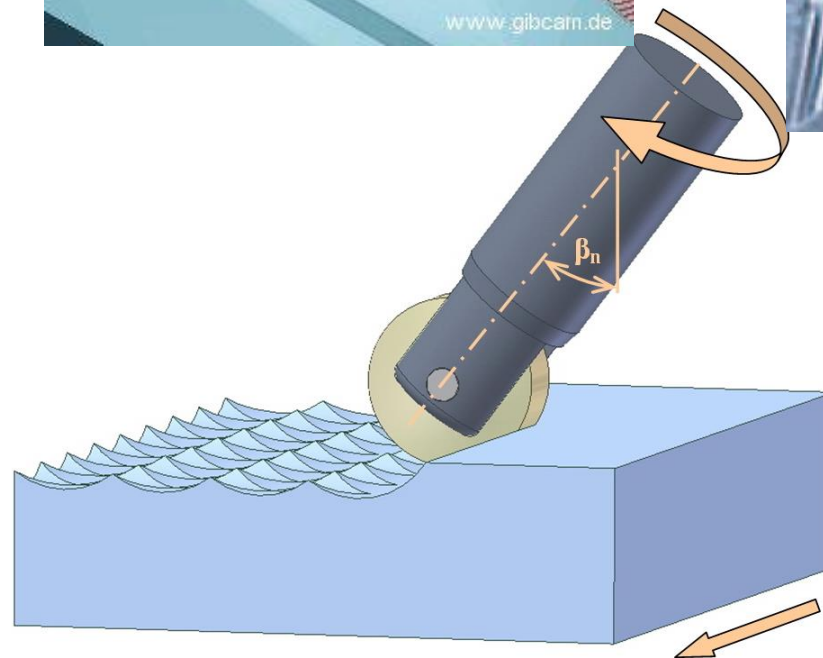
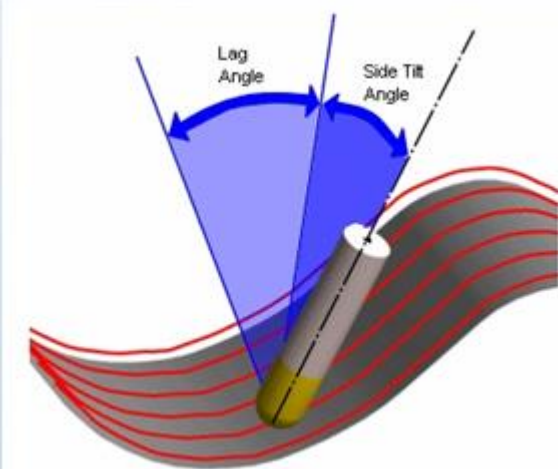
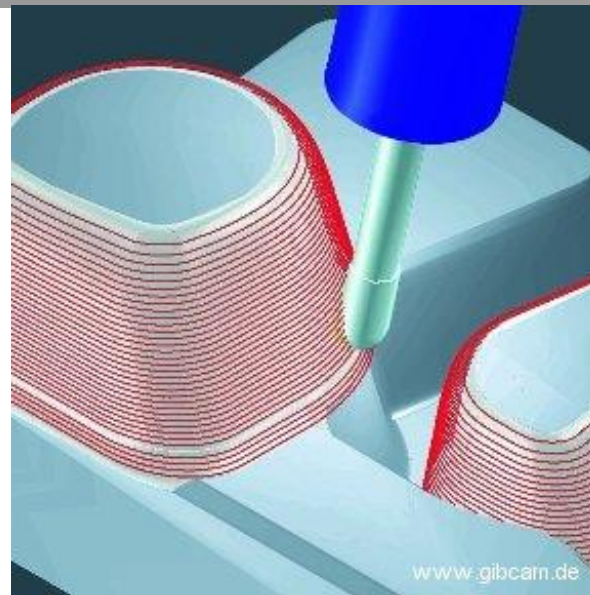
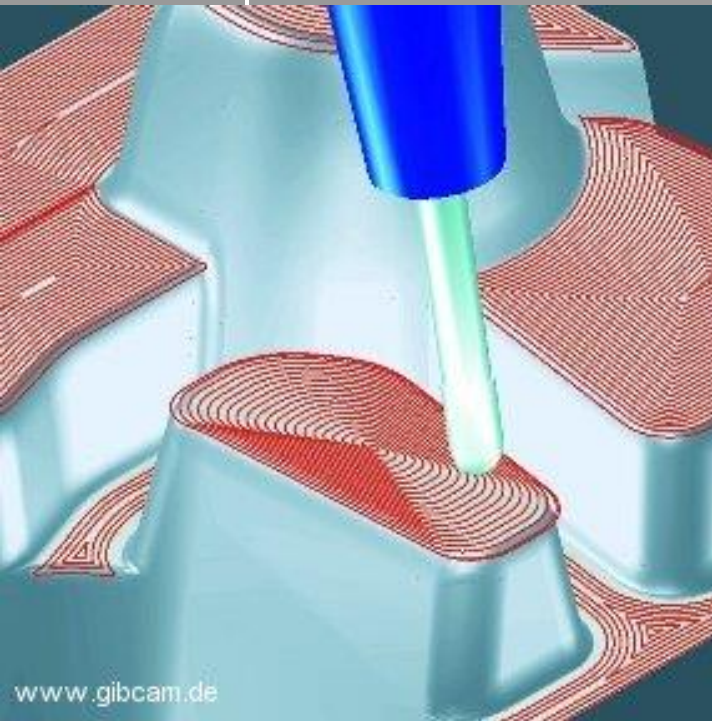
or mould quality. Among the features of round inserts is that they create a variable chip thickness. This allows for higher feed rates compared with most other insert shapes. The cutting action of round inserts is also very smooth as the entering angle successively alters from nearly zero (very shallow cuts) to 90 degrees. At maximum depth of cut the entering angle is 45 degrees and when copying with the periphery the angle is 90 degrees. This also explains the strength of round inserts - the work-load is built up successively.



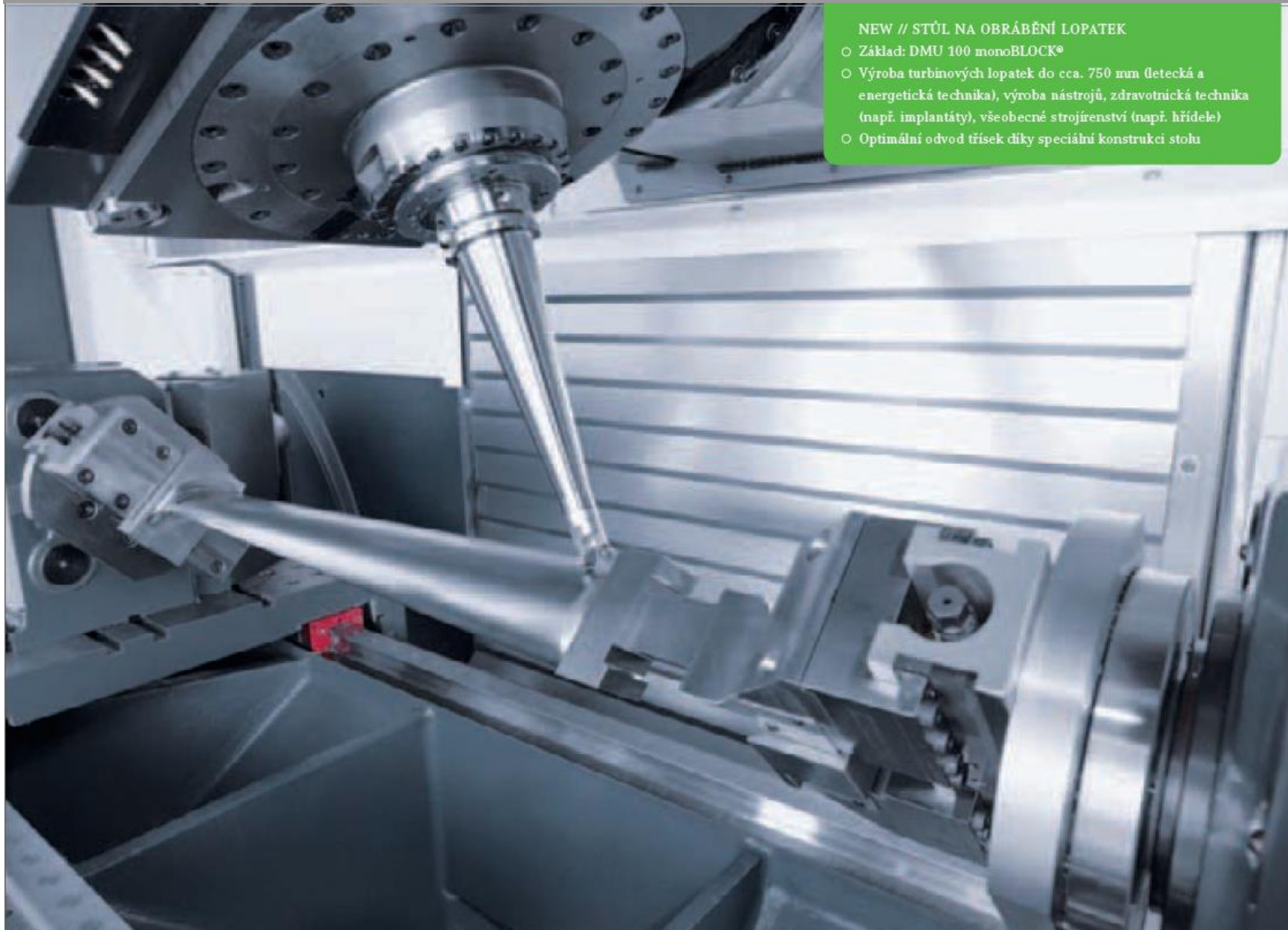
Round inserts should always be regarded as first choice for roughing and medium roughing operations. In 5-axis machining round inserts fit in very well and have practically no limitations. With good programming round insert cutters and toroid cutters can replace ball nose end mills to a very big extent. The productivity increase most often ranges between 5-10 times (compared with ball nose end mills). Round insert cutters with small run-outs can in combination with ground, positive and light cutting geometries also be used in semi-finishing and some finishing operations.



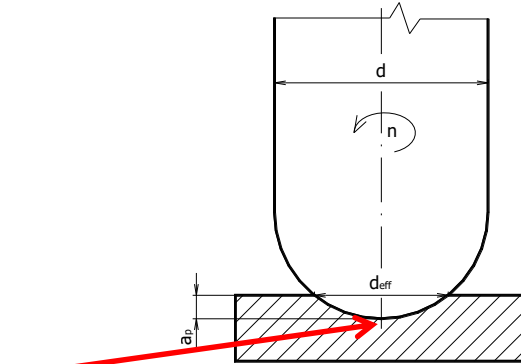
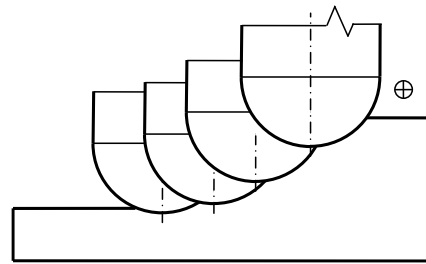
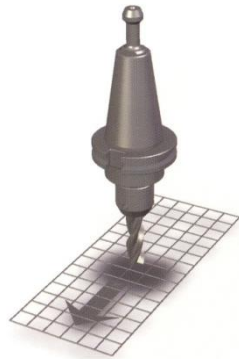
# Obrábění s náklonem nástroje



## ***Příklad obrábění turbínových lopatek na stroji DMU 100 monoBLOCK***



## 3osé frézování při obrábění kulovým nástrojem



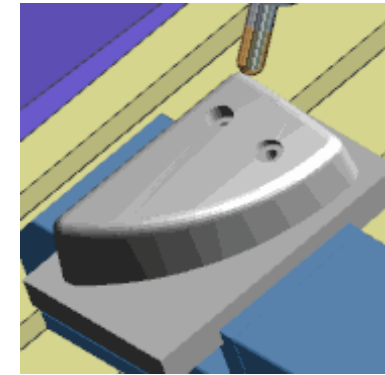
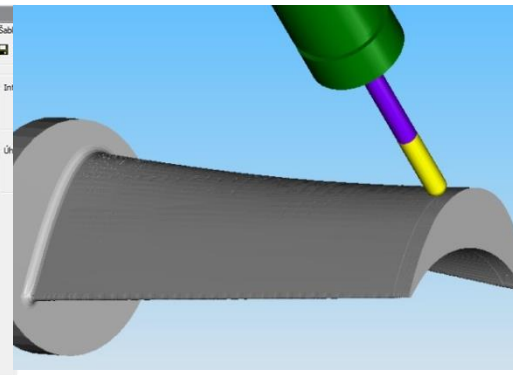
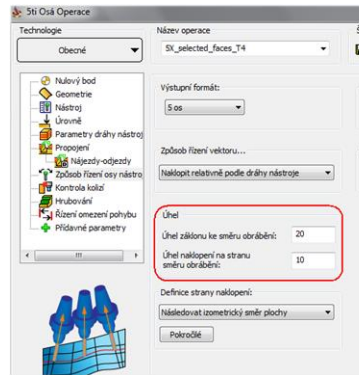
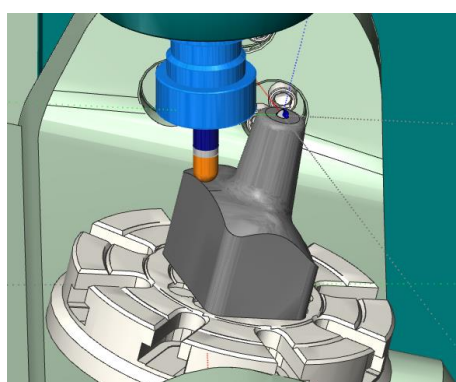
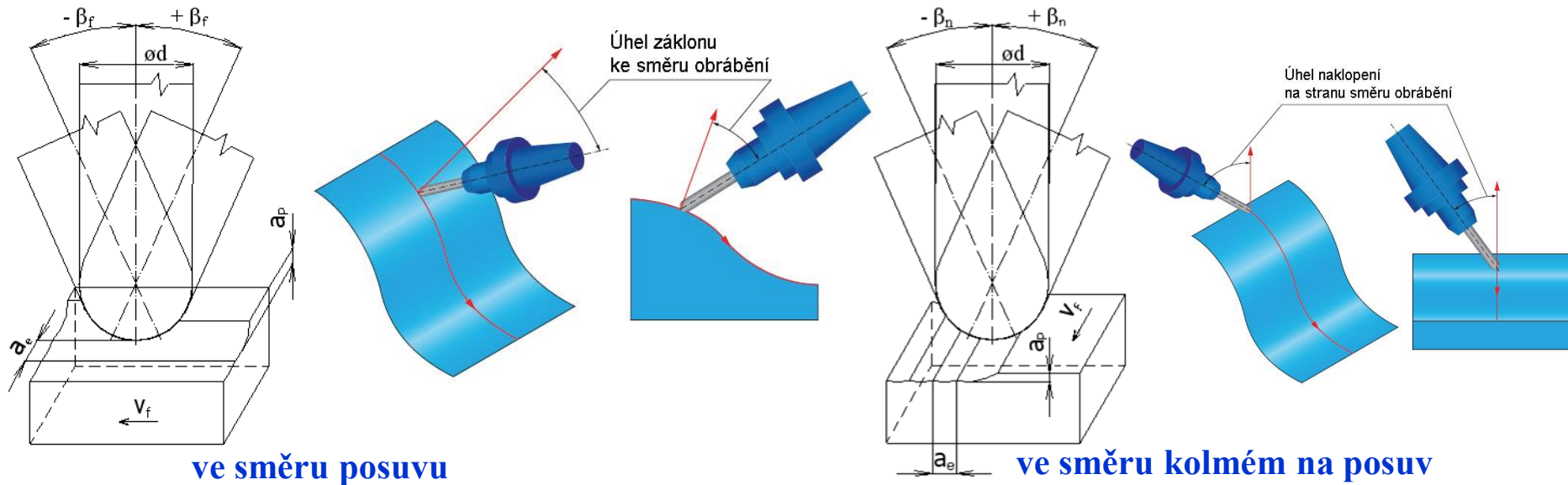
- ❑ v ose frézy je nulová řezná rychlost  
     ➔ nástroj zatlačuje materiál obrobku
- ❑ pěchování třísky,
- ❑ zvyšování teploty řezání,
- ❑ zvýšená tvorba nárůstku.

- ➔
  - zhoršení jakosti povrchu,
  - snížení trvanlivosti nástroje ➔ vyštípnutí



**Proto přichází do úvahy změna polohy osy nástroje –  
 náklon nástroje, nebo obrobku.**

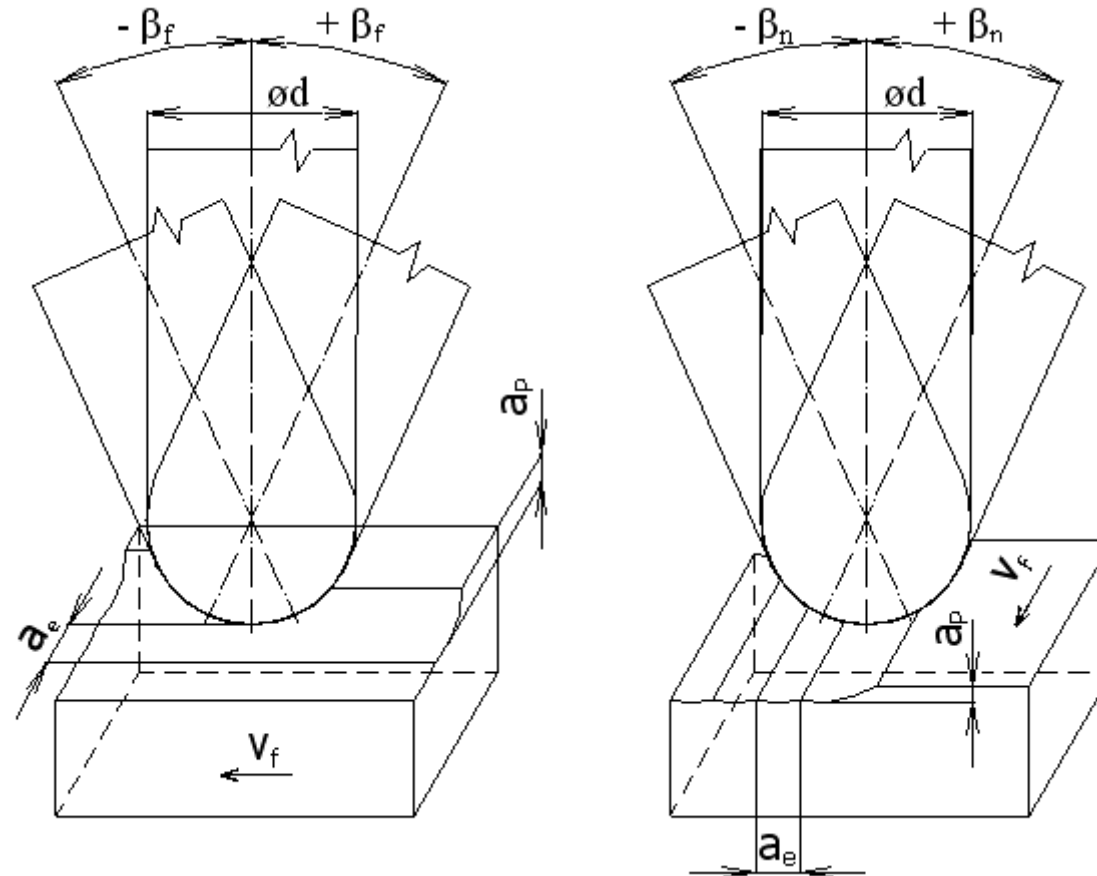
# 5osé frézování při obrábění kulovým nástrojem - naklopení



kombinace náklonů  
nabízí se otázka....

**Jaký úhel polohy osy nástroje vzhledem k obrobku je tedy vhodný?**

# Strategie frézování při obrábění naklopeným nástrojem

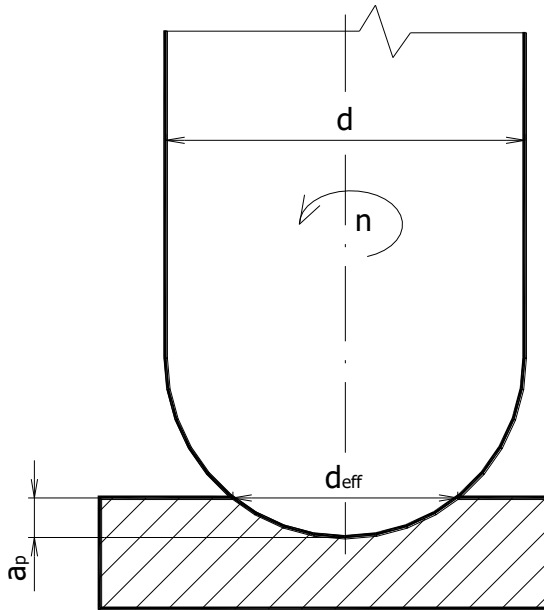


**naklopení ve směru posuvu**

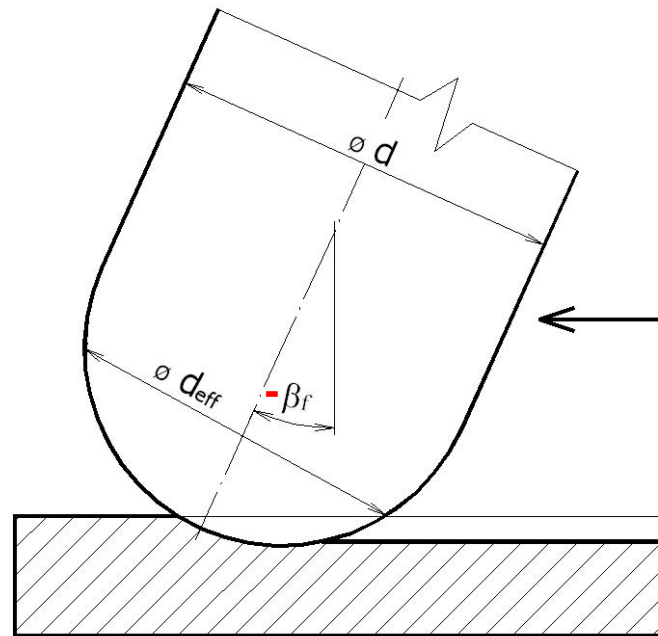
**naklopení ve směru kolmém na posuv**

# Způsob náklonu

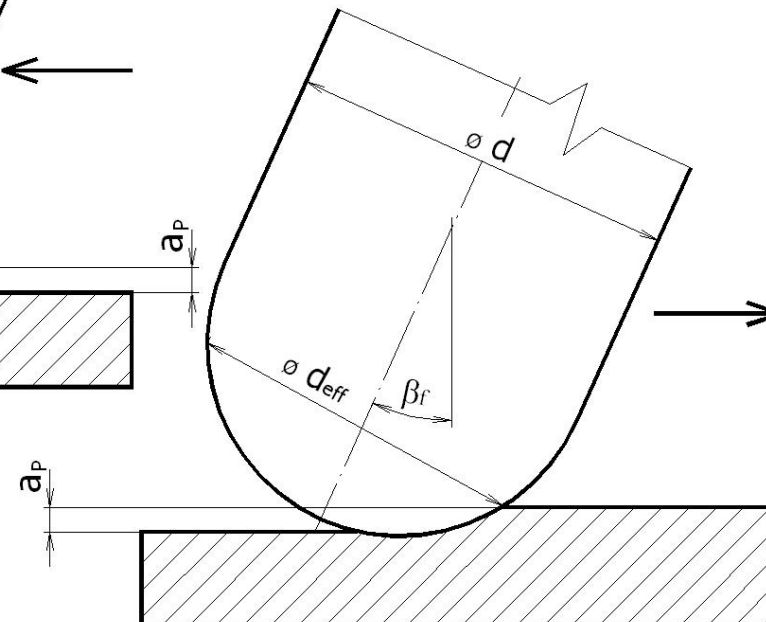
## nástroj bez náklonu



## tlačený nástroj



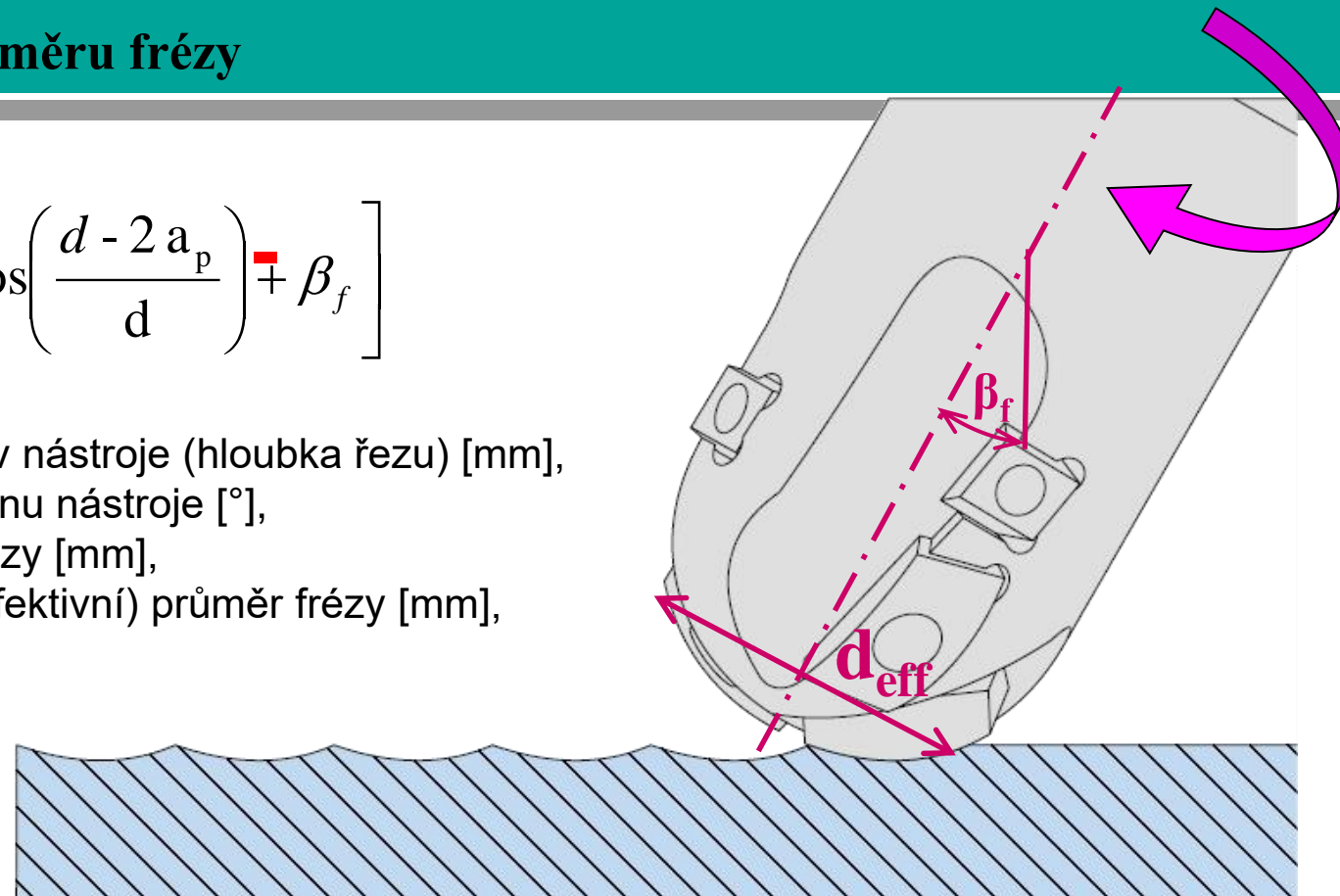
## tažený nástroj



## Výpočet efektivního průměru frézy

$$d_{eff} = d \cdot \sin \left[ \arccos \left( \frac{d - 2 a_p}{d} \right) + \beta_f \right]$$

kde:  $a_p$  axiální přísuv nástroje (hloubka řezu) [mm],  
 $\beta_f$  úhel náklonu nástroje [°],  
 $d$  průměr frézy [mm],  
 $d_{eff}$  skutečný (efektivní) průměr frézy [mm],



**Tlačený  
nástroj**

**nižší  $d_{eff}$**

**nižší  $v_{ceff}$**

větší oblast primární plastické deformace

- větší hodnoty složek sil řezání -
- zvětšování složky síly působící ve směru vřetene

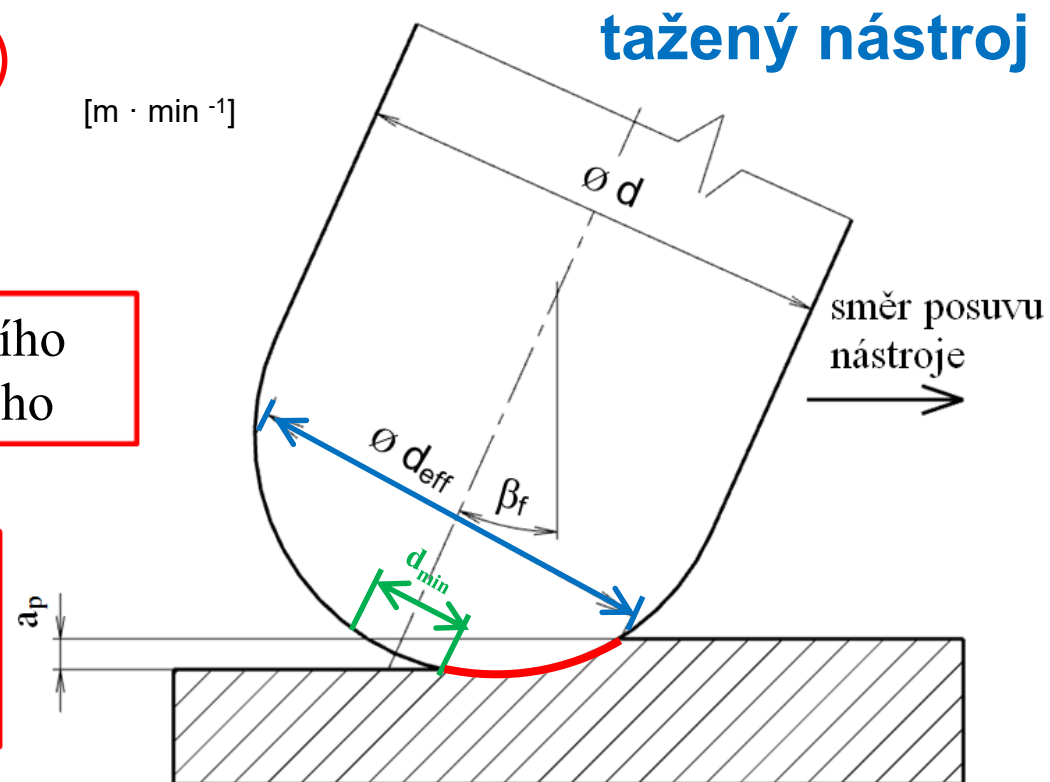
**změna tuhosti**

# Efektivní řezná rychlost se vypočte dle vztahu:

$$V_{c,eff} = \frac{\pi \cdot n \cdot d_{eff}}{1000} \quad [m \cdot min^{-1}]$$

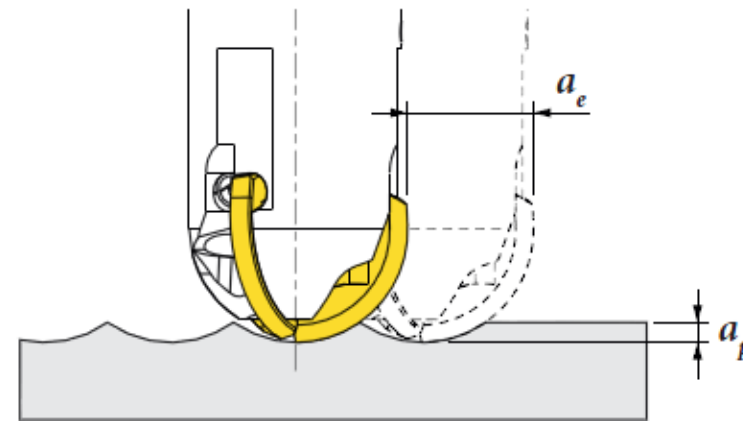
mění se od minimálního průměru do efektivního

Řezná rychlost **není konstantní** při frézování nakloněným nástrojem po celém obvodu úběru materiálu.

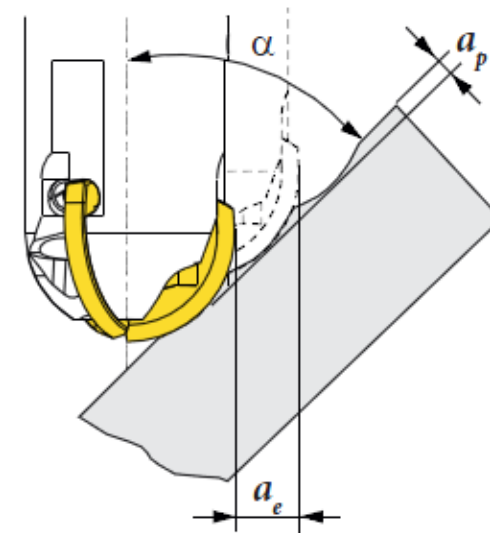


kde:  $d_{eff}$  je skutečný (efektivní) průměr frézy [mm],  
 $n$  jsou otáčky frézy [ $min^{-1}$ ],  
 $V_{c,eff}$  je skutečná (efektivní) řezná rychlost [ $m \cdot min^{-1}$ ].

$$D_{ef} = \sqrt{D^2 - (D - 2a_p)^2}$$



$$D_{ef} = \sqrt{D^2 - (D - 2a_p)^2} \cdot \sin \gamma + (D - 2a_p) \cdot \cos \gamma \quad [\text{mm}]$$



## Použitá literatura

1. [AB Sandvik Coromant. Hlavní katalog 2008 – soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů](#), Elanders, Švédsko.
2. [EMUGE-FRANKEN, výrobce řezných nástrojů. 2023 \[online\], \[cit. 2023-10-23\] Dostupné na: https://emuge-franken.cz/vrtani-a-zavitovani/](#)
3. [ISCAR, výrobce řezných nástrojů. 2023 \[online\], \[cit. 2023-12-08\] Dostupné na: https://www.iscar.com/eCatalog/Family.aspx?fnum=417&mapp=IS&GFSTYP=M&srch=1](#)
4. [SOLFRONK, Pavel. Teorie a technologie zpracování plechů. \[online\]. \[cit. 2014-05-21\]. Dostupné na: http://www.techno-mat.cz/data/katedry/ksp/KSP\\_TZP\\_PR\\_02\\_CZE\\_Solfronk\\_Tribologie\\_a\\_maziva\\_v\\_automobilovem\\_prumyslu.pdf](#)
5. [DMG-MORI, výrobce obráběcích strojů, 5osé obrábění \[cit. 2024-02-10\]. Dostupné z: https://transform.dmgmori.com/en/whytransformation-processintegration-millturn?utm\\_source=dmgmori\\_product&utm\\_medium=referral&utm\\_campaign=mx-2023](#)

## Děkuji za pozornost

prof. Ing. Marek SADÍLEK, Ph.D.

A 1009, tel: 4475

marek.sadilek@vsb.cz

<http://www.346.vsb.cz/>

Toto dílo je licencováno pod [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 



Financováno  
Evropskou unií  
NextGenerationEU



Národní  
plán  
obnovy

MSMT  
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Transformace formy a obsahu vysokoškolského vzdělávání na VŠB-  
TUO

NPO\_VŠB-TUO\_MSMT-16605/2022