Poznámka: tyto materiály slouží pouze pro opakování STT žáků SPŠ Na Třebešíně, Praha 10; s platností do r. 2016 v návaznosti na platnost norem. Zákaz šíření a modifikace těchto materiálů. Děkuji Ing. D. Kavková

Obrábění

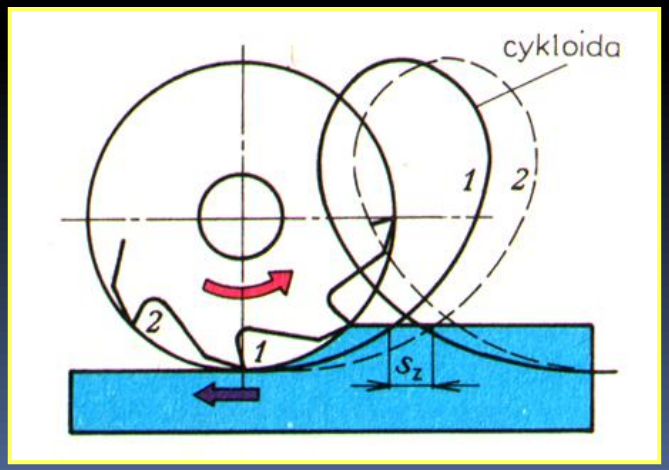
FRÉZOVÁNÍ

Základní charakteristika frézování

- **frézování** - třískové obrábění rovinných i vnitřních a vnějších tvarových ploch
- stroje - **frézky**
- nástroje - **frézy**

Kinematika obrábění

- **hlavní řezný pohyb** - rotační
  koná nástroj - fréza
- **vedlejší pohyb** - přímočarý či kruhový
  (obvykle kolmý na osu otáčení frézy)
  koná obrobek
- **výsledný řezný pohyb** - tvar cykloidy

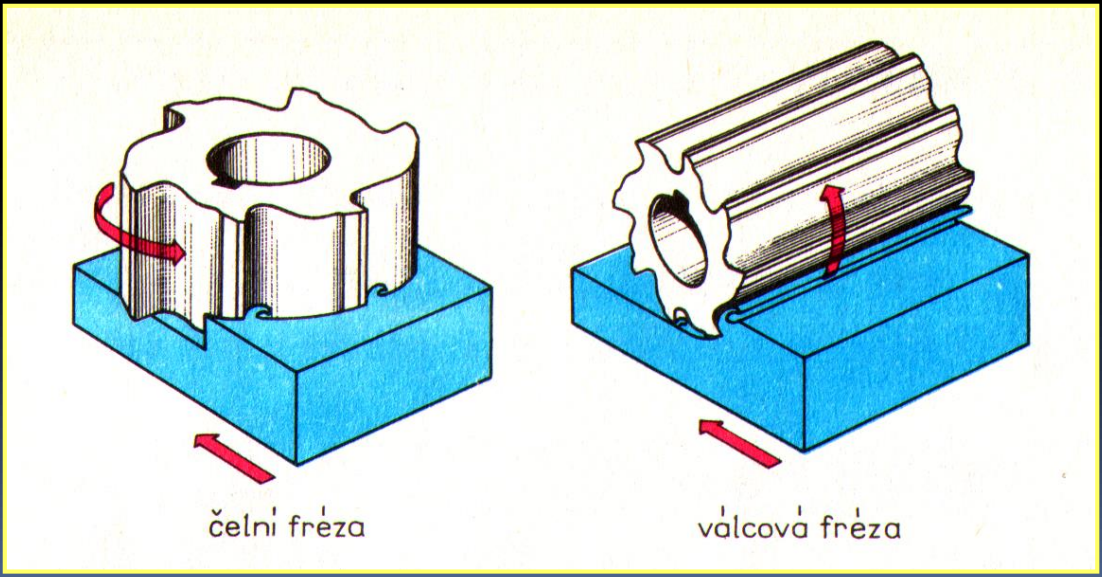


Kinematika obrábění - nové frézky

- posuvy
  - plynule měnitelné
  - realizovatelné ve více směrech zároveň
- víceosá obráběcí centra

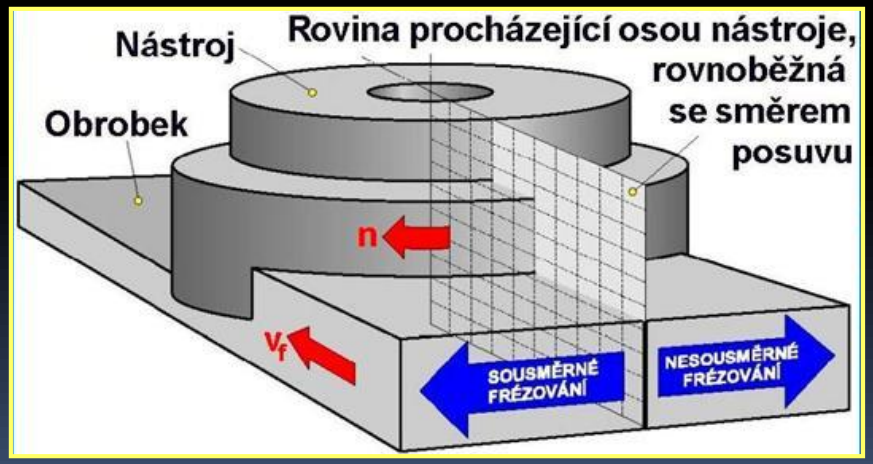
Základní způsoby frézování

- **čelní frézování** - fréza řeže zuby současně na obvodě i na čele
- **válcové frézování** - fréza řeže zuby na obvodě



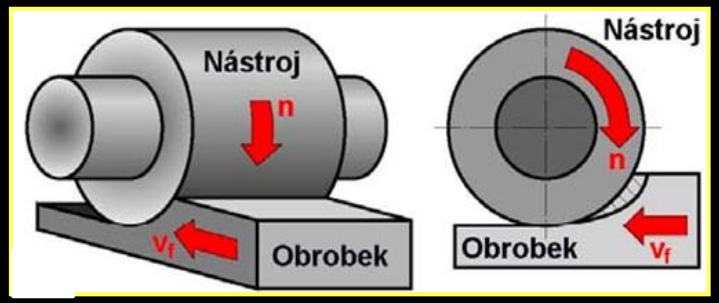
Čelní frézování

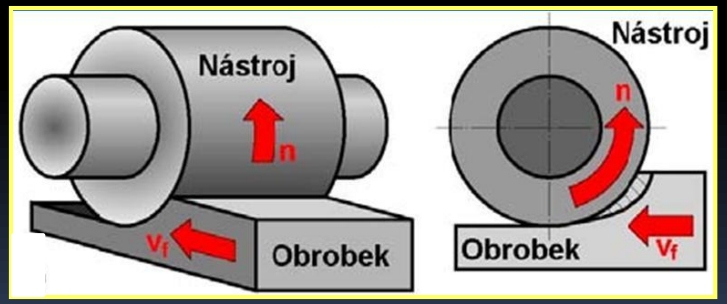
- průměr frézy **D > B [mm]**
  B…šířka obráběné plochy
- osa frézy stojí kolmo k obráběné ploše
- tříska o stejné síle
- rovnoměrné namáhání
- klidný chod stroje



Frézování válcovými frézami

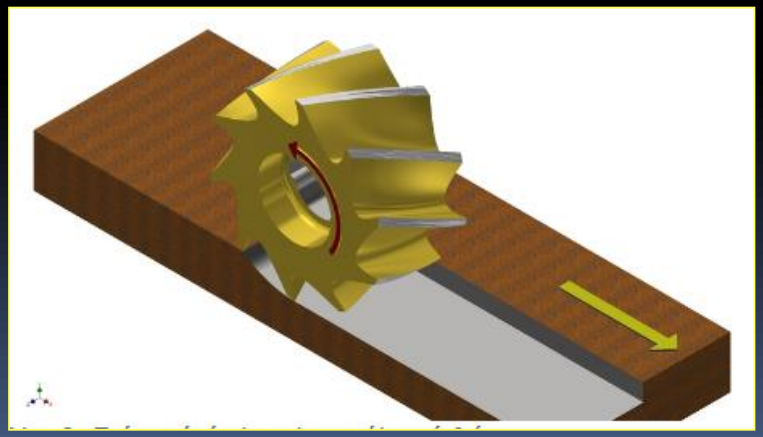
- **sousledné**
  - směr otáčení vřetene **souhlasný** se směrem posuvu obrobku
- **nesousledné**
  - směr posuvu **nesouhlasný** se směrem otáčení vřetene

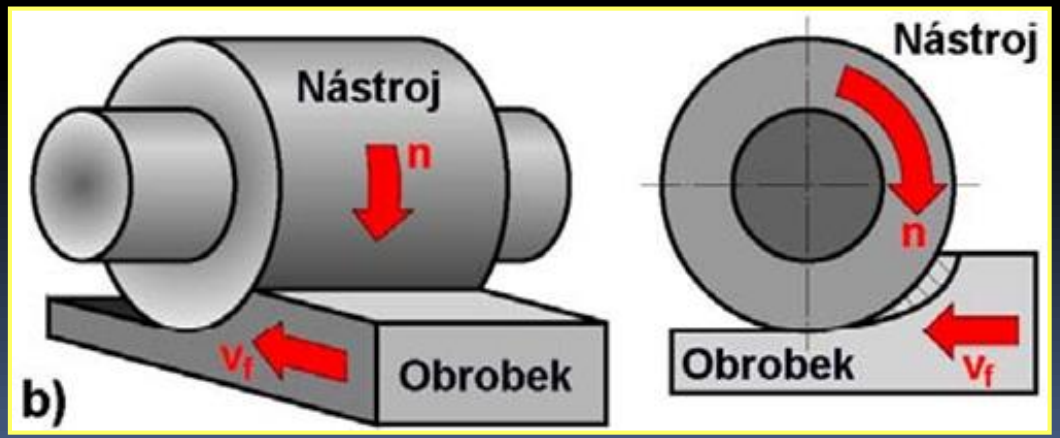




Sousledné frézování

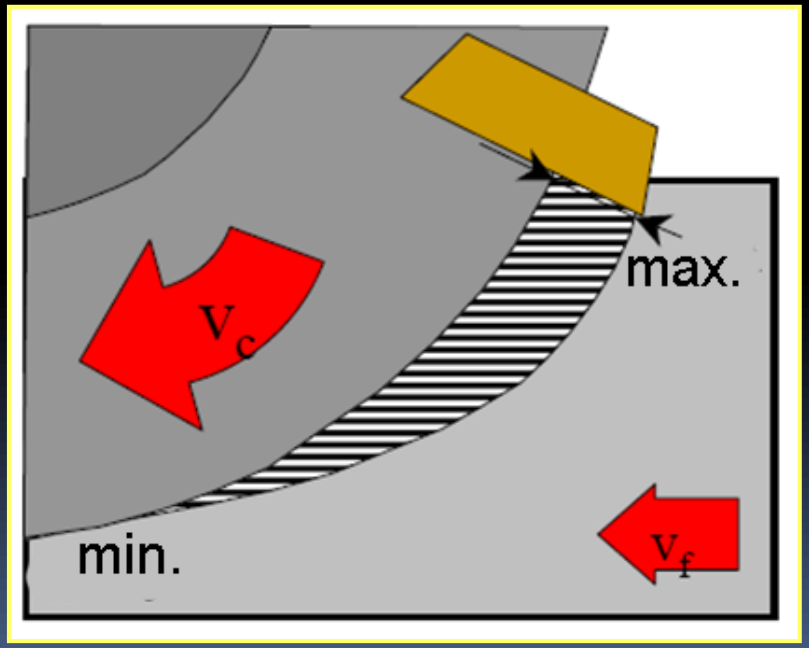
- vyšší trvanlivost nástrojů
- použití vyšších řezných rychlostí a posuvů
- menší sklon ke kmitání
- menší drsnost obrobené plochy





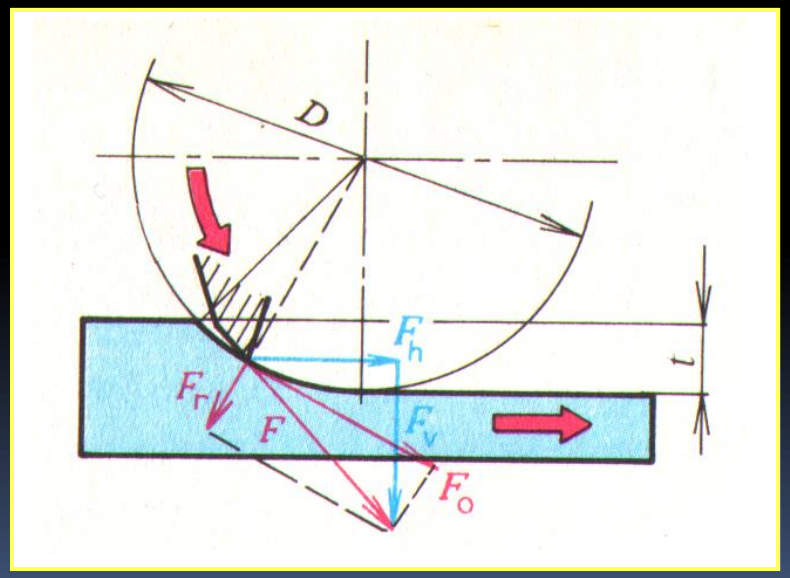
Sousledné frézování

- **nevýhody**
  - silové rázy při záběru každého zubu (zmírnění použitím fréz se šikmými zuby)
- **použití**
  - materiál obrobků měkký, houževnatý
- **frézky**
  tuhé konstrukce



Sousledné frézování

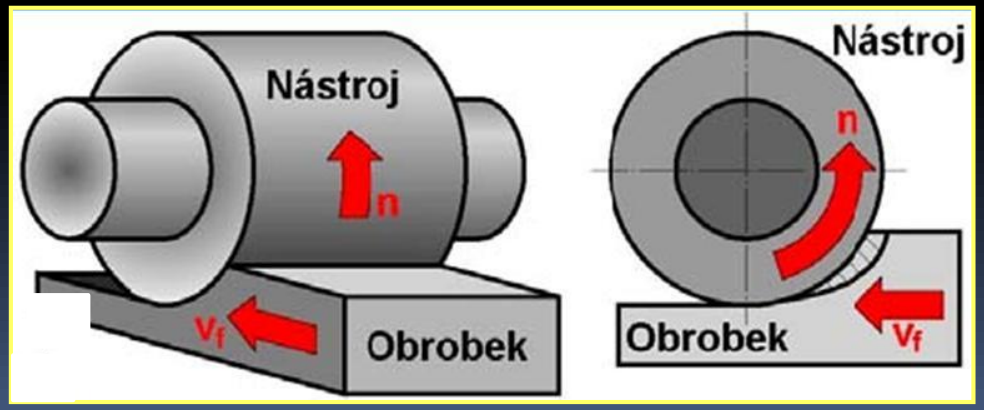
- jednodušší upínání
  - řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu



- **řezné síly**
- F_o…obvodová složka (tangenciální)
- F_r…radiální složka
- F….výsledná
- F_h…horizontální složka
- F_v…vertikální složka

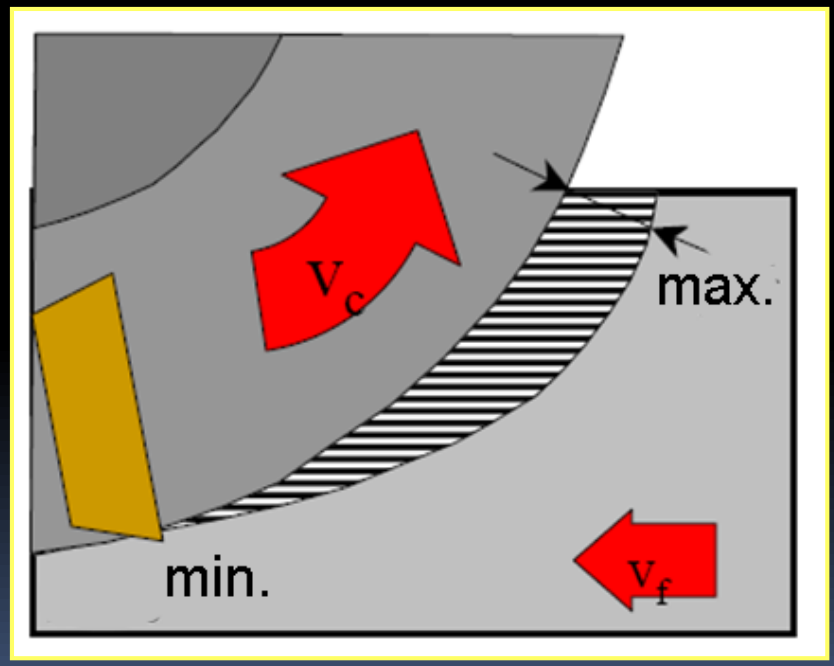
Nesousledné frézování

- **výhody**
  - menší opotřebení stroje
  - průřez třísky se postupně zvětšuje z min. do max. hodnoty
  - záběr zubů nezávisí na hloubce řezu



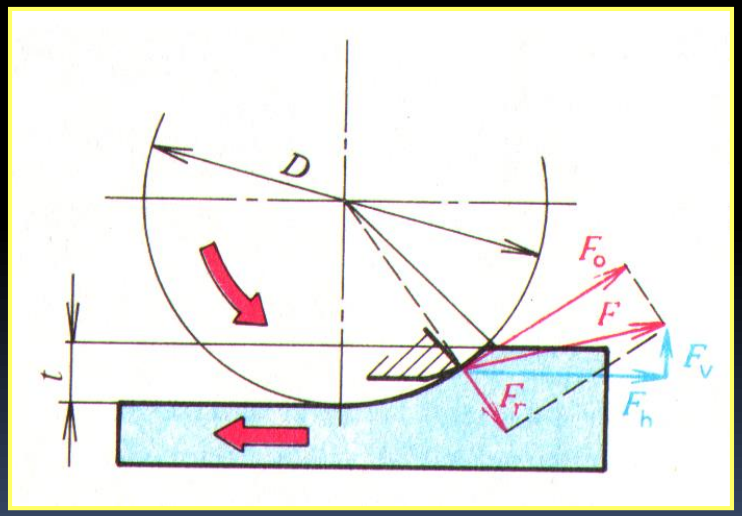
Nesousledné frézování

- **nevýhody**
  - začátkem řezu fréza prokluzuje
  - rychlejší otupení, horší jakost povrchu
  - menší řezný výkon
- **použití**
  - obrábění výkovků, odlitků a výlisků s nečistým či tvrdým povrchem



Nesousledné frézování

- směr vertikální síly F_v proti upínací síle



- **řezné síly**
- F_o…obvodová složka (tangenciální)
- F_r…radiální složka
- F….výsledná síla
- F_h…horizontální složka
- F_v…vertikální složka

Nástroje - rozdělení fréz

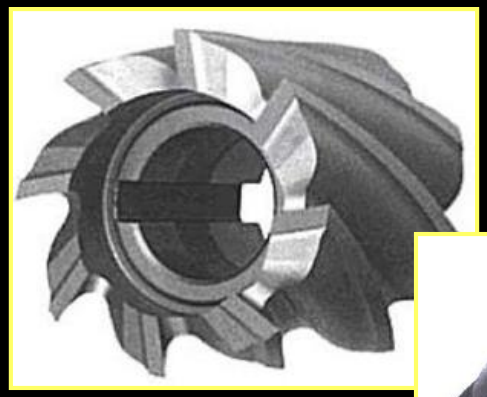
- vícebřité řezné nástroje, tvarově složité
  - rychlořezná ocel (celistvé nástroje)
  - vsazené zuby (tělo konstrukční ocel)
- tvary a velikosti fréz normalizované
- možno objednat libovolný tvar frézy dle výkresu

Frézy dle umístění zubů na těle

- **válcové** - zuby na válcové ploše
- **čelní** - zuby na čelní ploše
- **válcové čelní** - zuby na čelní i válcové ploše

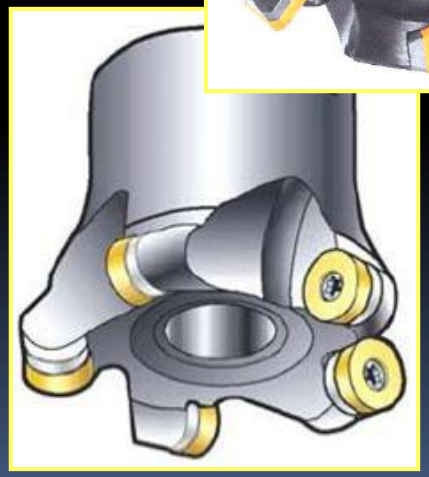
Frézy dle materiálu zubů

- rychlořezná ocel
- slinutý karbid
- cermety
- řezná keramika
- kubický nitrid bóru
- polykrystalický diamant



RO

SK



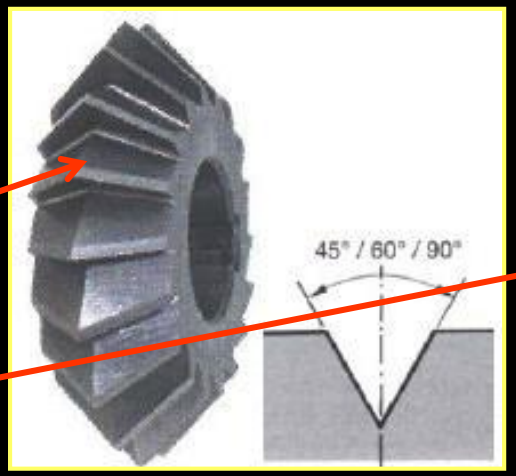
C

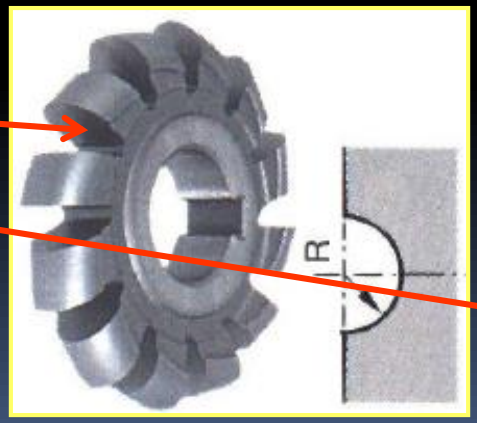
Frézy dle konstrukčního uspořádání

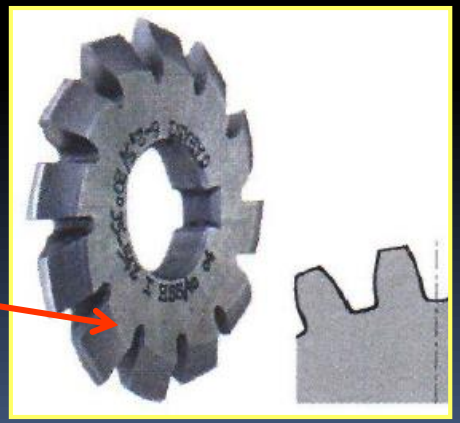
- **celistvé** - těleso i zuby z jednoho materiálu
- **vložené nože**
- **vyměnitelné destičky** - mechanicky upevněné

Frézy dle geometrického tvaru

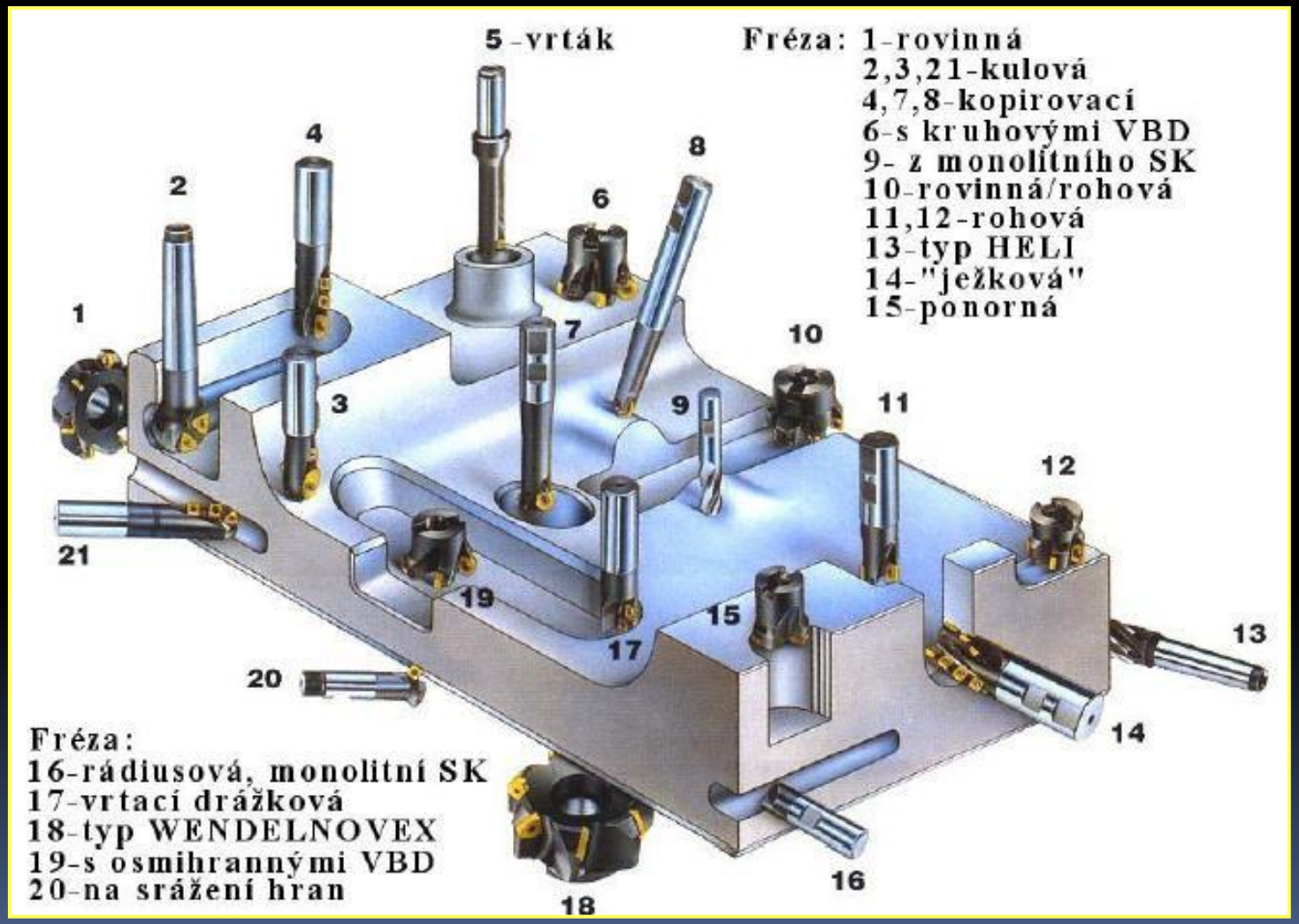
- válcové
- kotoučové
- úhlové
- drážkovací
- kopírovací
- rádiusové
- na výrobu ozubení





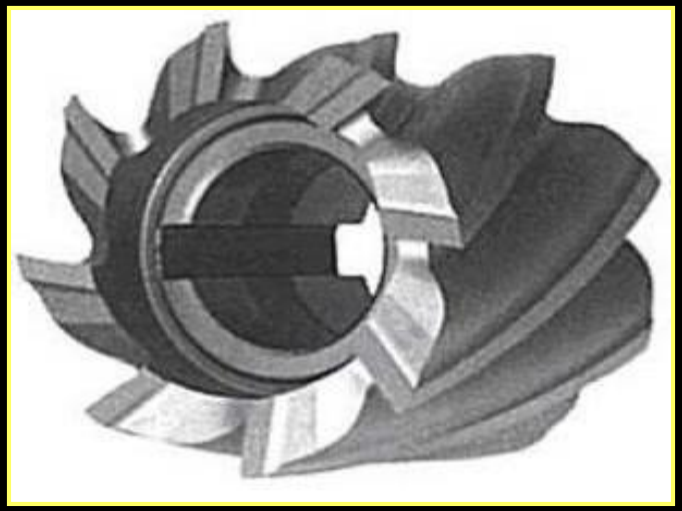


Frézy dle geometrického tvaru



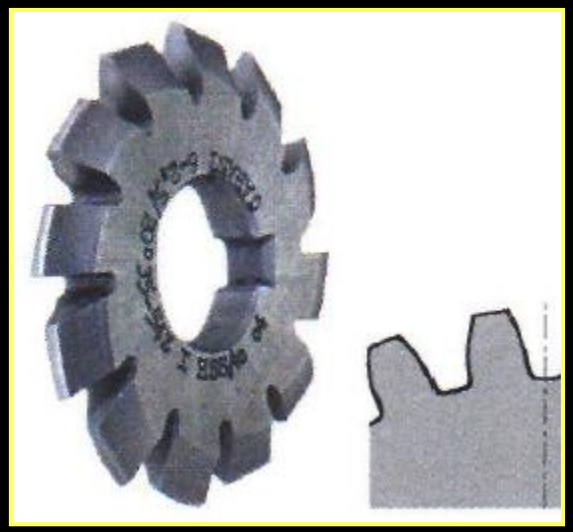
Frézy dle provedení zubů

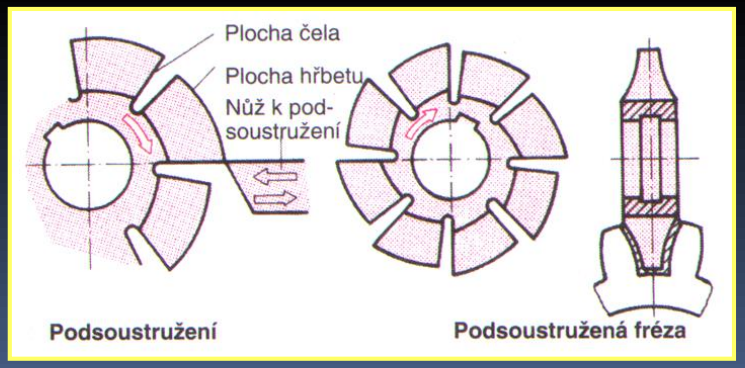
- **frézované**
- rovné břity
- obrábění rovinných ploch
- broušení na hřbetu



Frézy dle provedení zubů

- **podsoustružené**
- zakřivené břity tvaru obráběné plochy
- broušení na čele (zachován tvar břitu (úhel čela γ = 0°)
- použití u tvarových fréz - např. výroba ozubení





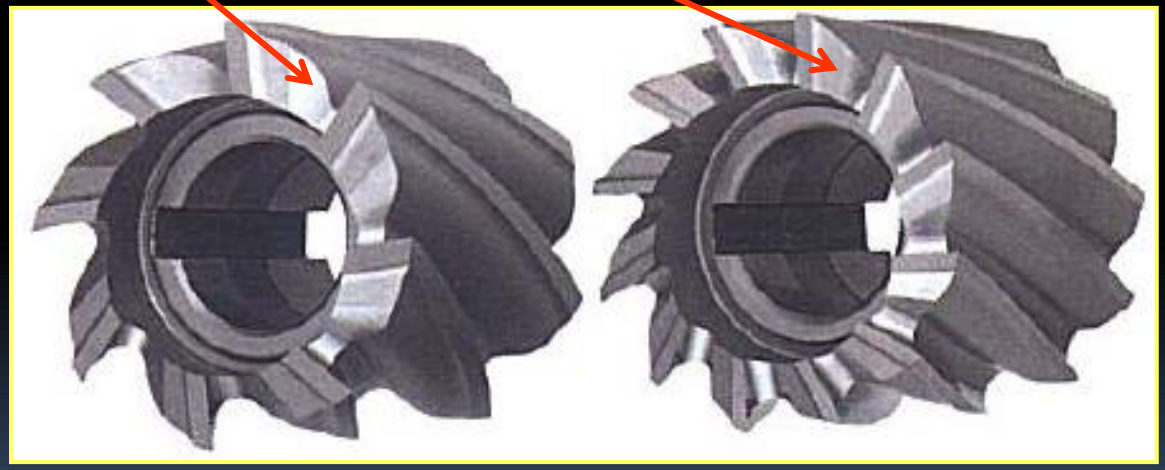
Frézy dle směru zubů

- **vzhledem k ose rotace**
- přímé
- ve šroubovici

  - pravé
  - levé
  - zuby zabírají postupně
  - řezný proces plynulý, klidný

Frézy podle počtu zubů

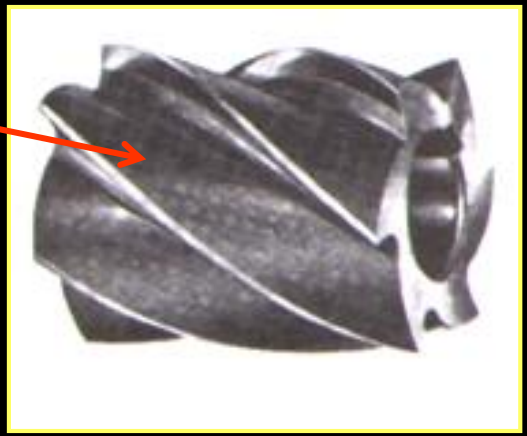
- jemnozubé
- polohrubozubé
- hrubozubé



- **klidný chod frézy** - v řezu min. dva zuby

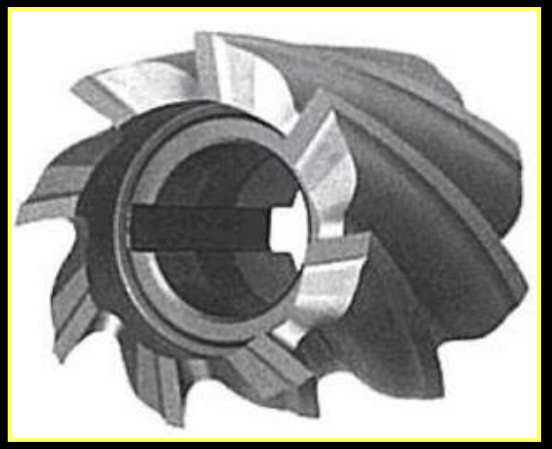
Frézy podle způsobu upnutí

- nástrčné
- stopkové
  - válcová stopka
  - kuželová stopka



Frézy dle smyslu otáčení

- pohled od vřetena stroje
- **pravořezné**



- **levořezné**

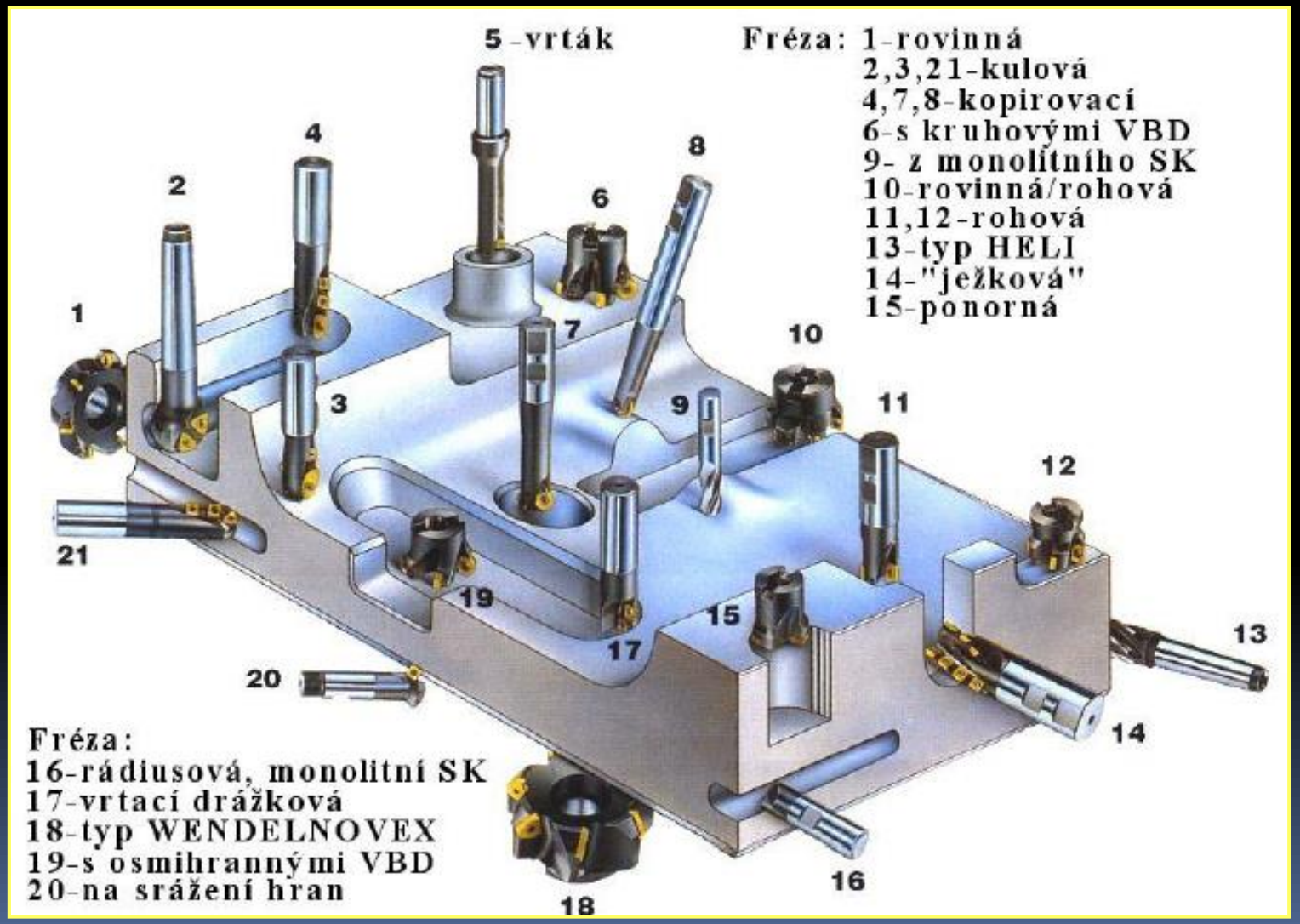
Frézy firmy Iscar

Frézy firmy Iscar

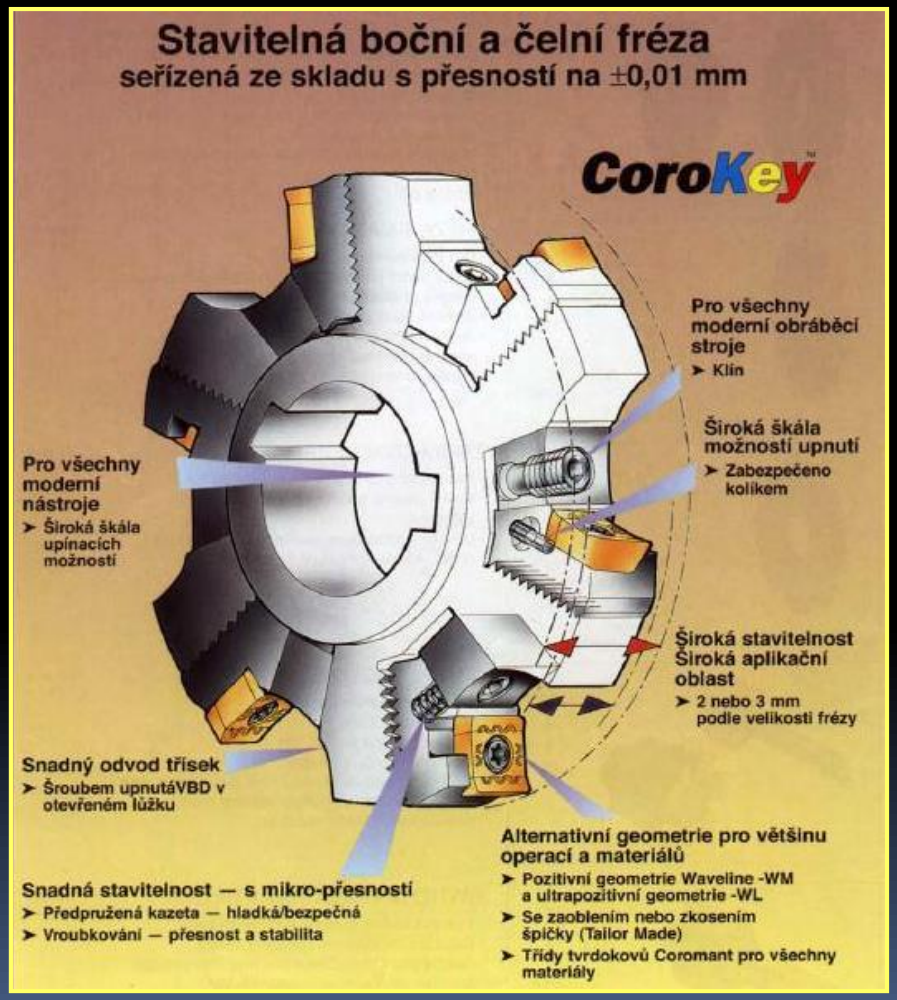
Frézy firmy Iscar

Pramet Tools (ČR)

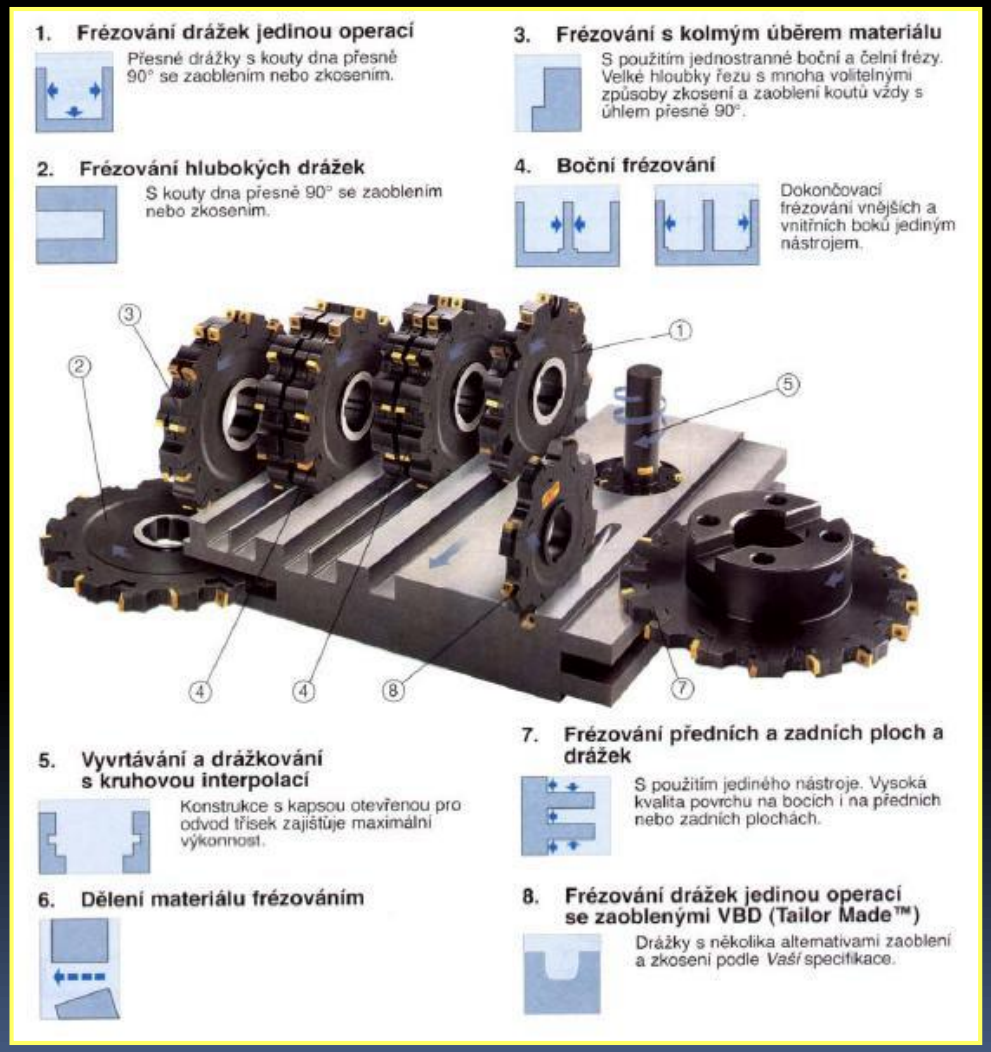
Frézy firmy Walter



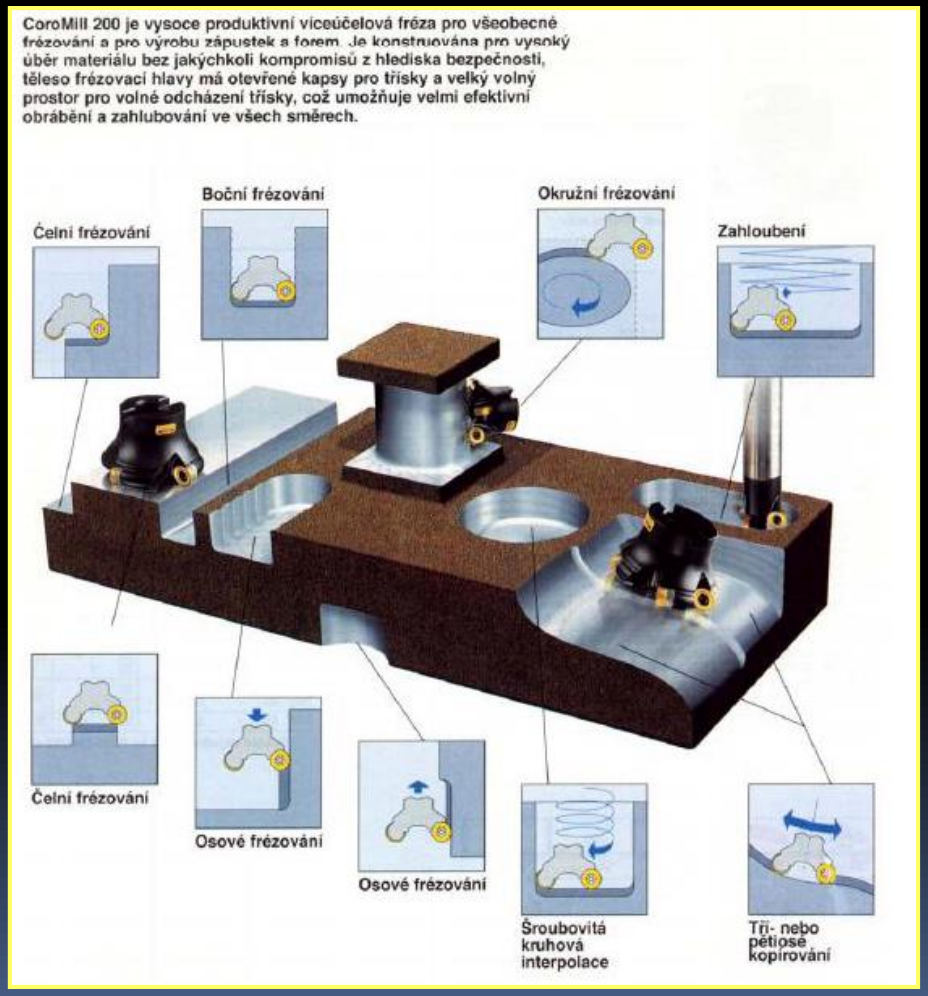
CoroMill 331



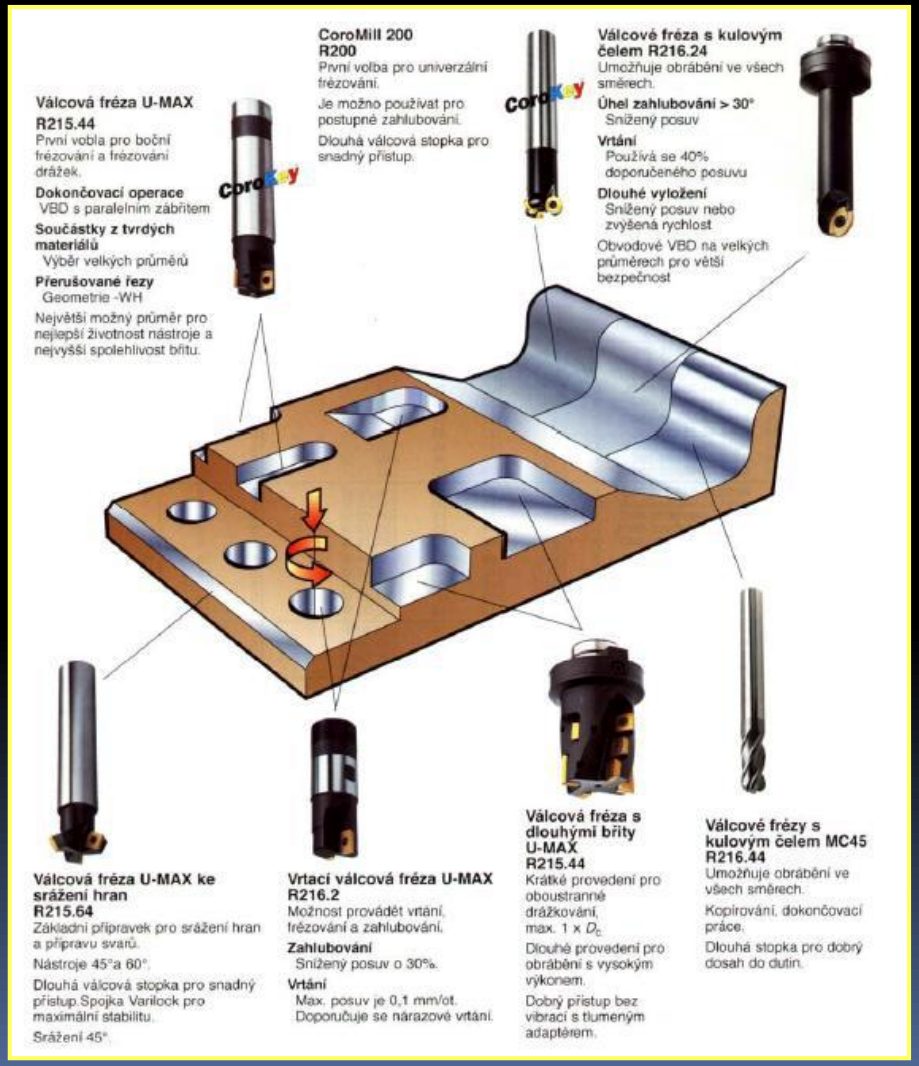
Drážkovací fréza



Univ. frézov. hlava CoroMill 200



Válcové čelní frézy



Stopkové frézy - Coronite

- vysoká trvanlivost břitu
- vysoká jakost obrobeného povrchu
- **použití**
  - obrábění ocelí
  - slitin lehkých neželezných kovů
  - šedé litiny

Výrobní technologie

- ocelové jádro
  - pružinová ocel
  - zvlášť vysoká houževnatost
- vrstva materiálu Coronite
  - tloušťka ≈ 15% průměru
- vnější, fyzikálně nanesený povlak (TiCN nebo TiN)
  - tloušťka ≈ 2μm

Ocelotvrdokovová TK fréza

- **přednosti**
  - čtyři břity rozdílného stoupání šroubovice

obrábění ocelí - 35° a 38°

obrábění hliníku - 40° a 42°

dokončování - 6 břitů, 44°,45° a 46°

  - nástroje bez povlaku i s vícevrstvým povlakem
- obrábění veškerých materiálů
- výrazné omezení vibrací
- vhodnost pro hrubování i dokončování

Frézy Helido

- pozitivní geometrie
- tuhá konstrukce - vhodné pro těžké aplikace
- nástrčné frézy
  D = (40 až 160)mm
- obdélníkové oboustr. vyměnitelné destičky se čtyřmi pravořeznými břity ve šroubovici

Frézy Aluminator

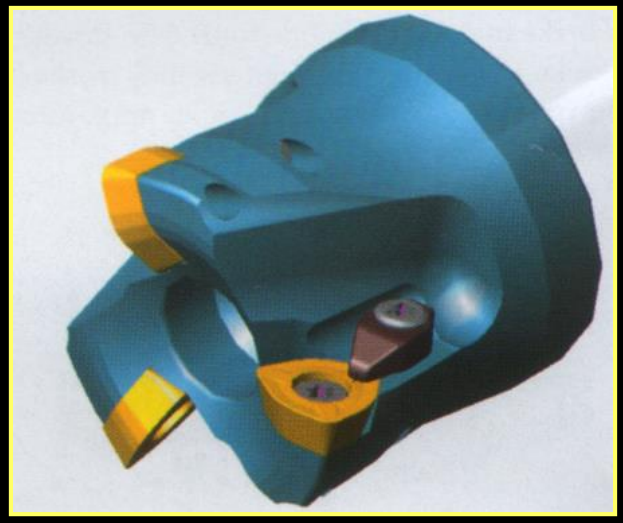
- obrábění **Al** a **Ti**
- nástrčné frézy
- frézovací hlavičky
- velké zubové mezery pro odvod třísek opatřeny otvory pro přívod chladící emulze
- povrch chráněn niklovým povlakem

Frézy – systém Turbo

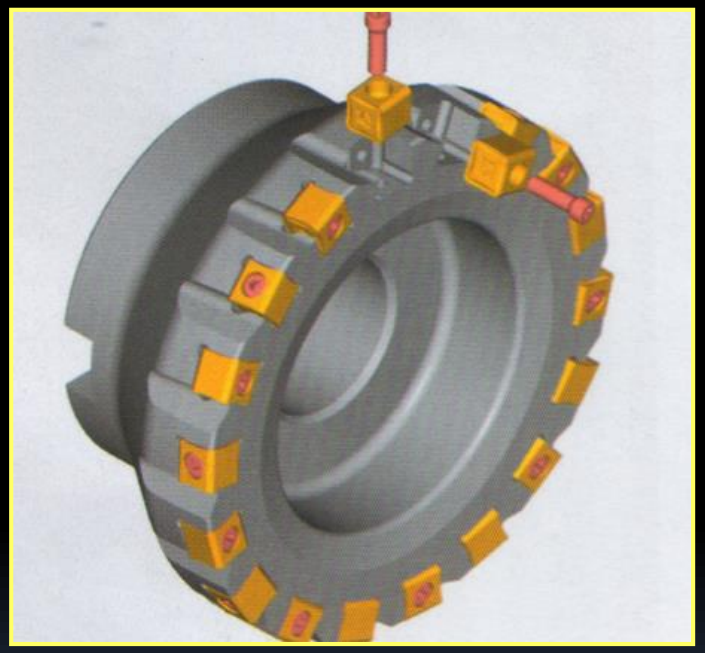
- rohové frézování,
  frézování drážek
- destičky s větší tloušťkou
- upnutí pomocí středového šroubu
- použití
  - všechny materiály
  - velké výkony při obrábění
  - náročné aplikace

Frézy

- **rychloposuvové**
  - produktivní výroba forem
  - posuv až 3,5mm na zub
- provedení
  - stopkové øD až 50mm
  - nástrčné øD až 160mm
- **fréza Storm Mill**
  vysoký úběr materiálu
  velké posuvy

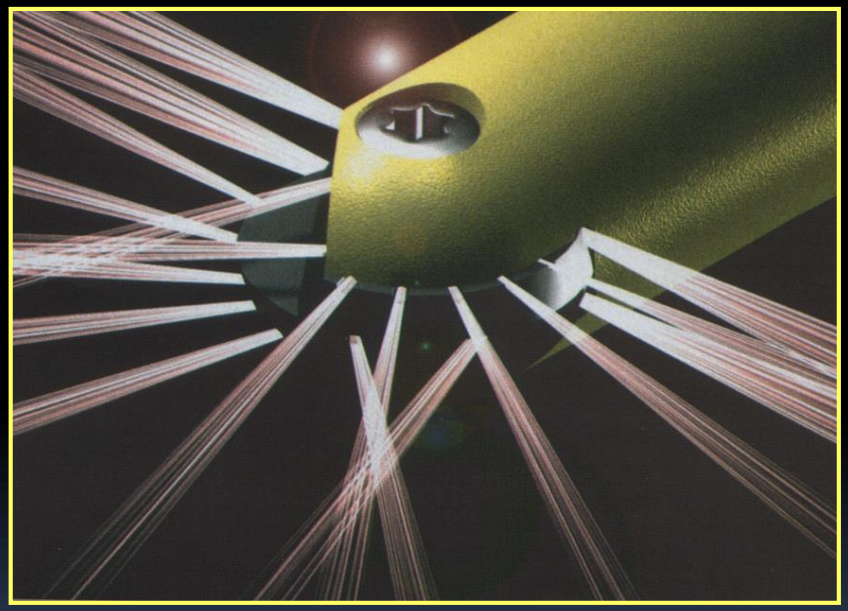


Fréza Cube Mill



- malé krychlové destičky upevněny ve dvou směrech
- využití 8 břitů
- úběr třísky
  - až 8mm
  - posuv ≈ 0,2mm na zub
- průměr fréz
  (80 až 450)mm

Kulová fréza Laser Ball



- karbidovou destička přebroušena na přesnost ±0,005mm
- házivost nástroje ± 0,01mm
- destička lisovaná s kanálky pro vnitřní chlazení
- destička přichycena vysoce přesným šroubem

Frézovací stroje - frézky

- vyráběny a dodávány v rozmanitém sortimentu s rozsáhlým zvláštním příslušenstvím
- požadavek - velmi tuhé stroje bez vibrací
- **rozdělení** do 4 základních skupin dle konstrukčně-technologické koncepce
  - konzolové frézky
  - stolové frézky
  - rovinné frézky
  - speciální frézky

Konzolové frézky

- **charakteristika**
- výškově přestavitelná konzola
- příčný stůl
- podélný pracovní stůl
- kombinace pohybů umožňuje přestavování obrobku ve 3 pravoúhlých souřadnicích vzhledem k nástroji
- vybavení rozsáhlým příslušenstvím (univerzální frézovací a vrtací hlavy, dělící přístroje, otočné stoly. apod.)

Svislá konzolová frézka

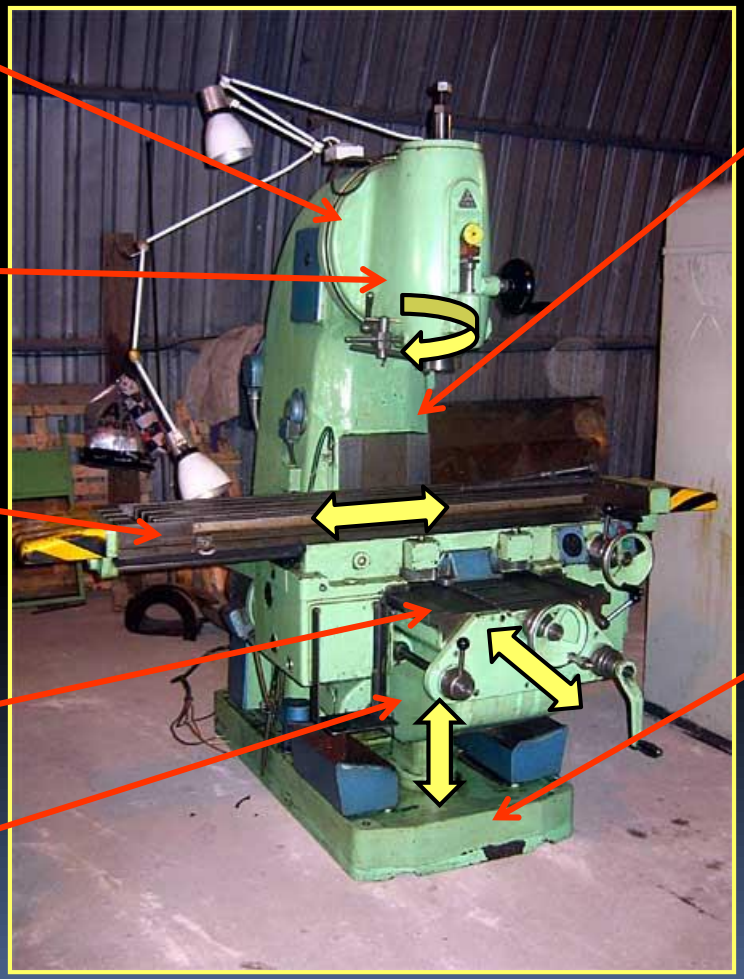
kruhová základna vřeteníku

naklápěcí vřeteník

podélný pracovní stůl

příčné saně

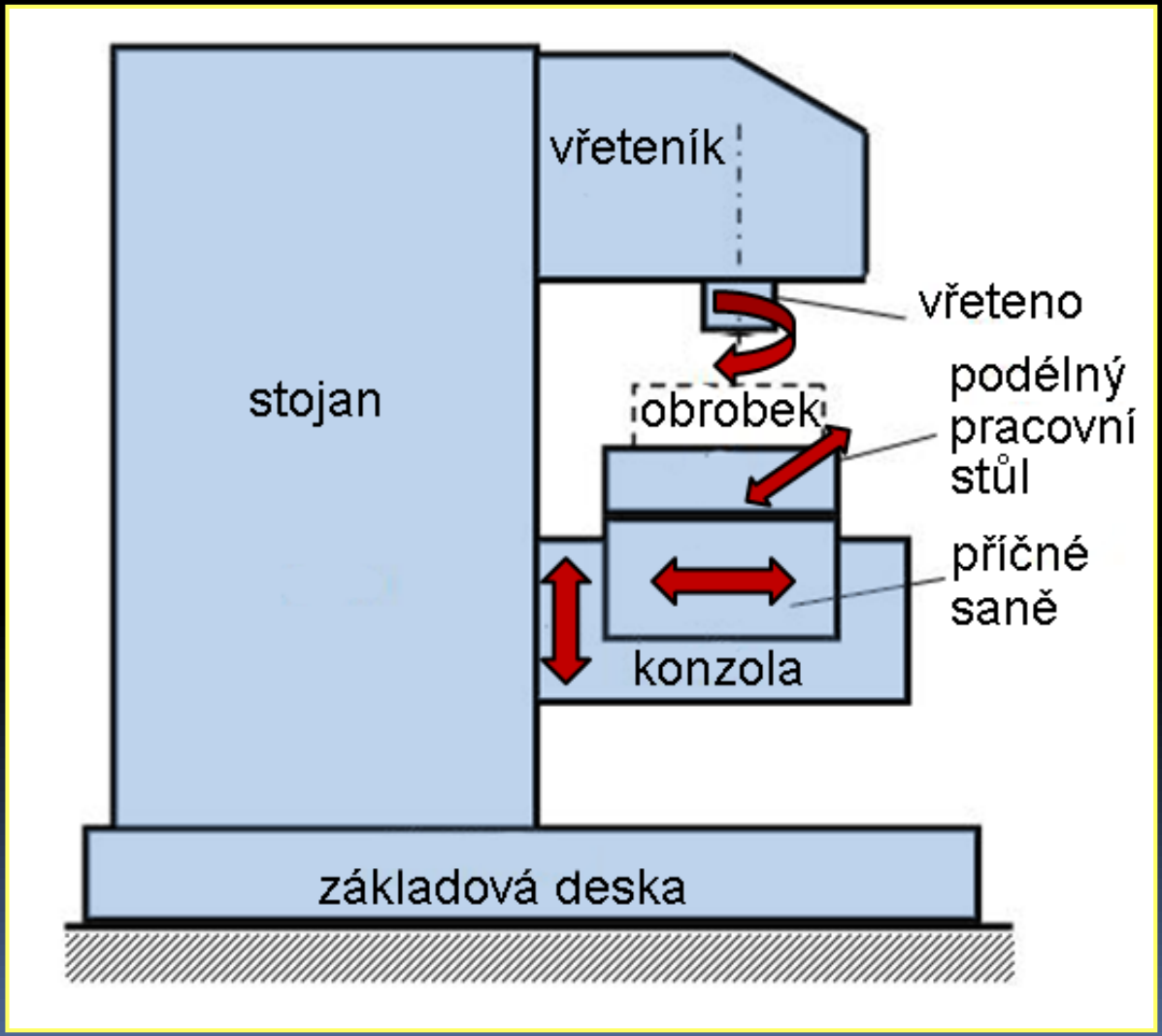
konzola



stojan

základna

Schéma svislé konzolové frézky



Svislé konzolové frézky

Vodorovná konzolová frézka

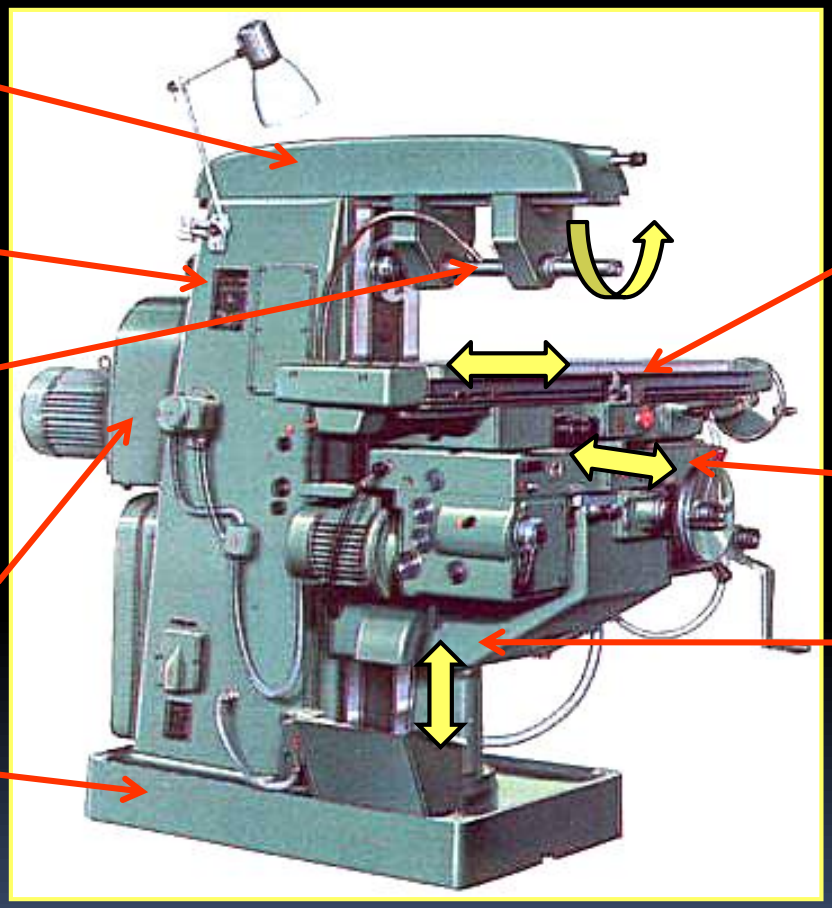
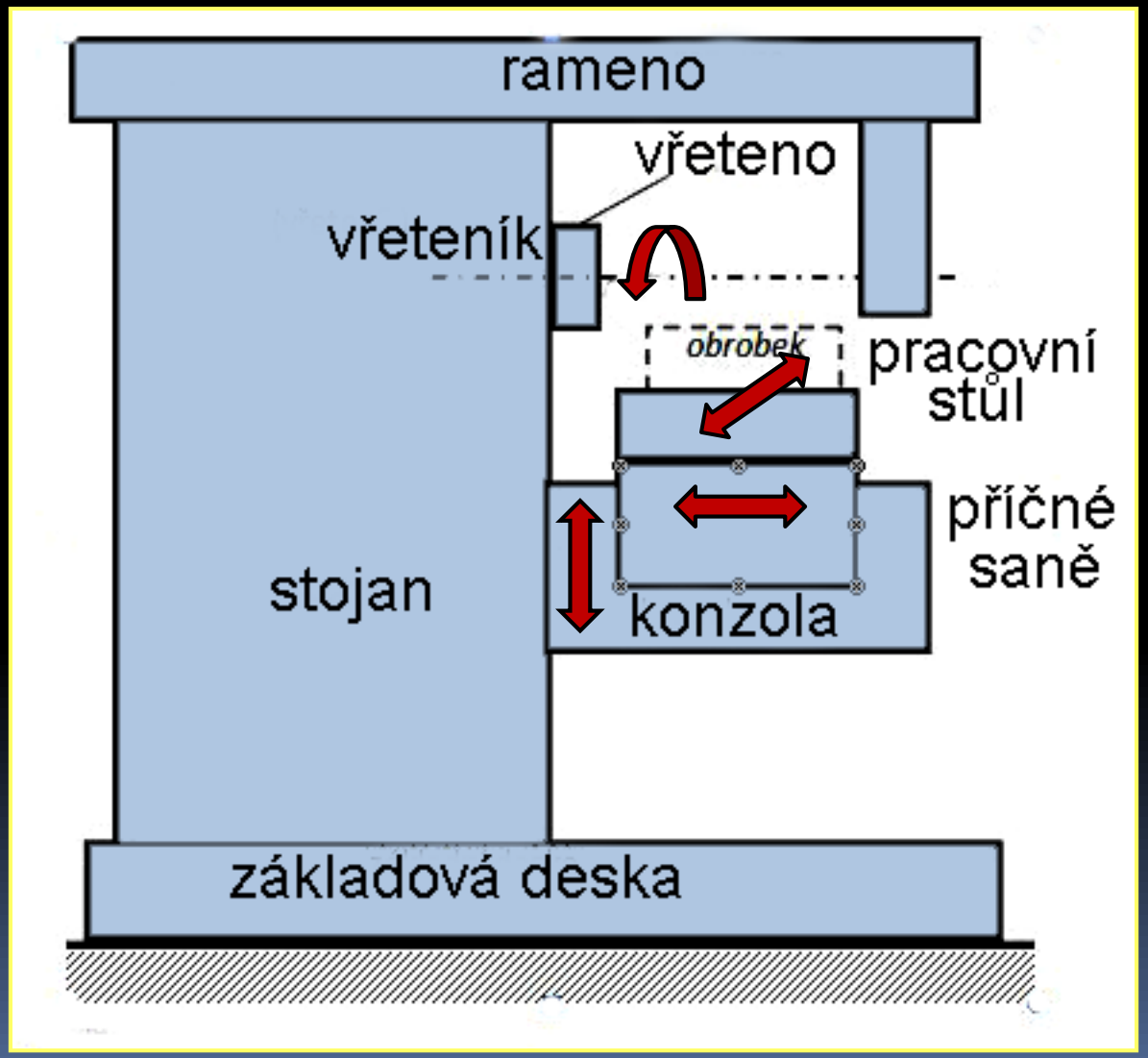
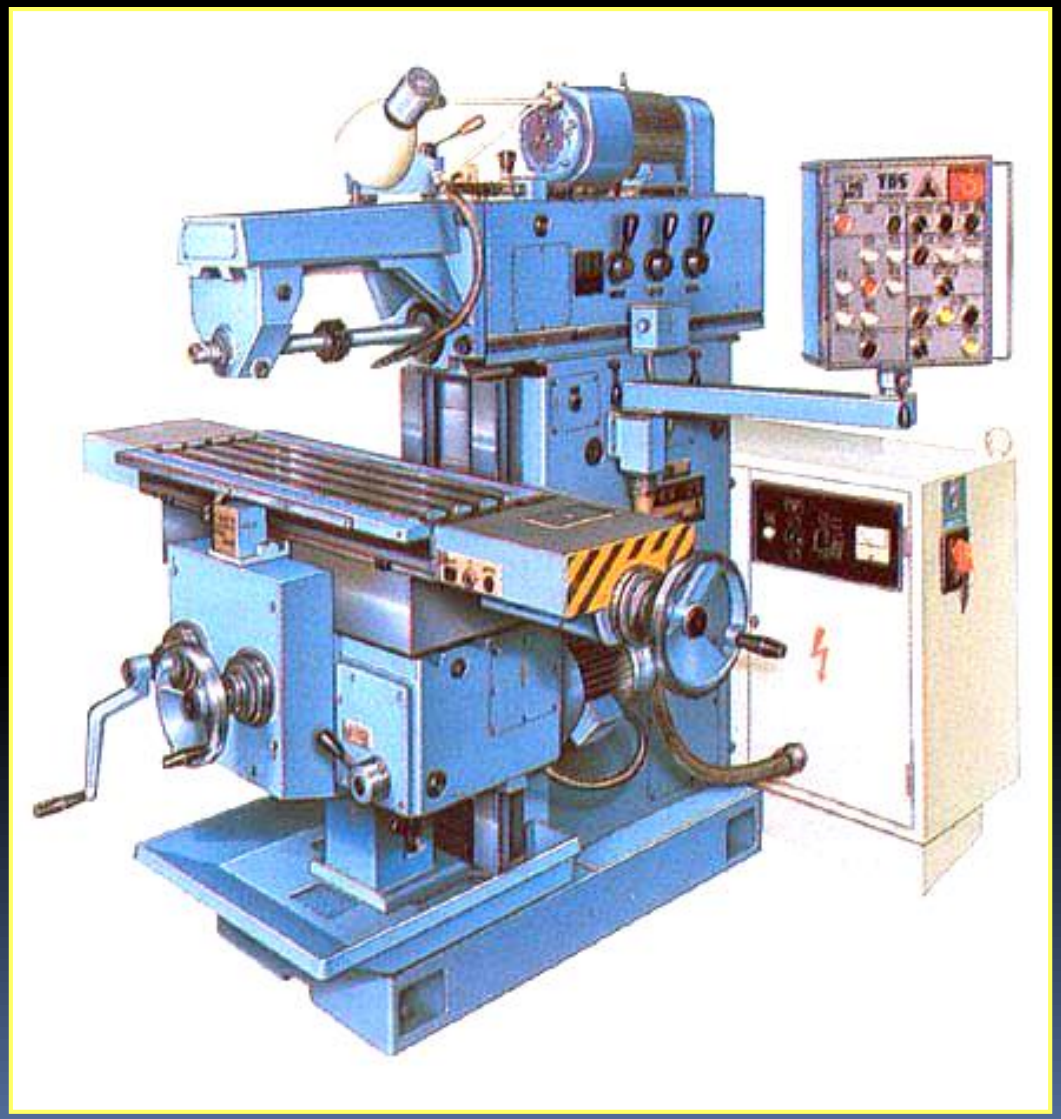


Schéma konzolové frézky

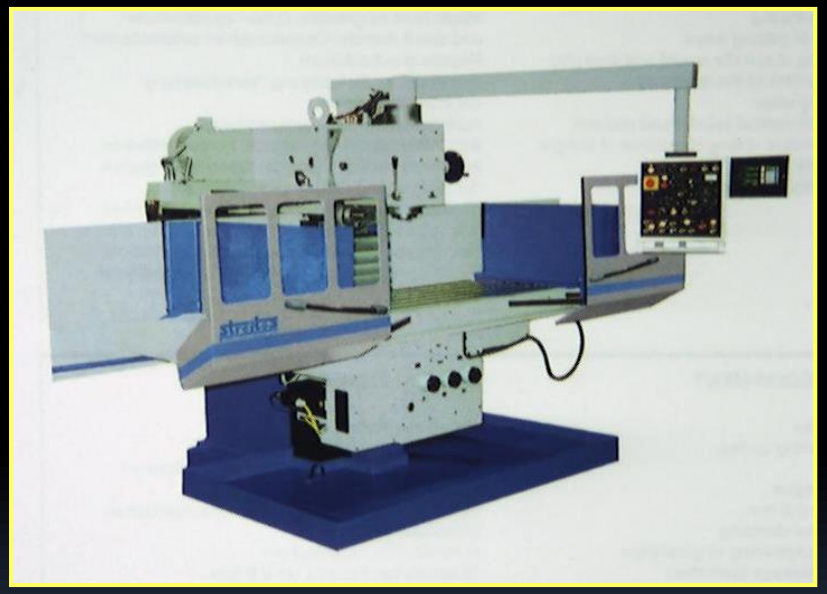


Vodorovná konzolová frézka



Moderní konzolové frézky

- souvislé řízení CNC pro 3 až 5 os
- obdélníkový univerzální stůl - lze nahradit otočným stolem NC
- vybaveny dělícím zařízením
- výrobce - Strojtos Lipník a.s.



Konzolová frézka FGS CNC

- výměna nástrojů se zásobníkem
- automatické upínaní
- univerzální frézovací hlavy
- vysoký výkon, tuhost a přesnost
- možnost změny vertikálního i horizontálního frézování v automatickém cyklu

Příslušenství konzolových frézek

- **dělící přístroje**
- umožňují pootáčení obrobku o určitý úhel nebo rozteč při frézování čtyřhranů,… vícedrážkových hřídelů, ozubených kol, vícebřitých nástrojů, zářezů atd.

Dělící přístroje

- jednoduché
- **univerzální - dělení**
- přímé
- nepřímé
- diferenciální

Stolové frézky

- podélný a příčný stůl
  (není umístěný na svisle přesuvné konzole, ale přímo na základně stroje)
- nastavení nástroje vzhledem k obrobku ve svislém směru zajištěno přemísťováním frézovacího vřeteníku po vedení stojanu
- provedení **svislé** i **vodorovné**
- **použití** - kvalitní a produktivní obrábění rozměrnějších a těžších součástí

Svislá stolová frézka s revolverovou hlavou

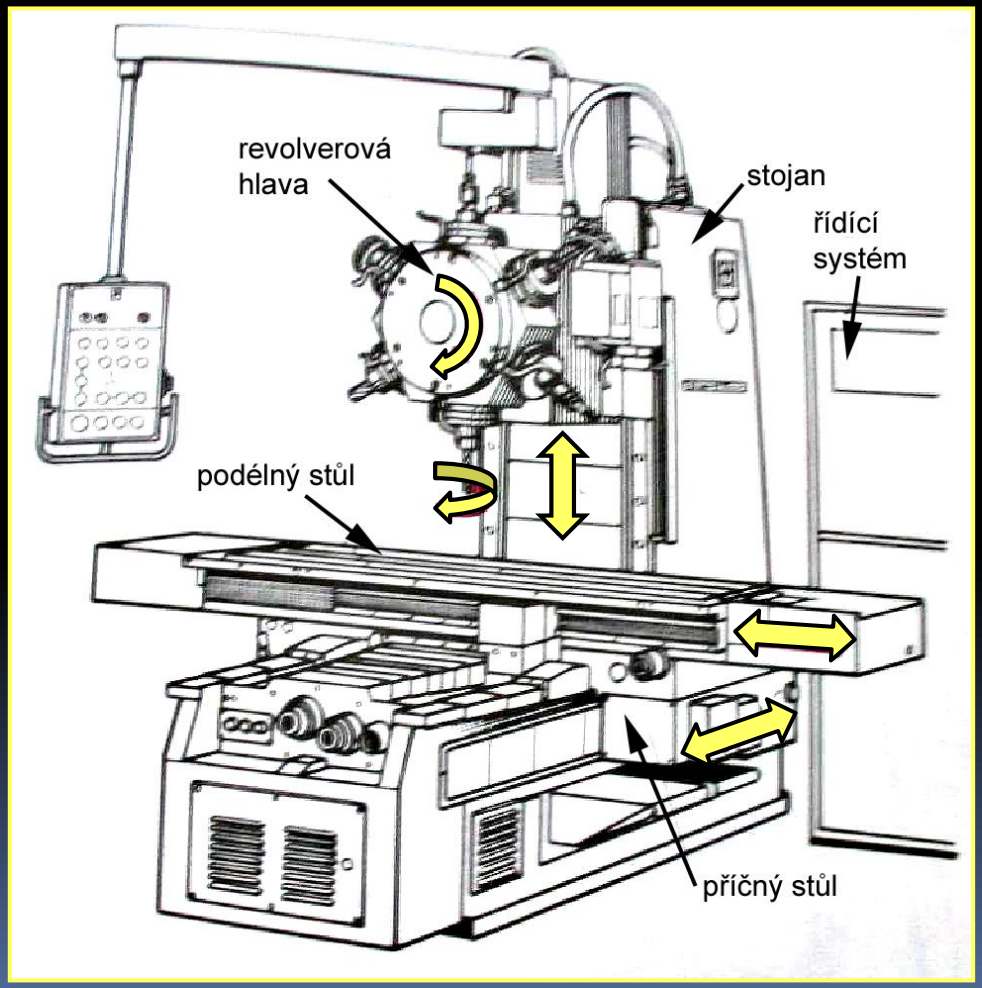
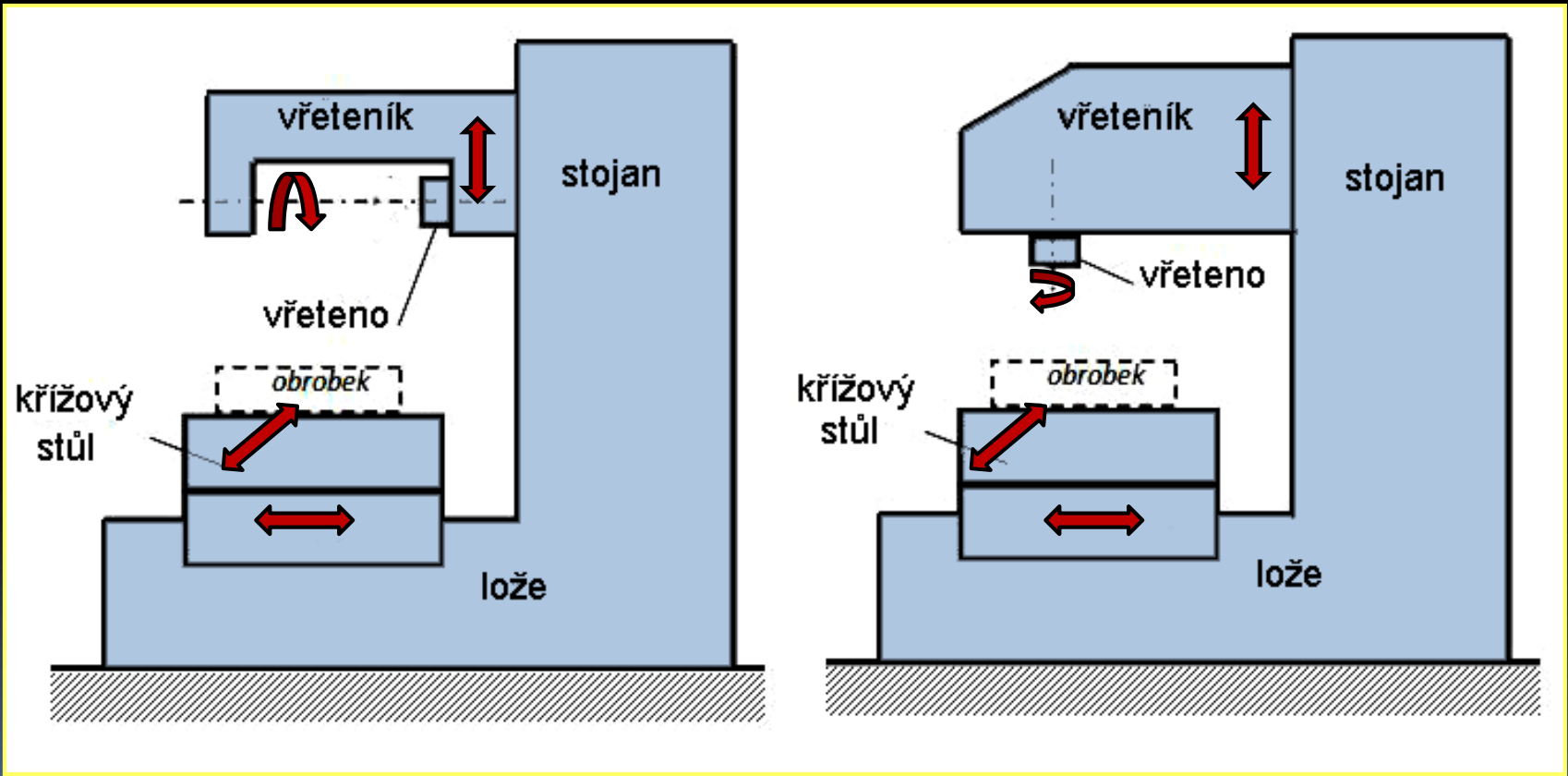


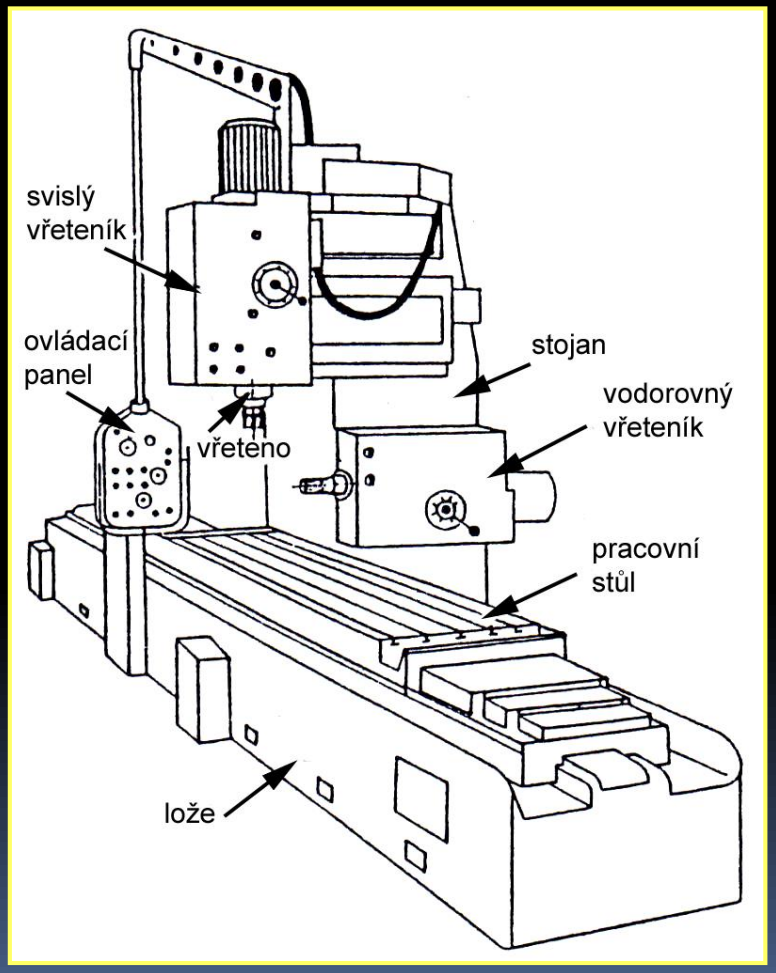
Schéma stolové frézky

vodorovná

svislá



Rovinná frézka



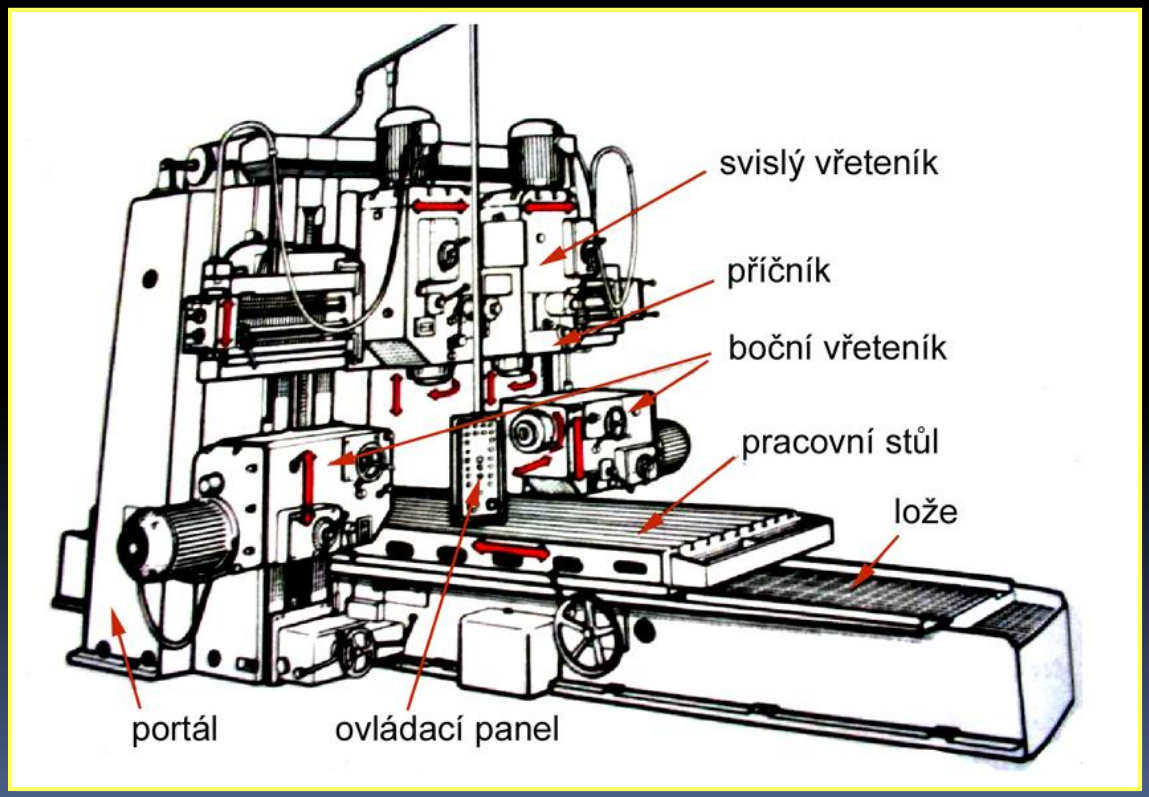
- pracovní stůl jeden stupeň volnosti (pohyb v jednom vodorovném směru - osa x)
- v osách (y a z) se přesouvá vřeteník
- obvykle více vřeteníků (vodorovné i svislé)

Rovinná frézka

- nejvýkonnější druhy frézek
- robustní konstrukce
- obrábění velmi těžkých a rozměrných obrobků
- vhodné pro kusovou a malosériovou výrobu
- práce nejčastěji frézovacími hlavami při obrábění vodorovných, svislých a šikmých ploch
- stopkové frézy - úzké plochy a drážky
- jednostojanové či dvoustojanové (portálové)

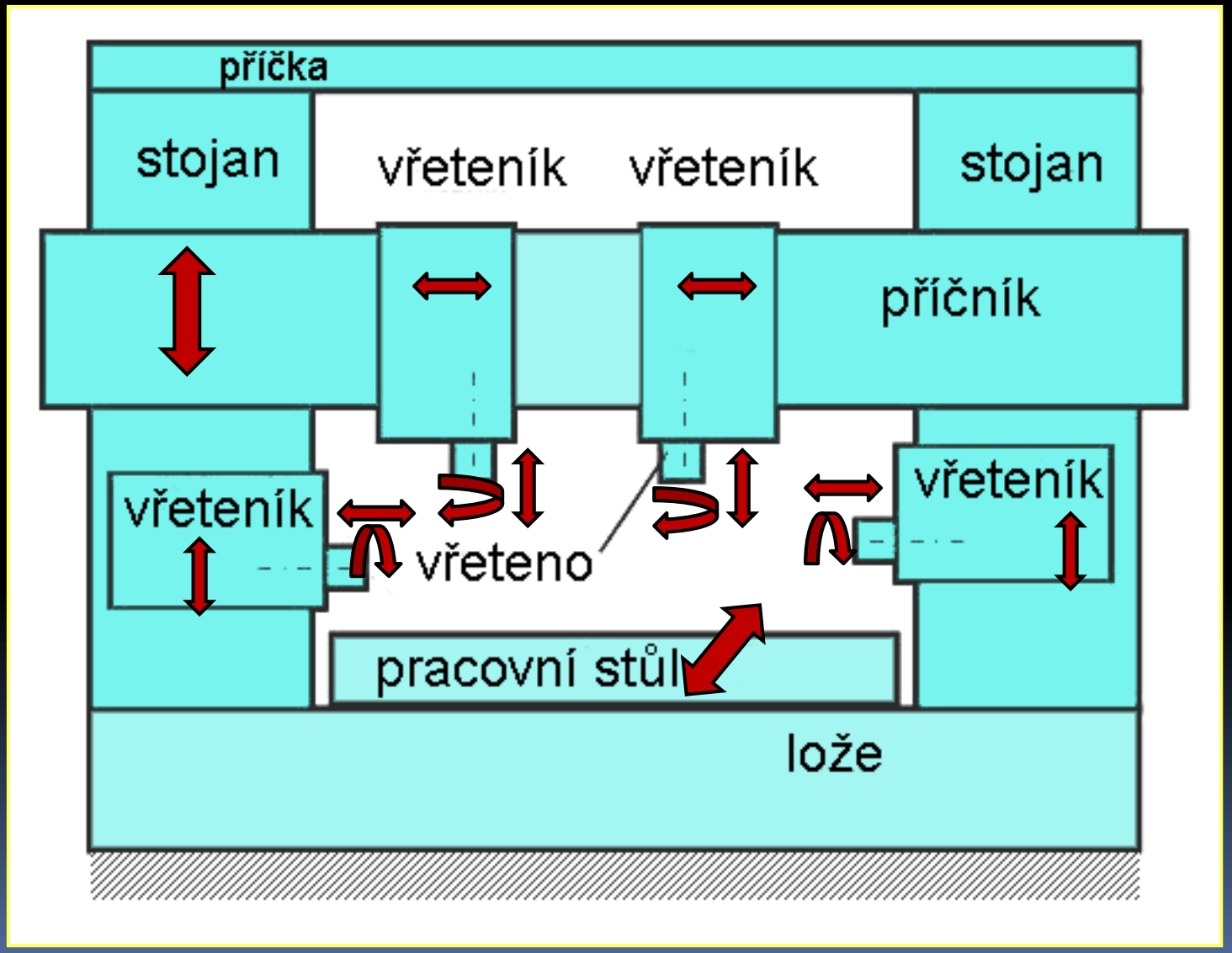
Portálová frézka

- zpravidla čtyři vřeteníky
- obrábění i více ploch najednou
- využívá se pro těžké obrobky



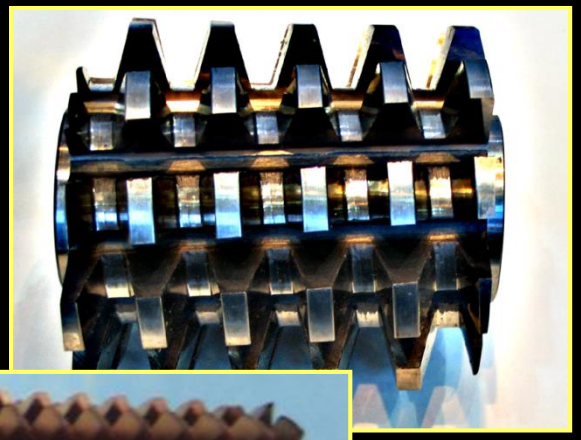
Portálová frézka

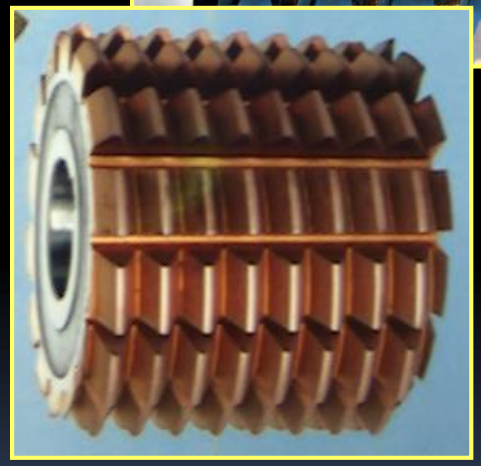
Schéma portálové frézky



Speciální frézky

- odvalovací frézka





- odvalovací fréza

Vertikální portálové centrum

Frézka STYLE CNC multifunkční

- vrtací a frézovací práce
- mnohé doplňky (např. zásobník s automatickou výměnou nástrojů)
- výrobce
  - STYLE High Tech Nederland B.V.

Speciální obráběcí stroj 5-vřetenový, CNC

- dvě vyvrtávací pracovní jednotky s dvouvřetenovými hlavami
- 3D jednotky pro frézování
- otočný stůl
- výrobce - TOS Kuřim

Frézovací a vrtací portál FVP CNC

Frézovací a vrtací portál FVP CNC

- obrábění moderními i klasickými nástroji
- obrábění i rozměrných obrobků
- základní práce - frézování, vrtání, vyvrtávání, řezání a frézování závitů
- souvisle řízené osy X, Y, Z a možnost lineární i kruhové interpolace
- použití - především obrábění forem pro lisovny, kovárny a další členité obrobky
- výrobce – Strojírna TYC s.r.o. Mýto

Frézovací a vrtací portál FVP CNC

Příklad obrábění

- obráběný materiál
  19 655.4
  HRC (52 - 54)
- dokončovací operace
- mat. VBD řezná keramika
- BEZ chladící kapaliny

- $v = 350\ m.min^{-1}$
- $n = 1\ 260\ ot.min^{-1}$
- f_z =0,1 mm na zub
- a_p = 0,3 mm axiální hloubka řezu
- radiální hloubka řezu a_c = 5 mm

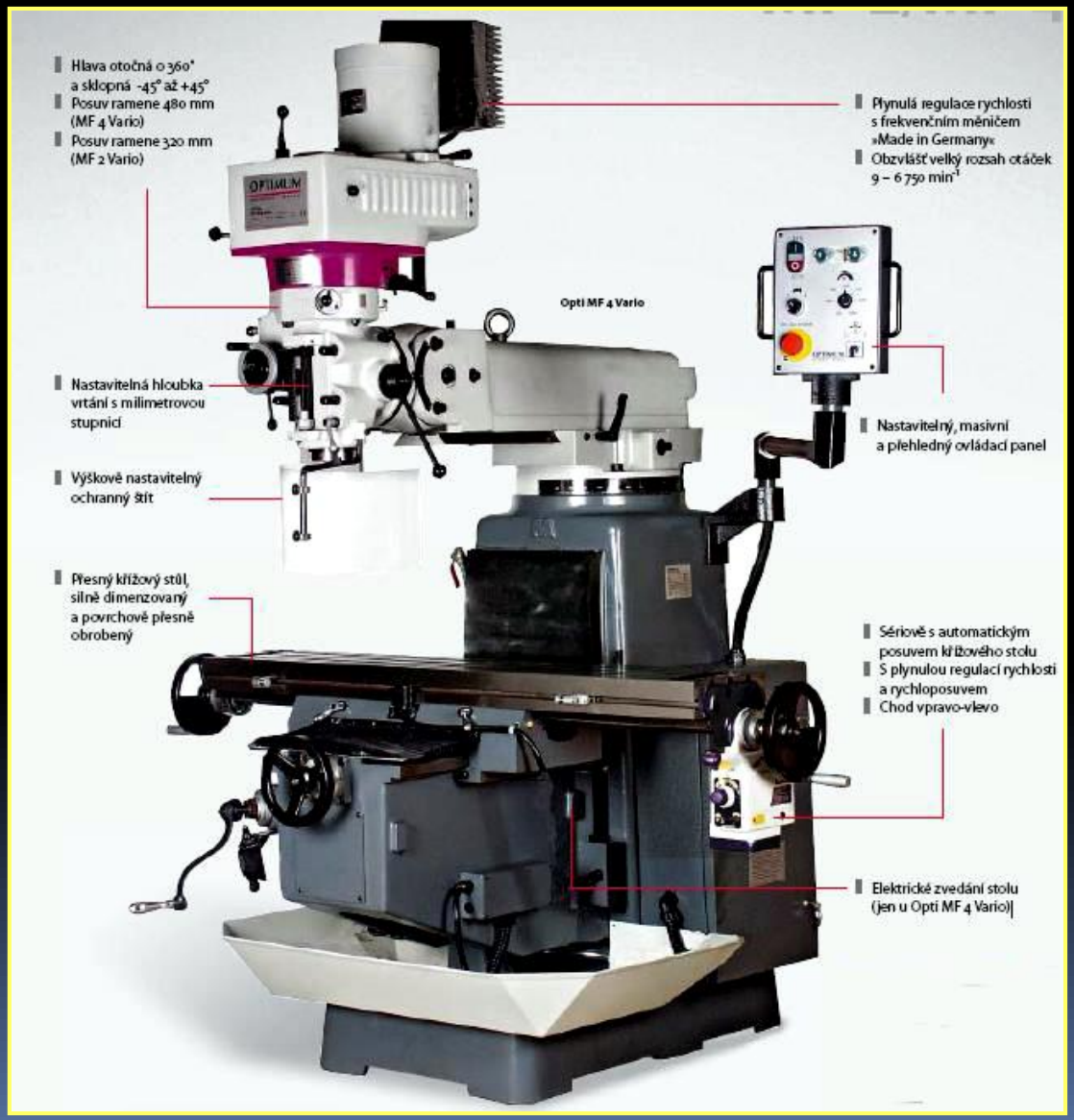
Obráběcí centra - trendy

- snaha o vysoce produktivní centra zejména pro hromadnou výrobu především v automobilovém průmyslu - systémové stroje
- obvykle vícevřetenové provedení stroje - připravenost pro stavbu do výrobních linek
- důraz kladen na velmi rychlou výměnu nástrojů a obrobků
- stroje dosahují vysokých posuvových rychlostí i zrychlení

Obráběcí centra - trendy

- modulárnost koncepce stroje
  - volba různých počtů vřeten
  - různé provedení stolu pro obrobek
- uplatňují se lineární motory
- vřeteníková skupina obvykle realizuje všechny posuvové souřadnice
- požadavek - malá šířka strojů s dobrým přístupem pro manipulaci seshora a zepředu
- (video)

Multifunkční vrtačko - frézka



Argumenty, které vás přesvědčí

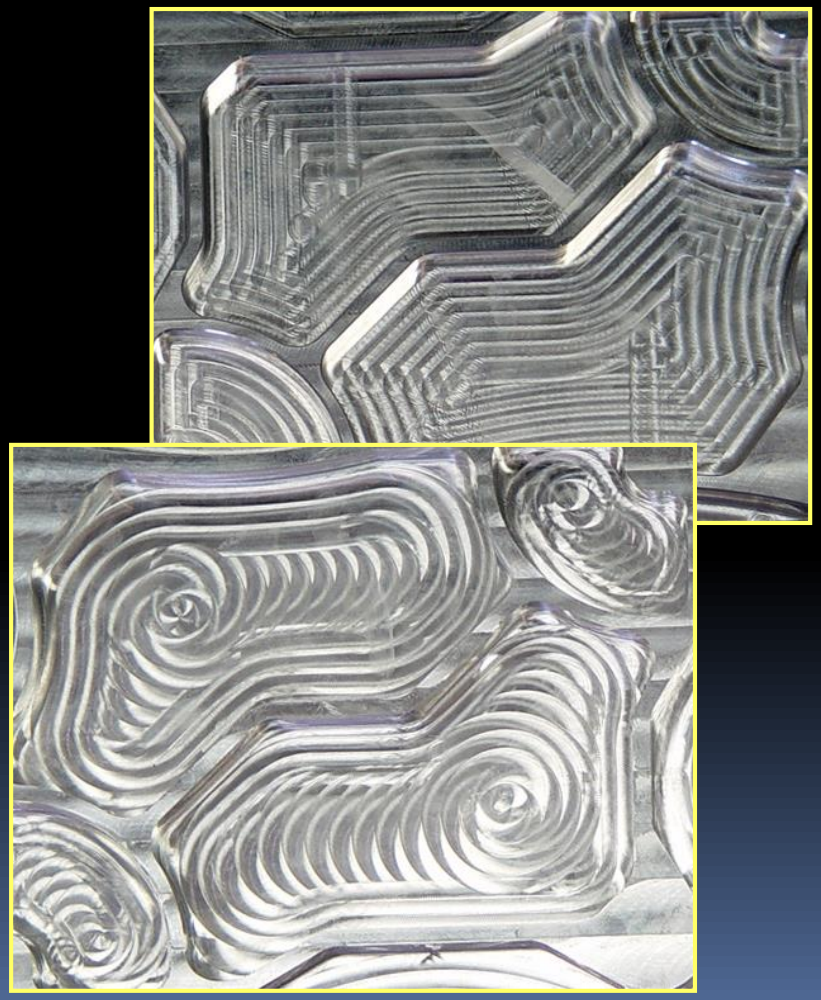
- Mnohostranné použití
- Těžké, masivní provedení z kvalitní litiny
- Přesný silně dimenzovaný křížový stůl s přesně opracovaným povrchem
- Všechny vodící rybinové plochy kaleny. Seřizování vůlí pomocí klínových lišt
- V základní výbavě automatický posuv osy X, posuv osy Y možno přiobjednat
- Plynulá regulace rychlosti s německým frekvenčním měničem
- Vysoká přesnost díky kuželíkovým ložiskům <0,01 mm měřeno na pinole
- Mnohonásobně přestavitelná vrtací-frézovací hlava
- Frézovací hlava otočná o 360° a sklopná o 180°
- Automatický posuv pinoly
- Nastavitelný hloubkový doraz s milimetrovou stupnicí s čelním odečítáním
- Hlavní vypínač s jištěním motoru, přepínačem chodu vpravo-vlevo
- a nouzovým vypínačem
- Standardně dodávané s chladící soustavou
- Cenově příznivé a s trvalou hodnotou

Nová technologie ve vysokorychlostním obrábění

- technologie **TrueMill** vytváří dráhu nástroje, která odstraňuje nežádoucí „šoky“, působící při náhlých změnách pohybů a hlavně při obrábění vnitřních hran
- dráha nástroje se automaticky přizpůsobuje tak, aby byl úhel styku nástroje s materiálem na stejné max. povolené hodnotě
- rychlost posuvů automaticky přepočtena podle pohybů, které jsou vykonávány
- obrábění zaměřeno zejména na produktivitu
  - tj.**hrubování**

Nová technologie ve vysokorychlostním obrábění

- vyšší posuvy i otáčky při zvýšené životnosti nástroje a stroje
- technologie TrueMill dostupná ve verzi SURFCAM Velocity a verzích následujících
- (prezentace MM)



Upínání nástrojů

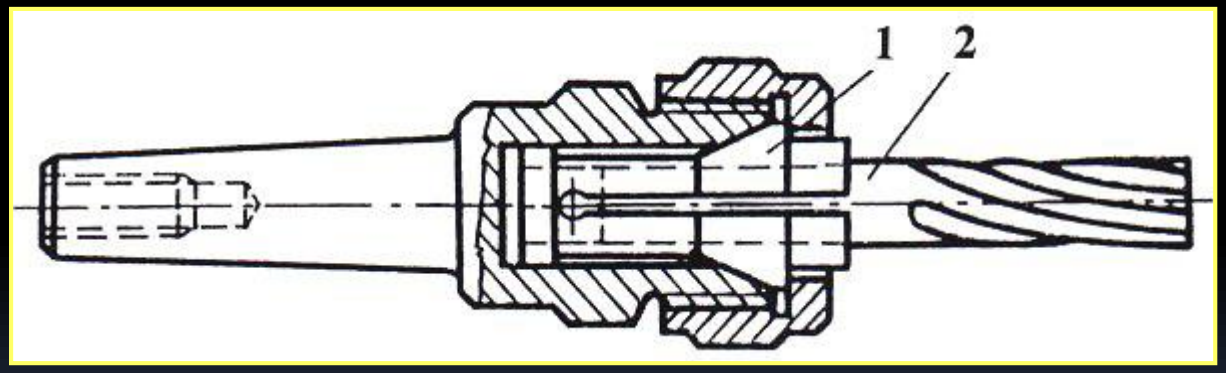
- **dle druhu frézy**
- stopkové frézy
  - stopka válcová
  - stopka kuželová
- nástrčné frézy
- frézovací hlavy

Frézy s kuželovou upinací stopkou

- **oba kužely shodné**
  - upínaní přímo do kuželové dutiny vřetena
- kužel upínací stopky menší než kužel dutiny vřetena - vhodné **redukční pouzdro**
  - vnější kužel redukčního pouzdra shodný s kuželem dutiny vřetena
  - vnitřní kužel shodný s kuželem upínací stopky frézy
- upnutí jištěno šroubem, který prochází vrtáním vřetena

Frézy s válcovou upinací stopkou

- upínaní do upínacích sklíčidel s vyměnitelnými rozpinacími pouzdry



1…upínací kleština

2…stopková fréza

Tepelné upínání

- moderní metoda
  - vysoká spolehlivost
  - vysoká přesnost
- upínání maloprůměrových fréz s válcovou stopkou
- http://www.haimer.de/media/Wuchten_Vorgang_DSL.wmv

Princip tepelného upínání

- **upnutí nástroje**

  - ohřev upínacího pouzdra pomocí indukční cívky

  - po vložení nástroje pouzdro ochlazeno

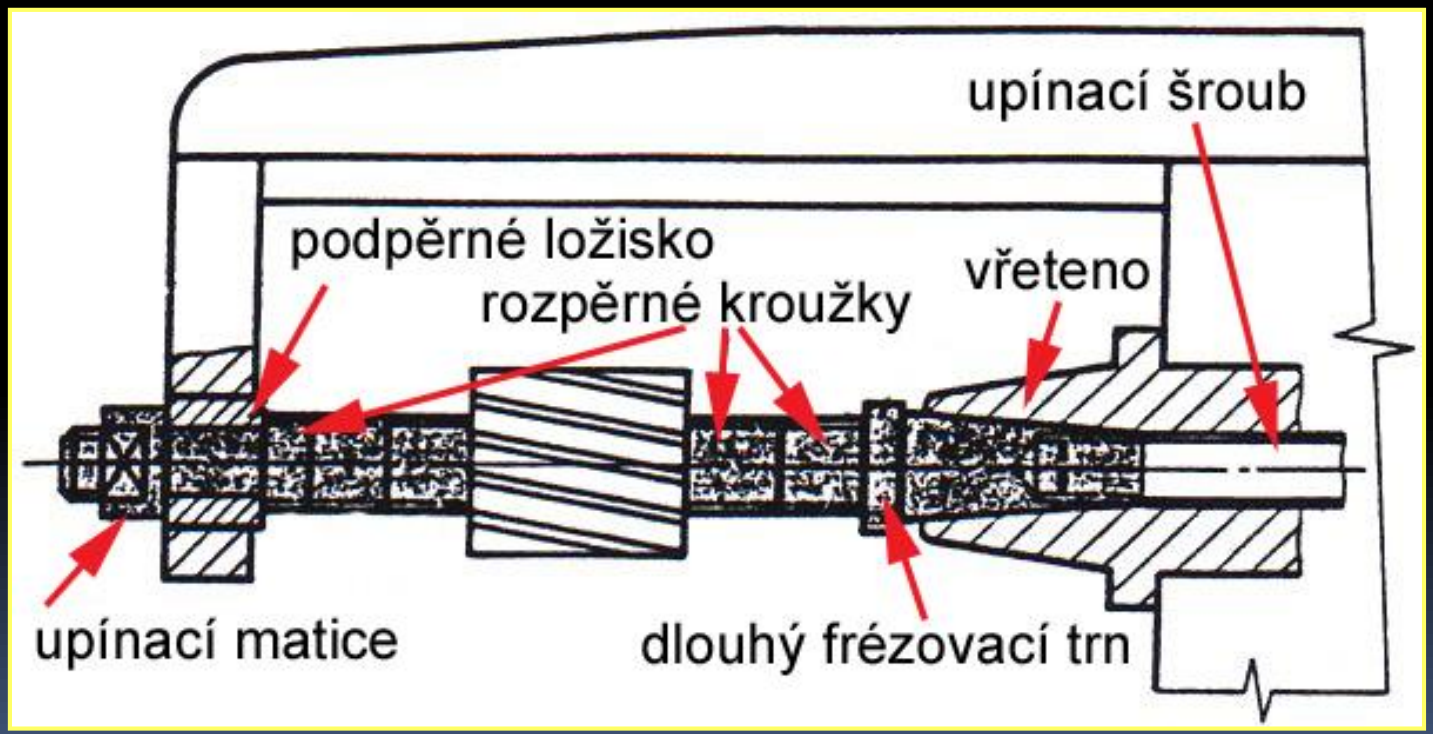
- **uvolnění nástroje** ohřevem - různá délková roztažnost pouzdra a frézy

Nástrčné frézy

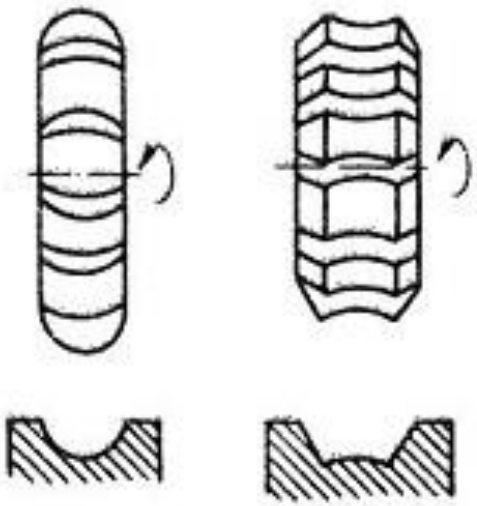
- **dlouhý frézovací trn**
  - použití pro upnutí jedné či několik nástrčných fréz
  - kuželová stopka trnu upnuta v kuželové dutině vřetena
  - volný konec trnu uložen v podpěrném ložisku frézky
- **krátký frézovací trn**
  - unášení frézy zajištěno podélným perem, nebo příčným perem v závislosti na jejím konstrukčním provedení

Dlouhý frézovací trn

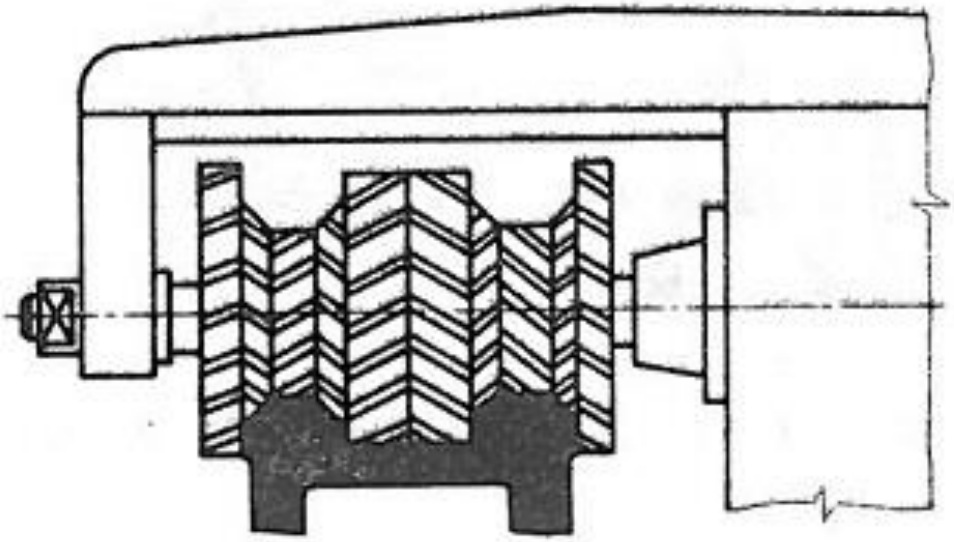
- nástrčné frézy, popř. několik fréz



Složené frézy



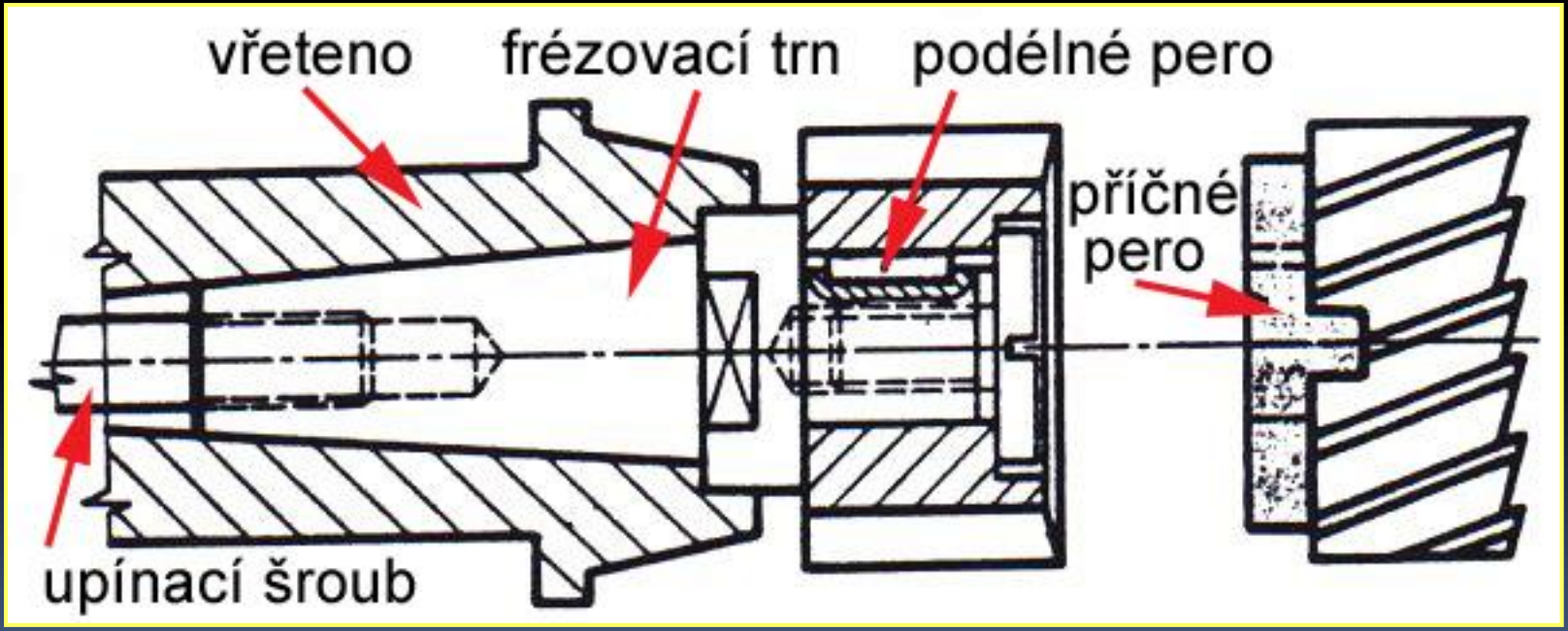
Jednoduché tvarové frézy



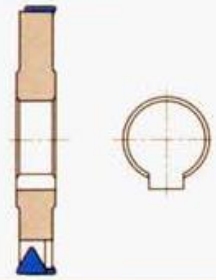
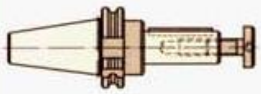
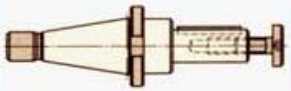
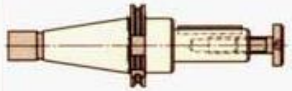
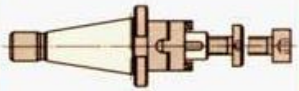
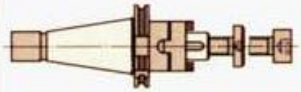
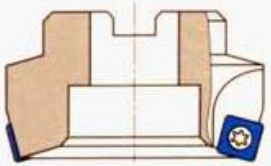
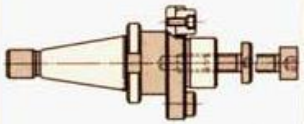
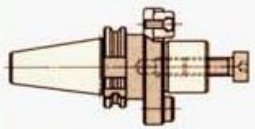
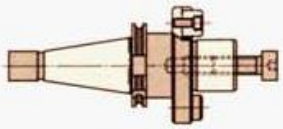
Frézování tvarové plochy složenými frézami

Krátký frézovací trn

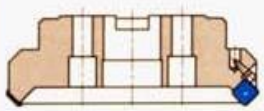
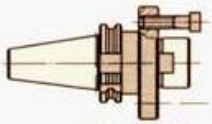
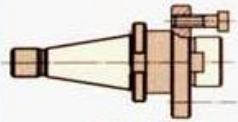
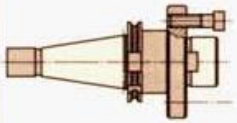
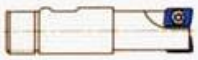
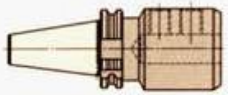
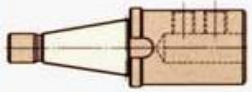
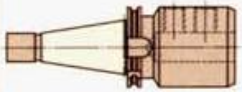
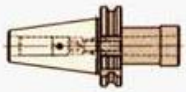
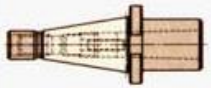
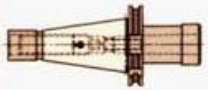
- čelní válcové frézy
- frézovací hlavy



Frézovací trny

Typ frézy	Typ frézovacího trnu	Pro automatickou výměnu ISO 7388/1 DIN 69871/A ČSN 22 0434	Pro ruční výměnu ISO 297 DIN 2080 ČSN 22 0430	Pro automatickou i ruční výměnu ČSN 22 0432
	Frézovací trny pro frézy s podélnou unášecí drážkou	 PN 24 7226	 DIN 6360 (DIN 6355) PN 24 7226.1	 PN 24 7220
	Frézovací trny pro frézy s podélnou nebo příčnou unášecí drážkou	 DIN 6358/B PN 24 7227	 DIN 6358/A PN 247227.1	 PN 24 7224
			 PN 24 1440	
	Frézovací trny pro frézy s příčnou unášecí drážkou	 PN 24 7228	 PN 24 7225	
		40x32x60x38,	50x32x60x38, 50x40x70x41, 50x50x90x46	

Frézovací trny

Typ frézy	Typ frézovacího trnu	Pro automatickou výměnu ISO 7388/1 DIN 69871/A ČSN 22 0434	Pro ruční výměnu ISO 297 DIN 2080 ČSN 22 0430	Pro automatickou i ruční výměnu ČSN 22 0432
	Středící trny pro frézovací hlavy		 DIN 6356 PN 24 1462	
	Upínací trny pro frézovací hlavy	 DIN 6357/B PN 24 7228	 DIN 6357/A PN 24 7228.1	 PN 24 1425
	Držáky pro válcové stopky s ploškou	 DIN 6359/B PN 24 7205	 DIN 6359/A PN 24 7205.1	 PN 24 7205.2
	Držáky pro stopky Morse	 DIN 6364/B PN 24 7212	 DIN 6364/A PN 24 7212.1	 PN 24 7213

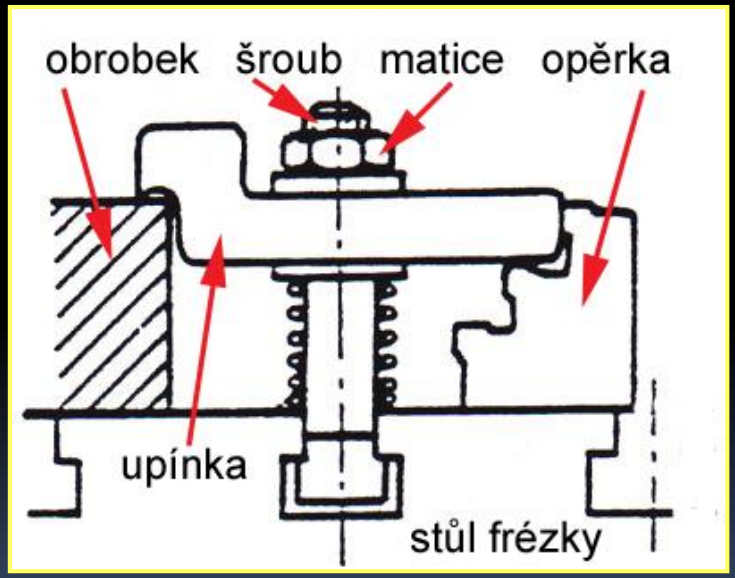
Upínání obrobků

- velké řezné síly při záběru několika zubů
  - řádné upnutí obrobku
- způsoby upnutí
  - přímo na pracovní stůl
  - do strojních svěráků
  - do frézovacích přípravků

upínky

Přímo na pracovní stůl

- větší obrobky
- rozličné upínací pomůcky
  - upínky, podpěry, opěrky…
- upevnění pomůcek
  - T drážky stolu frézky
  - spec. šrouby se čtvercovou hlavou



Strojní svěráky

- menší obrobky
- svěráky
  - běžné
  - otočné
  - sklopné
- ovládání
  - ruční
  - pneumatické
  - hydraulické

Strojní svěráky

přesný svěrák

3-osý svěrák

hydraulický svěrák

hydraulický svěrák

Polouniverzální dělící hlava

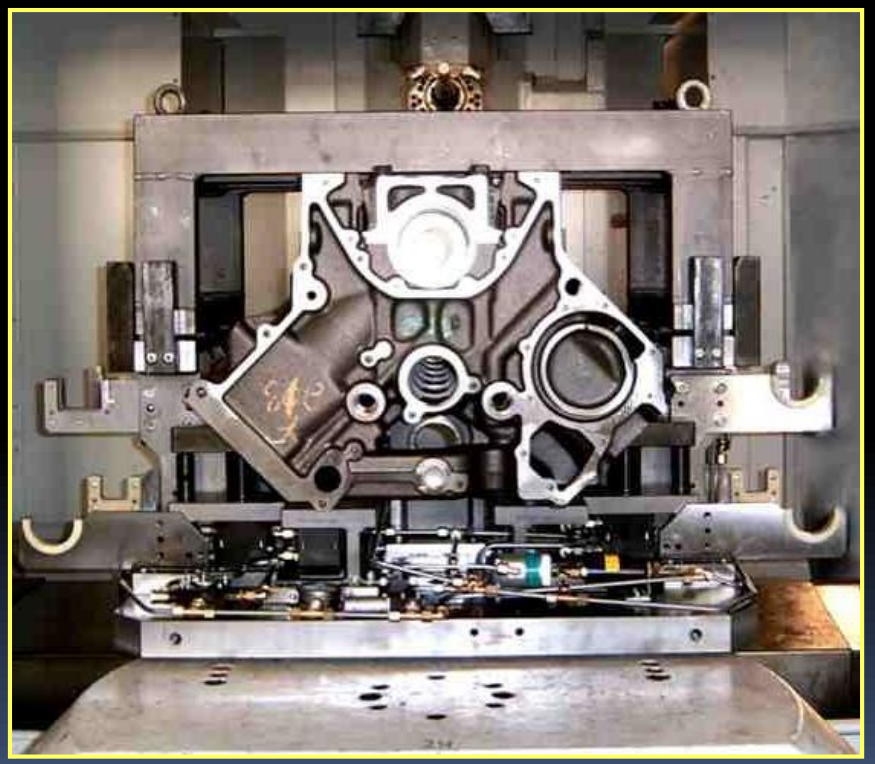
Křížový stůl

Hor.-vert. kruhový dělící stůl

Frézovací přípravky

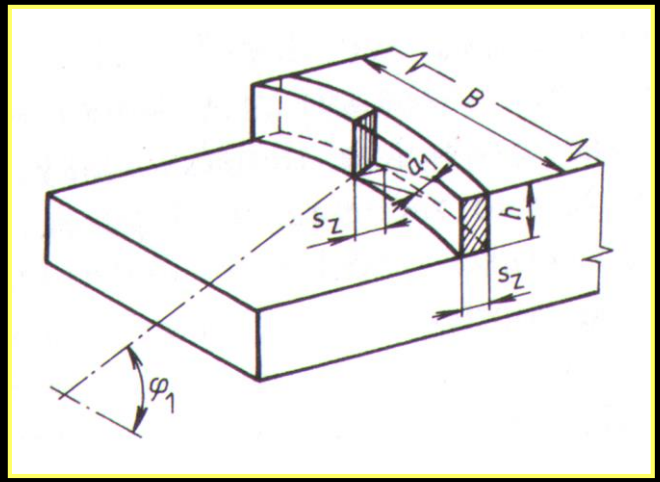
nastavitelný upínač

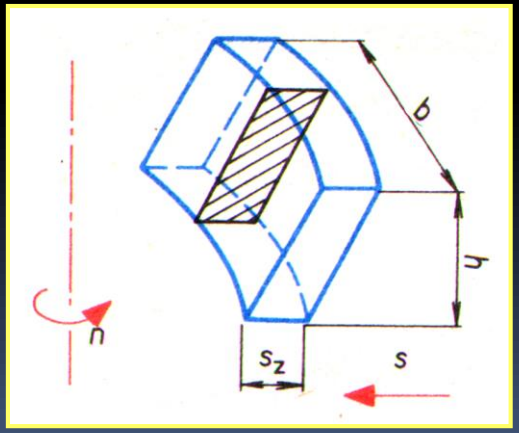
hydraulický upínač



Frézování čelními frézami

- průměr frézy D
  øD > B [mm]
  B…šířka obráběné plochy
- osa frézy stojí kolmo k obráběné ploše
- tříska o stejné síle
- rovnoměrné namáhání
- klidný chod stroje





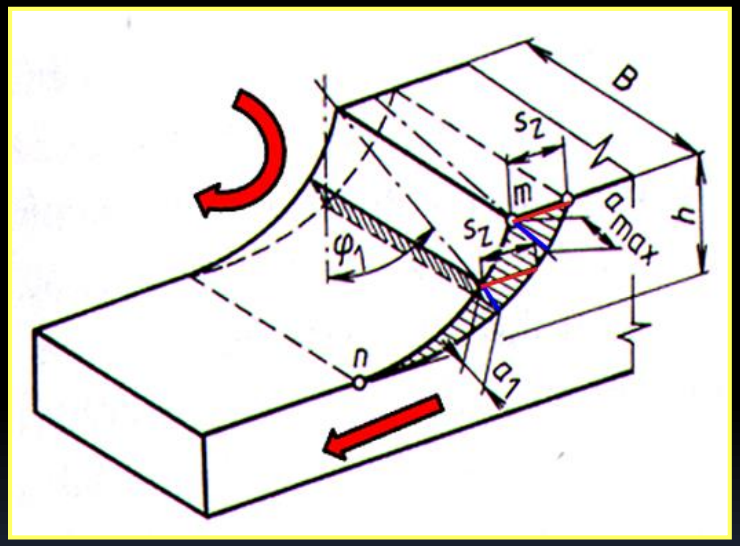
Řezné podmínky

- hloubka řezu **a** (h) [mm]
- posuv **f** (s) [mm]
- řezná rychlost **v** [$m.min^{-1}$]
- strojní čas $\mathbf{t_s}$ [min]

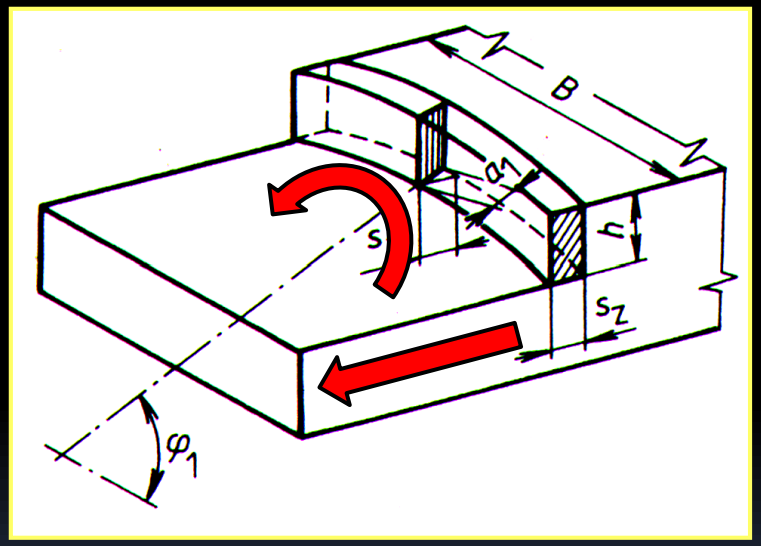
- průřez třísky **S** [mm^2]
- řezná síla **F** [N]

Řezné podmínky

válcové frézy



čelní frézy

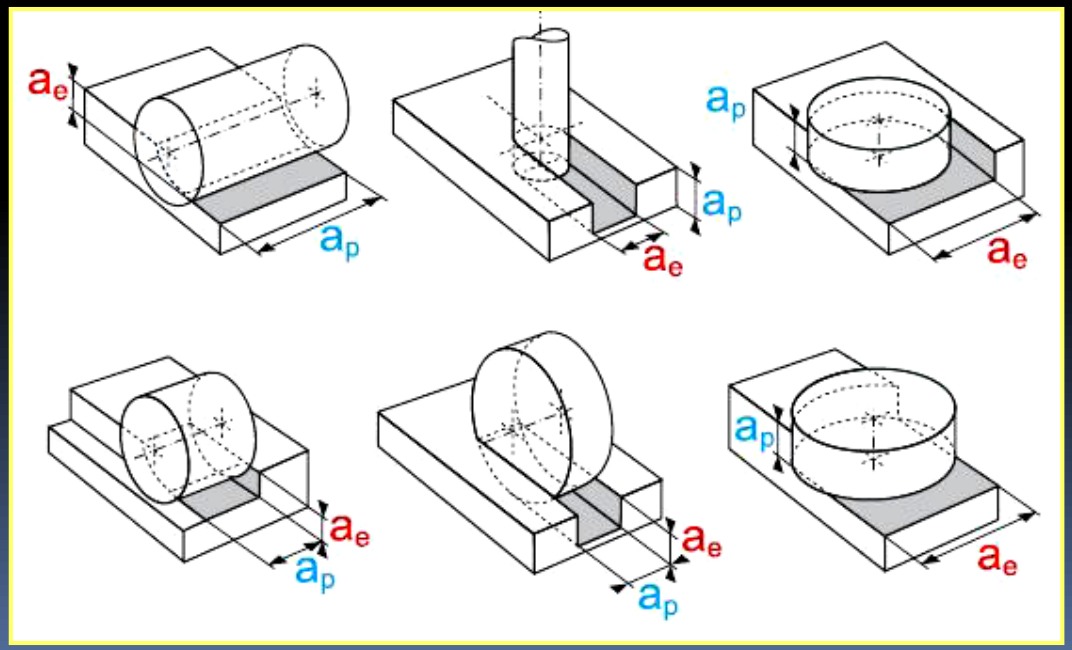


Hloubka řezu

- **volba**
  válcové frézy - volíme do 5mm
  kotoučové frézy - volíme dle šířky frézy
  stopkové frézy - volíme dle průměru frézy
- hrubování - do 20 mm (a více)
- max. velikost omezena tuhostí soustavy **stroj - nástroj - obrobek**
- doporučené hodnoty
  - výrobce nástrojů (katalogy a příručky)

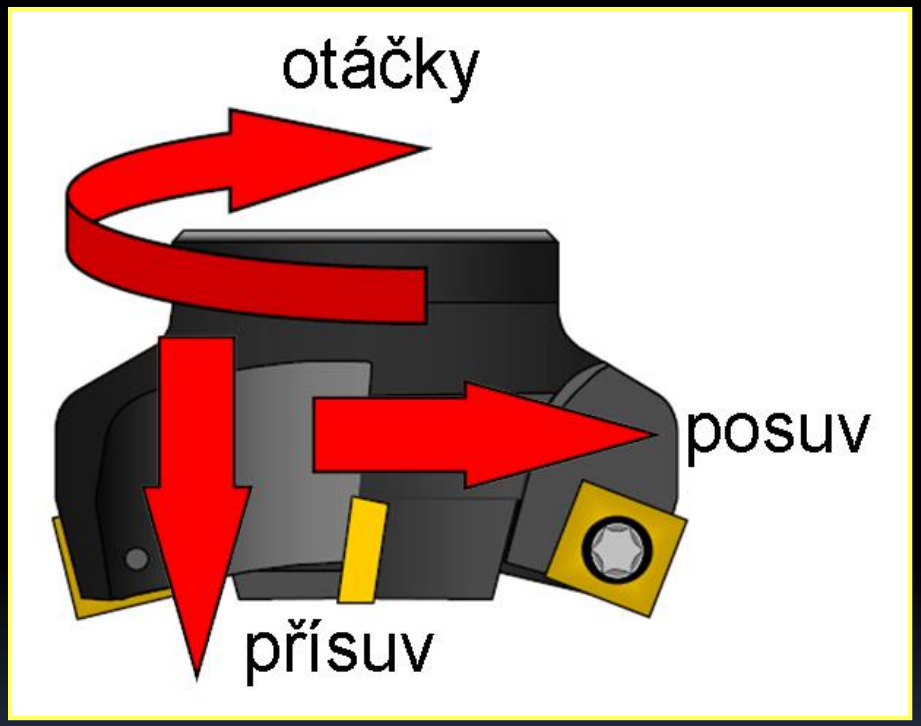
Hloubka řezu

- **axiální hloubka řezu a_p**
  - měřena ve směru osy rotace frézy
- **radiální hloubka řezu a_e**
  (šířka frézované plochy)
  - měřena v rovině kolmé na osu frézy



Přísuv

- pohyb, kterým se nástroj nastaví do pracovní polohy na určitou hloubku řezu **a_p** (resp. **a_e**)



Posuv - f

- dán délkou vzájemného posunutí nástroje a obrobku
- **velikost posuvu závisí na**
  - obrobitelnosti materiálu
  - druhu frézy
  - požadované drsnosti

Druhy posuvů

- **f_z…posuv na zub [mm]**
  - viz. řezné podmínky
  - dráha nástroje při pootočení o 1 zub
- **f_{ot}…posuv na otáčku [mm]**
  - dráha, kterou ujede nástroj za 1 otáčku
- **f_{min}…posuv minutový [mm. min^{-1}]**
  - dráha, kterou ujede nástroj za 1 min.

$$f_{min} = n.f_{ot} = n.f_z.z(mm.min^{-1})$$

- **z**…počet zubů frézy, **n**…otáčky [min^{-1}]

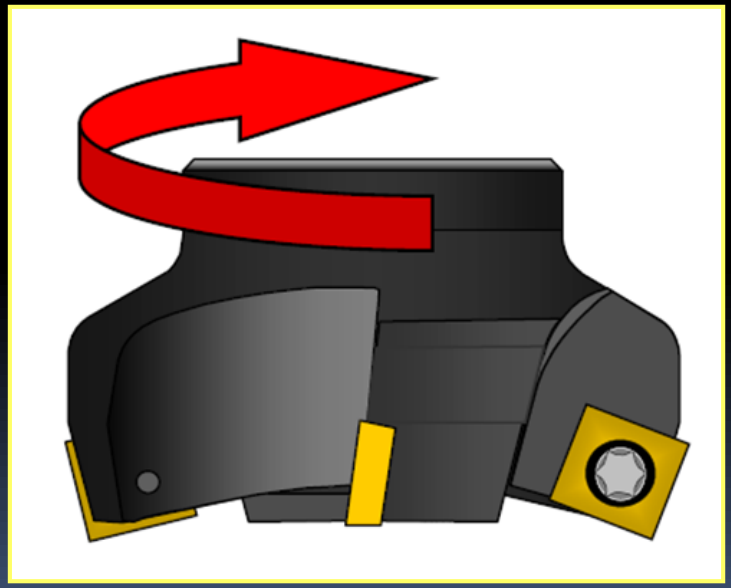
Řezná rychlost

- měřena na největším průměru frézy **D**

$$v = \frac{\pi.D.n}{1000} [m.min^{-1}]$$

- D…průměr frézy [mm]
- n…otáčky [min^{-1}]

$$n = \frac{1000.v_{opt}}{\pi.D}$$



Strojní čas - t_s [min]

- **obrábění válcovou, čelní i tvarovou frézou**

$$t_s = \frac{L.i}{f_{min}} = \frac{L.i}{f_z.z.n} [min]$$

- L…dráha nástroje $L = l_n + l + l_p$ [mm]
- $f_{min.}$… minutový posuv
- f_z…posuv na zub
- z…počet zubů frézy
- n…otáčky

Průřez třísky

- průřez odebírané vrstvy materiálu jedním břitem nástroje
  - vliv na charakter zatížení břitu
  - vliv na absolutní velikost řezné síly

$$\mathbf{S = f_z \,.\, a_p\ [mm^2]}$$

f_z ...posuv na zub [$mm.zub^{-1}$]

a_p …axiální hloubka řezu [mm]

S…průřez třísky [mm^2]

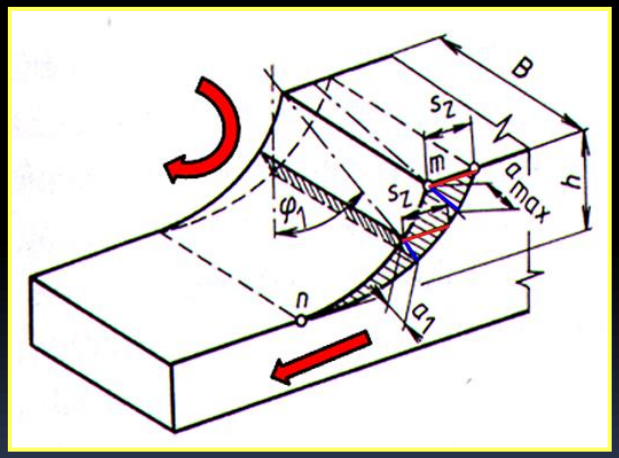
Průřez třísky

- odebíraný jedním břitem - proměnlivý (během záběru se mění tloušťka třísky)
- **válcová fréza s přímými zuby**
- střední tloušťka třísky

  $a_{stř.} = 0,5 \cdot s_z \cdot \sin\varphi_{max}$
- střední průřez třísky

  $S_{stř.} = 0,5 \cdot s_z \cdot \sin\varphi_{max} \cdot B$

  B…šířka třísky



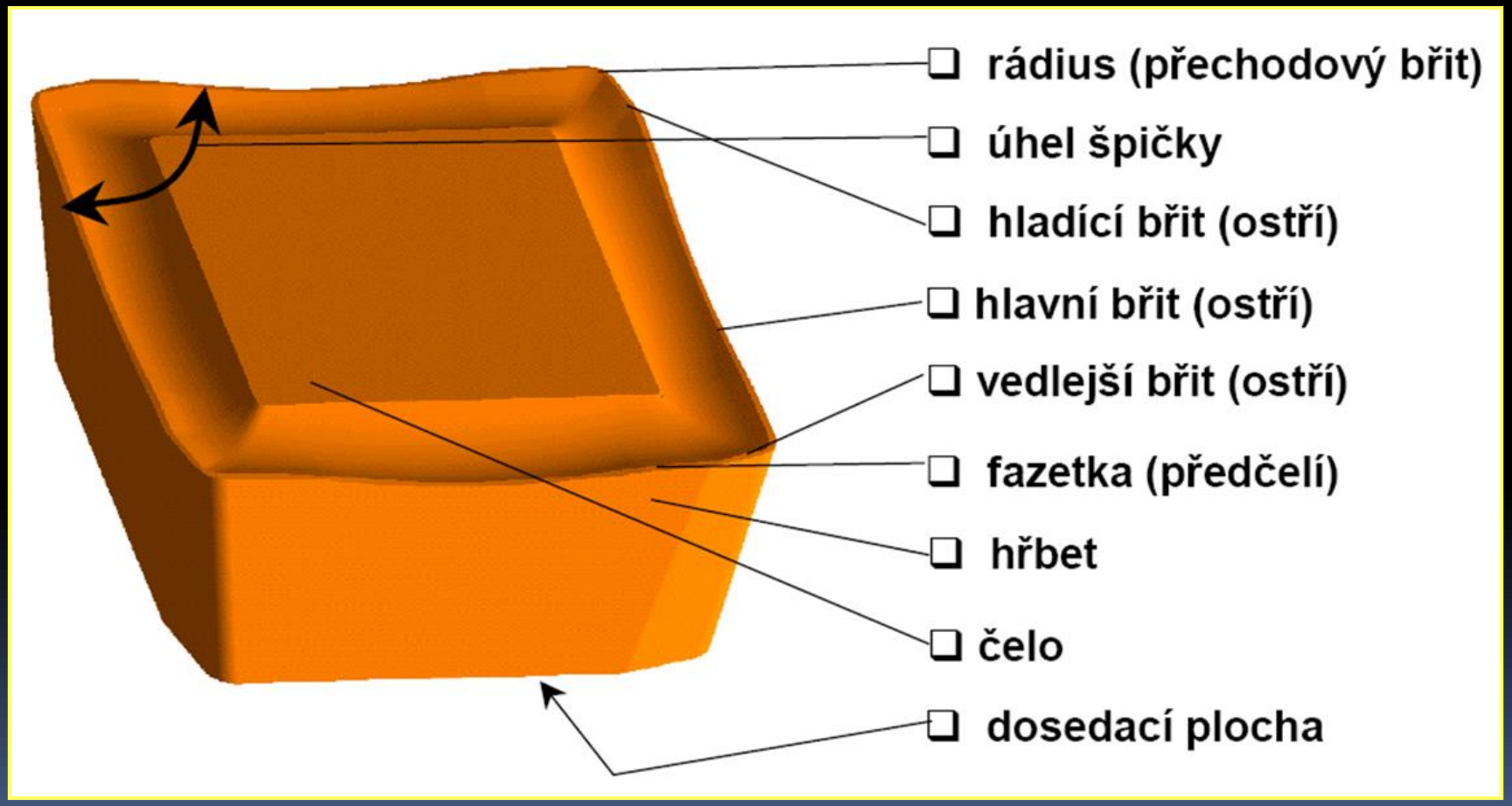
Řezné síly - válcová fréza

- tangenciální složka řezné síly F_z [N] působící na jeden zub frézy
  $F_z = S_{stř} . p = 0,5 . s_z . \sin\varphi_{max} . b . p$ [N]
- radiální složka řezné síly F_y[N]
  $F_y = (0,2$ až $0,5) F_z$ [N]
- fréza se šikmými zuby
  axiální složka řezné síly F_x [N]
  $F_x = F_z . tg\lambda$ [N]
  λ…úhel sklonu zubů

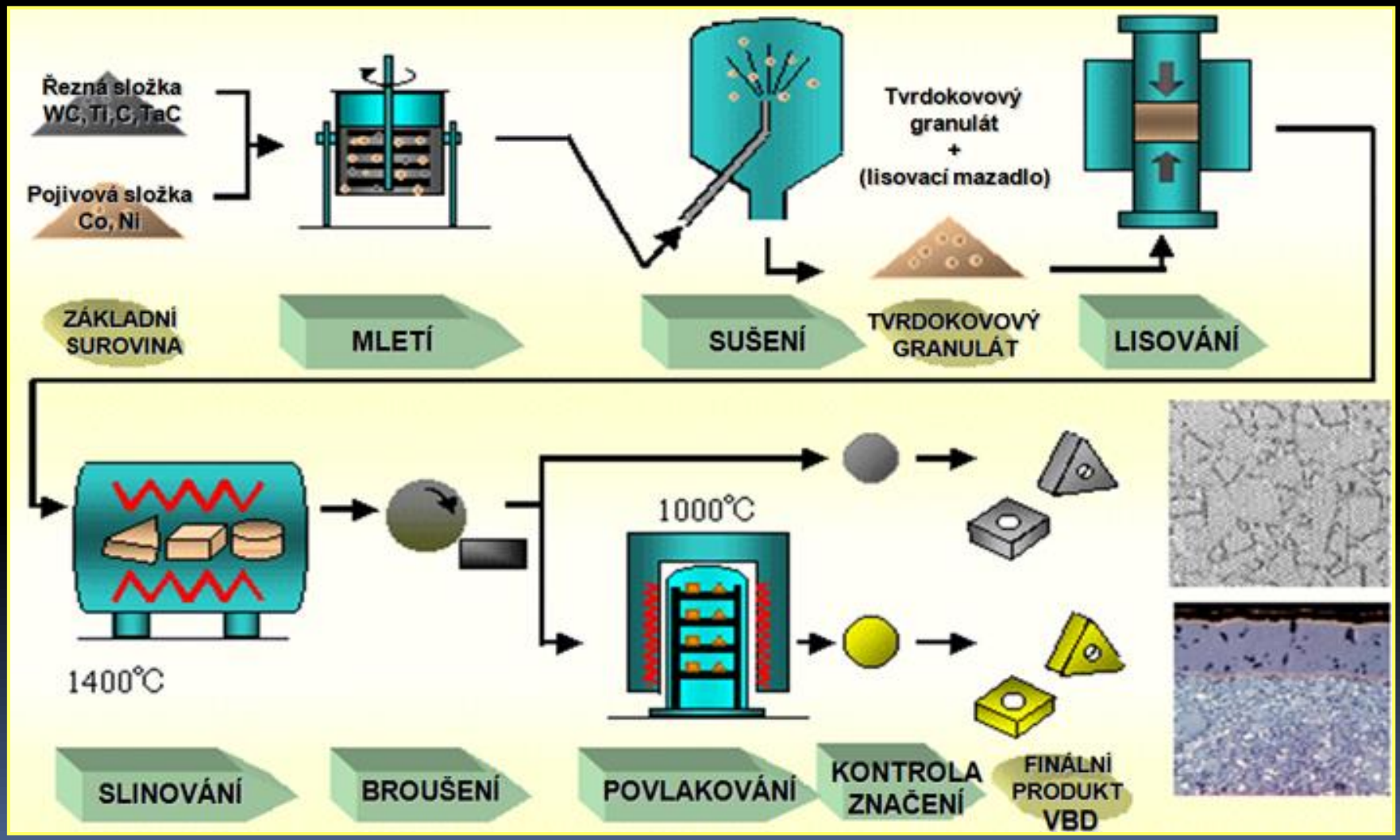
Drsnost obrobené plochy

- **rovinné frézování**
  - drsnost závisí na vzájemné poloze (axiální házivosti) jednotlivých břitů frézy
  - ovlivněna geometrií břitu (typem použité VBD), řeznými podmínkami, vlastnostmi obráběného materiálu
- **svislé (zapichovací) frézování**
  - v radiálním směru (vlnitost) závisí na velikosti posuvu frézy
  - v axiálním směru určení výpočtem

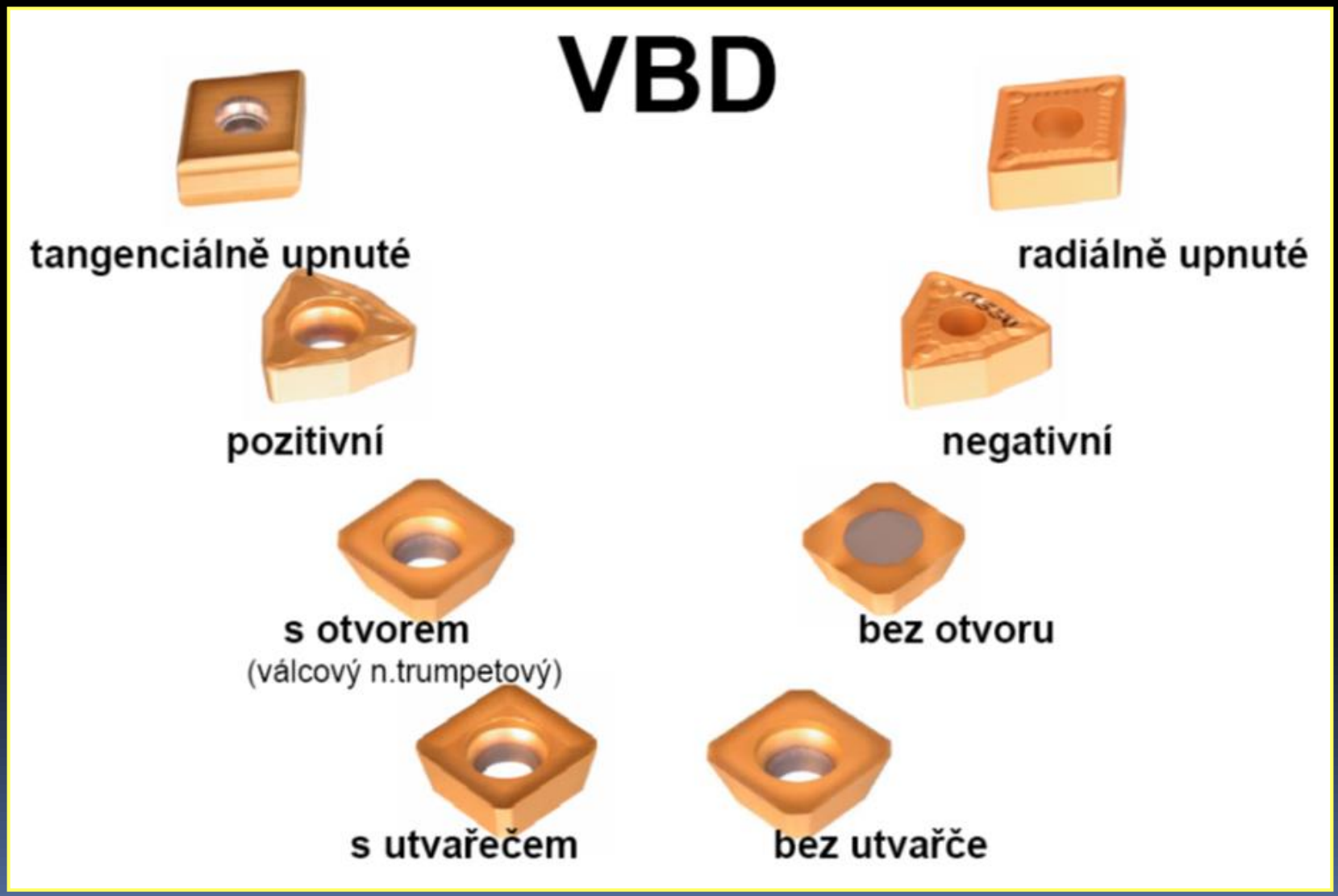
Vyměnitelná břitová destička



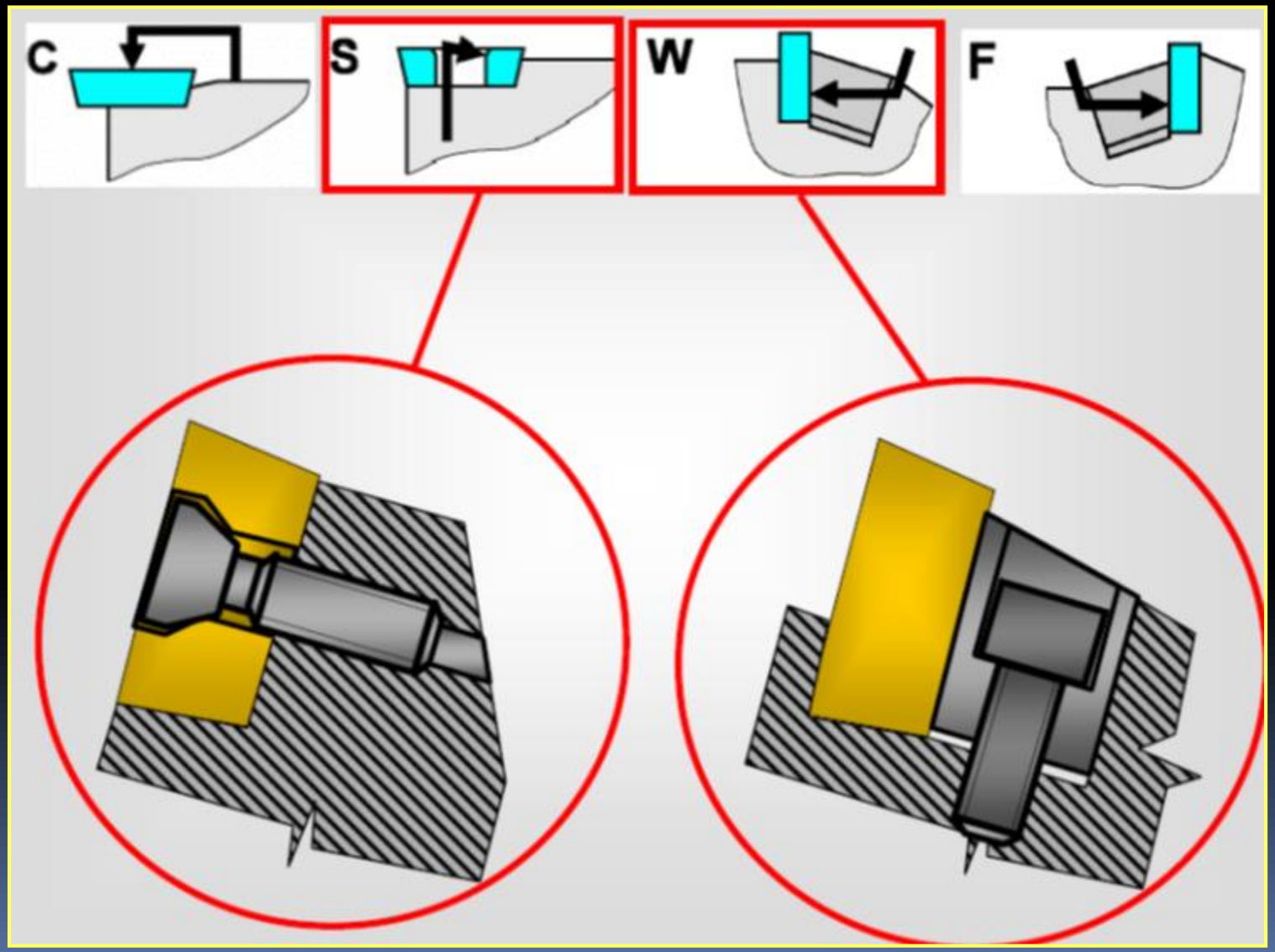
Postup výroby VBD



Vyměnitelné břitové destičky



Systém upnutí VBD



Zdroje

- katalog Optimum
- Přípravky a nástroje - Doc.Ing. NOVOTNÝ Karel,CSc.
  Ing. ZEMČÍK Oskar,CSc.
- Vyměnitelné břitové destičky - Pramet - Ing. Maršíček