

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Strojírenská technologie-technologie obrábění

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Konstrukce čelní válcové frézy v SW Catia V5

Autor: **Jiří Pivoňka**

Vedoucí práce: **Ing. Josef Sklenička**

Akademický rok 2013/2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří PIVOŇKA**  
Osobní číslo: **S13B0221K**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**  
Název tématu: **Konstrukce čelní válcové frézy v SW Catia V5**  
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**


### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod
2. Rozbor současného stavu , metody konstrukce fréz s VBD, typy, použití
3. Metodika konstrukce zadaného typu frézy, parametrizace modelu.
4. Závěr


Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**  
Seznam odborné literatury:

**Chladil, Josef. Přípravky a nástroje: část-obrábění. 3. vyd. Brno : VUT, 1992. ISBN 80-214-0408-6.**  
**Beneš, Vladimír; Mrkvica, Miloš. Teorie řezných nástrojů: určeno pro stud. fak. strojní. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1990. ISBN 80-01-00265-9.**  
**Schmidt, Eduard. Příručka řezných nástrojů. 2. vyd. Praha : SNTL, 1974.**  
**Chvála, Břetislav; Votava, Josef. Přípravky: celost. vysokošk. učebnice pro strojní fakulty vys. škol techn.. 1. vyd. Praha : SNTL, 1988.**  
**ASM Handbook, Vol. 16: Machining. Ohio, 1999. ISBN 0871700077.**  
**Shaw, Milton Clayton. Metal cutting principles. New York: Oxford University Press, 2005. ISBN 0-19-514206-3.**  
**Childs, Thomas. Metal machining : theory and applications. New York: Elsevier, 2000. ISBN 0-340-69159-X.**  
**Příručka obrábění: kniha pro praktiky; přel. Miroslav Kudela. Praha : Sadvik, 1997. ISBN 91-972299-4-6.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Josef Sklenička**  
Katedra technologie obrábění  
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Josef Sklenička**  
Katedra technologie obrábění  
Datum zadání bakalářské práce: **6. února 2014**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. června 2014**

  
Doc. Ing. Jří Staněk, CSc.  
děkan



  
Doc. Ing. Jan Řehoň, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 7. listopadu 2013

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Tímto chci poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Ing. Josefu Skleničkovi za podporu, vedení i za čas, který mi věnoval. Další poděkování patří firmě GTW BEARINGS s.r.o., ve které jsem vykonal odbornou praxi v rámci projektu POSPOL a získal tak cenné zkušenosti z praxe.

# ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Pivoňka	Jméno Jiří		
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	Strojírenská technologie- technologie obrábění			
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Sklenička	Jméno Josef		
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KTO			
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>	
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Konstrukce čelní válcové frézy v SW Catia V5			

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2014
----------------	---------	----------------	-----	------------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	46	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	29	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	17
---------------	----	---------------------	----	--------------------------	----

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX. 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Bakalářská práce obsahuje metodický postup čelní válcové frézy s VBD se zaměřením na parametrizaci pomocí programu Catia V5. Metodický postup parametrizace by měl sloužit při výuce na KTO.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">Catia V5, čelní válcová fréza, VBD, CAD/CAM, modelování, parametrizace</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Pivoňka	Name Jiří	
<b>FIELD OF STUDY</b>	Department of Machining Technology		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Sklenička	Name Josef	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<del>DIPLOMA</del>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	The design of end mill using SW Catia V5		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machining Technology	<b>SUBMITTED IN</b>	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

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

<b>TOTALLY</b>	46	<b>TEXT PART</b>	29	<b>GRAPHICAL PART</b>	17
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The bachelor's work contains a methodical description of the end mill design with parameterization in Catia V5. This work should be dedicated to the Department of Machining Technology.
<b>KEY WORDS</b>	Catia V5 ,End mill, VBD, CAD/CAM, modelling, parameterization

## OBSAH

<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
1.1 ÚVOD DO FRÉZOVÁNÍ .....	10
1.2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ FRÉZ Z GEOMETRICKÉHO HLEDISKA A JEJICH POUŽITÍ .....	11
1.3 ČELNÍ VÁLCOVÁ FRÉZA-OBECNÉ POŽADAVKY .....	12
1.4 KINEMATIKA PŘI FRÉZOVÁNÍ .....	12
1.4.1 Sousledné a nesousledné frézování .....	13
1.5 DEFINICE POJMŮ PŘI FRÉZOVÁNÍ .....	14
<b>2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU .....</b>	<b>15</b>
2.1 GEOMETRIE A DŮLEŽITÉ ROZMĚRY NA FRÉZÁCH.....	15
2.1.1 Geometrie na frézách .....	15
2.1.2 Důležité rozměry a hodnoty u čelní válčové frézy.....	15
2.2 ZPŮSOBY UPÍNÁNÍ FRÉZ .....	16
2.3 DRUHY VBD .....	18
2.4 GEOMETRIE VBD .....	19
2.4.1 Mikrogeometrie .....	20
2.5 ZPŮSOBY UPÍNÁNÍ VBD NA FRÉZÁCH .....	20
2.6 MATERIÁLY FRÉZOVACÍCH NÁSTROJŮ .....	21
2.6.1 Frézy s VBD.....	22
2.7 MODULÁRNÍ NÁSTROJOVÉ SYSTÉMY .....	24
2.8 KAZETOVÉ SYSTÉMY .....	25
2.9 VYSOKORYCHLOSTNÍ OBRÁBĚNÍ.....	25
2.10 ŘEZNÁ SÍLA PŘI FRÉZOVÁNÍ.....	26
2.11 TEPLO PŘI FRÉZOVÁNÍ .....	27
<b>3 METODIKA KONSTRUKCE ZADANÉHO TYPU FRÉZY.....</b>	<b>29</b>
3.1 VOLBA ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ FRÉZY .....	29
3.2 POSTUP KONSTRUKCE FRÉZY .....	29
3.3 KONSTRUKCE TĚLA FRÉZY .....	30
3.4 KONSTRUKCE VBD A LŮŽKA .....	31
3.5 KONSTRUKCE SPOJOVACÍCH DÍLŮ .....	36
3.6 VYTVOŘENÍ SESTAVY .....	36
3.7 PARAMETRIZACE MODELU .....	38
3.8 KONTROLA MODELU .....	42
<b>4 ZÁVĚR .....</b>	<b>44</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>45</b>
<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>46</b>



## Seznam zkratk a symbolů

Zkratka	Popis
VBD	Vyměnitelná břitová destička
HSS	Rychlořezné ocel
ISO	International Organization for Standardization - Mezinárodní organizace pro normalizaci - NORMA
CBN	Kubický nitrid boru
PKD	Polykrystalický diamant
CVD	Chemical Vapor Deposition – chemický depoziční proces
PVD	Physical Vapor Deposition – fyzický depoziční proces
HSC	Vysokorychlostní obrábění

Značení a jednotky	Popis
$n$ -[1/min]	Otáčky vřetene
$v$ .[m/min]	Řezná rychlost
$f_{\min}$ -[mm/min]	Posuv za minutu
$f_n$ -[mm/ot]	Posuv na otáčku
$f_z$ -[mm]	Posuv na zub
$a_p$ -[mm]	Axiální hloubka řezu
$a_e$ -[mm]	Plocha řezu
$V$ -[m <sup>3</sup> ]	Objem odebraného materiálu za jednotku času
$K$ -[°]	Úhel nastavení hlavního ostří
$\lambda_s$ -[°]	Úhel sklonu ostří
$\gamma_o$ -[°]	Ortogonální úhel čela
$\gamma_p$ -[°]	Axiální úhel čela
$\gamma_r$ -[°]	Radiální úhel čela
$D_c$ -[mm]	Průměr frézy
$u$ -[-]	Rozteč
$z$ -[-]	Počet zubů
$r_\xi$ -[mm]	Poloměr špičky
$F_c$ -[N]	Tangenciální složka řezné síly
$F_p$ -[N]	Axiální složka řezné síly
$F_{cn}$ -[N]	Normálová složka řezné síly

# 1 Úvod

## 1.1 Úvod do frézování [8]

Frézování je obrábění kovů, které se provádí dvěma na sebe vázanými pohyby: rotačním pohybem nástroje a posuvným pohybem obrobku. Dříve byl posuvný pohyb realizován jen jako posloupnost přímočarých pohybů. V současnosti je naproti tomu díky moderním obráběcím strojům možné realizovat posuvné pohyby plynule měnitelné ve všech směrech. Fréza má obvykle větší počet zubů a každý zub odebírá určité množství materiálu. Výhody současného frézování se projevují ve vysokém výkonu obrábění, vynikající jakosti obrobku, velké přesnosti rozměrů a flexibilitě při obrábění tvarově složitých obrobků. Frézováním se vyrábí rovinné plochy, drážky a plochy tvarové.

Frézování se vyvíjí ve stále univerzálnější metodu obrábění, což je důsledkem rostoucí mnohostrannosti použití obráběcích strojů, řídicích systémů a řezných nástrojů. Většina všech frézovacích operací se v dnešní době provádí na obráběcích centrech. V podstatě se pro frézování používají stroje, jejichž rozmanitost už nemůže být větší: počínaje staršími jednoúčelovými frézky, až po současné moderní víceosé CNC stroje.

Způsob obrábění a typ nástroje jsou určovány výkresem obrobku a danými požadavky (přesnost rozměrů, jakost obrobku atd.). Tradiční metody obrábění by měly být vždy kriticky zhodnoceny, protože neustále pokračuje vývoj v oblasti strojů a nástrojů a mění se také podmínky frézování, které s tímto vývojem souvisejí.

Proto je vhodné si vždy předem přesně uvědomit, jak má obrábění probíhat a s ohledem na zjištěné skutečnosti se rozhodnout pro cestu moderního obrábění; s největší pravděpodobností by pak mohlo být obrábění realizováno v podstatně kratší době a se značně lepšími výsledky. [8]

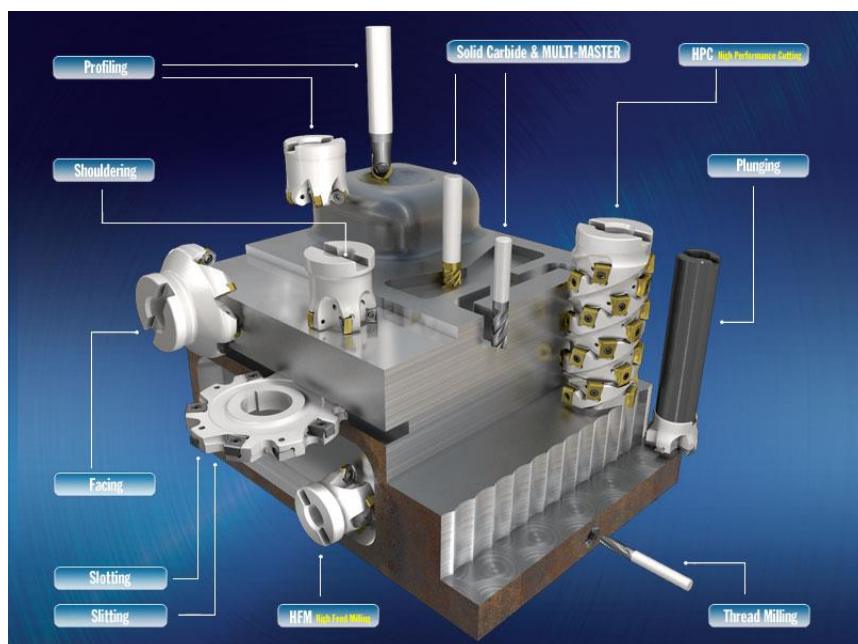
## 1.2 Základní rozdělení fréz z geometrického hlediska a jejich použití

- 1) **Válcové frézy:** Zuby jsou rozloženy pouze na válcové ploše. Jsou určeny k frézování rovinných ploch rovnoběžných s osou frézy (maximální docílená drsnost při práci na čisto  $Ra=1,6-3,2$ )
- 2) **Čelní válcové frézy:** Zuby jsou rozloženy na ploše válcové a ploše čelní. Používají se při současném frézování dvou rovin na sebe kolmých.
- 3) **Čelní frézy:** Zuby jsou rozloženy na čelní rovině kolmé k ose frézy. Používají se k frézování rovinných ploch. Čelní frézy se vsazenými zuby o průměru větším než 125mm se nazývají frézovací hlavy.
- 4) **Kotoučové frézy:** Zuby jsou rozloženy na ploše válcové a na obou rovinách čelních. Jsou vhodné pro frézování drážek a pro čelní frézování bočních rovin.
- 5) **Úhlové frézy:**
  - **jednostranné** - zuby jsou rozloženy na jedné ploše kuželové
  - **oboustranné** - zuby jsou rozloženy na obou plochách kuželových; mohou být buď souměrné, nebo nesouměrné

Frézy úhlové jsou určeny k frézování zubových drážek v řezných nástrojích, dále k frézování nakloněných rovin a srážení hran.

- 6) **Frézy tvarové:** Používají se při výrobě tvarových součástí, z jejichž tvaru jsou odvozeny; jejichž použití je značně široké, a to jak při frézování profilů kruhových, tak i obecných profilů tvarových.

Dnešní vývoj je zaměřen na frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami mechanicky upínanými, jejichž výměnou odpadá nákladné ostření, nebezpečí pnutí, trhlinek apod. Výroba těchto nástrojů je velmi náročná na přesnost, která při výměně destiček zabezpečuje opět minimální házivost jednotlivých zubů.



obr .č.:1 [16]

### 1.3 Čelní válcová fréza-obecné požadavky [8]

Jde-li o to, obrobit hlubší, širší a zpravidla i hruběji opracované dutiny a drážky, je čelní válcová fréza nejlepším řešením. Nástroj tohoto druhu, kde je vysoký řezný výkon, je obvykle používán k hrubování, protože jakost obrobeného povrchu, dosažitelná při obrábění tímto nástrojem je omezená.

Čelní válcová fréza je z hlediska konstrukčního řešení shodná s velkou stopkovou frézou se zuby ve šroubovici – s tím rozdílem, že u válcové čelní frézy je břit tvořen větším počtem vyměnitelných břitových destiček. Z funkčního hlediska je čelní válcová fréza v určitém smyslu podobná nástrčné válcové fréze HSS. Vlivem úhlu sklonu šroubovice ( $15^\circ$ -  $30^\circ$ ), je u čelní válcové frézy zaručen vysoký výkon obrábění. S ohledem na značné radiální složky řezné síly jsou však v tomto případě kladeny nejvyšší požadavky na stabilitu nástroje, stav vřetene, upnutí nástroje a příkon stroje.

Válcové čelní frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami jsou při obrábění obrobků s většími pravidelnými délkami obrysu velmi účinné. Pomocí moderních technologií vyměnitelných břitových destiček se dosahuje vysokých výkonů obrábění, kterým mohou tvarově broušené HSS frézy jen málokdy konkurovat. Tyto nástroje jsou schopny zhotovit libovolný profil. [8]



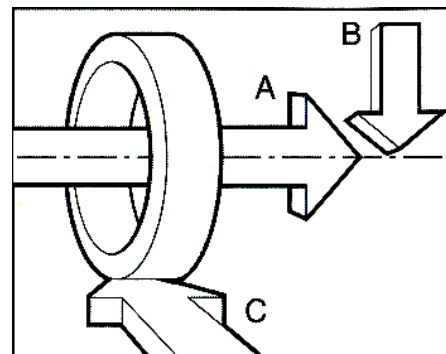
obr. č.:2[16]

### 1.4 Kinematika při frézování [8]

Ať už se jedná o kterýkoliv typ frézy, pracuje každá fréza buď podle jednoho, nebo kombinací následujících směrů pohybů. S přihlédnutím k různým pohybům frézování je nutné rozlišovat mezi různými směry posuvů ve vztahu k ose otáčení nástroje. (A) znázorňuje axiální směr, (B) radiální směr, zatím co u (C) mluvíme o tangenciálním směru.

Rovinné frézování čelní válcovou frézou je kombinovaným postupem obrábění. V podstatě to znamená, že do tohoto procesu jsou zapojeny břity, které se nacházejí na obvodu frézy, za podpory vedlejších břitů, umístěných na čele. Fréza rotuje v rovině rovnoběžné se směrem radiálního posuvu obrobku.

Při rovinném frézování válcovou frézou zajišťují obrábění břity, umístěné na obvodu nástroje. Fréza rotuje kolem osy otáčení v rovině rovnoběžné s tangenciálním posuvem. Některé frézy mohou pracovat s posuvem axiálním, tj. s posuvem ve směru osy frézy. V tomto případě se jedná o operaci vrtání, při níž přebírají funkci obráběné břity, umístěné na čele frézy. [8]



obr. č.:3[8]

### 1.4.1 Sousedné a nesousedné frézování

Při frézování nástroj – fréza rotuje, zatím co obrobek se pohybuje proti nástroji. Tímto způsobem vzniká při spolupůsobení různých dalších parametrů záběr frézy. Existují dvě cesty, jak lze v závislosti na poměru rotačního pohybu frézovacího nástroje k obrobku, tohoto procesu dosáhnout. Rozdíly v postupu mají pro frézování zásadní význam a ovlivňují různé funkce procesu obrábění. Obrobek se pohybuje buď ve směru, nebo proti směru otáčení frézy. Oba dva způsoby mají význam při vstupu a výstupu břitu do a ze záběru.

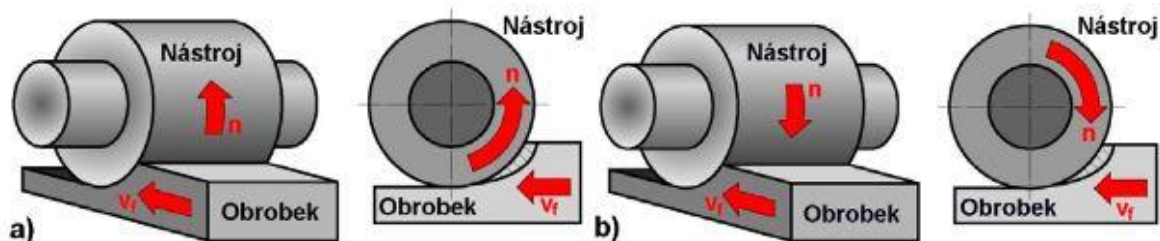
**O sousledném frézování** mluvíme tehdy, je-li směr posuvu obrobku v oblasti řezání shodný se směrem otáčení frézy. Tloušťka třísky je největší na začátku obrábění a směrem ke konci klesá až na nulu.

Při sousledném frézování přichází břit do záběru náhle. Obrábění začíná velkou tloušťkou třísky. Tím dochází k rázovému namáhání břitu, nevzniká však kluzný efekt, jak je tomu při nesousledném frézování. Mimoto se rovněž vyvíjí méně tepla a minimální je i sklon ke zpevňování materiálu obrobku za studena. Velká tloušťka třísky se projevuje příznivě a řezné síly mají tendenci přitlačovat obrobek ke stolu frézky, přičemž je břit stále udržován v řezu.

**Při nesousledném obrábění** se obrobek v oblasti řezání posouvá proti směru otáčení frézy. Tloušťka třísky začíná nulovou hodnotou a zesiluje se ke konci záběru až na maximum. Při nesousledném frézování vznikají v okamžiku záběru břitu do obrobku velké řezné síly, které vyvolávají silný tlak mezi obrobkem a frézou. Břit je fakticky odtlačován ze záběru. Přitom dochází v průběhu krátké kluzné fáze ke zpevnění povrchové vrstvy obráběného materiálu. V této fázi vzniká na břitu nástroje vlivem tření a vysokých teplot vyšší opotřebení, než k jakému dochází v dalším průběhu obrábění. Vznikající síly ( $F$ ) zvedají obrobek při nesousledném frézování směrem vzhůru; to vyžaduje velmi stabilní upnutí, aby byl obrobek bezpečně upevněn na stole stroje.

Z níže uvedených informací bude zřejmé, že souslednému frézování je v praxi dáována přednost všude tam, kde to umožňuje obráběcí stroj, upínání a obrobek.

Sousedné frézování však klade na obráběcí proces určité požadavky v tomto směru, že řezné síly mají snahu vtahovat obrobek ve směru posuvu, přičemž je současně tlačěn ke stolu frézky. Proto musí být posuvový mechanismus stolu stroje bez vůle, jinak by docházelo k vtahování nástroje do obrobku, čímž by došlo k nechtěnému zvýšení posuvu; následkem by pak bylo mimořádné zvětšení tloušťky třísky a zničení břitu nástroje. [8]



obr. č.:4 [-]

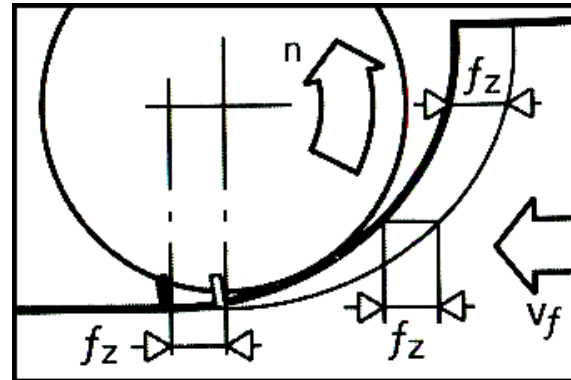
## 1.5 Definice pojmů při frézování [8]

U frézování se vyskytuje celé řada pojmů, které přesně definují pohyby rotujícího frézovacího nástroje (o průměru  $D$ ), který se pohybuje proti obrobku.

Pod pojmem **otáčky vřetene  $n$**  (1/min) rozumíme počet otáček za minutu, které koná fréza, upnutá ve vřetenu. Tato hodnota je vztahována ke stroji a jen málo vypovídá o tom, co se děje po obvodě frézy, tedy tam, kde břit odebrává třísku.

**Řezná rychlost  $v_c$**  (m/min) oproti tomu označuje obvodovou rychlost, jakou opracovává břit obrobek. Jedná se o důležitou veličinu, vztahující se k nástroji, která je součástí řezných podmínek a která zajišťuje, že obrábění daným nástrojem bude probíhat co nejúčinněji.

Otáčky vřetene, průměr nástroje a řezná rychlost jsou zjevně v úzkém vzájemném vztahu, o čemž vypovídá i vzorec pro výpočet řezné rychlosti.



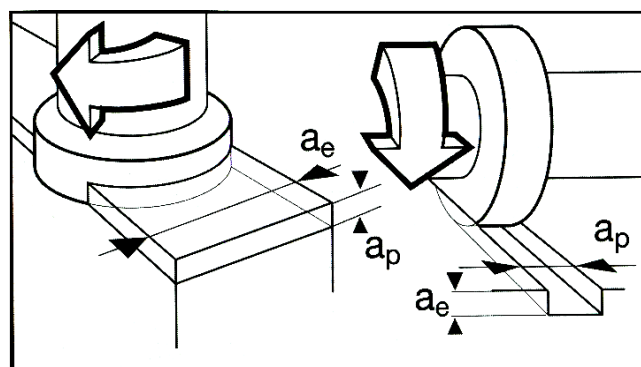
obr. č.5 [8]

**Posuv za minutu  $f_{min}$** , respektive posuvová **rychlost  $v_f$**  (mm/min) odpovídá relativní rychlosti mezi osou nástroje a obrobkem (hovoříme též o posuvu stolu frézky).

V případě **posuvu na otáčku  $f_n$**  (mm/ot) se jedná o veličinu, která má zvlášť velký význam pro výpočet posuvu a pro určení schopnosti frézy při obrábění načisto. Posuv na otáčku je pomocnou hodnotou, označující délku dráhy, kterou urazil nástroj za jednu otáčku.

**Posuv na zub  $f_z$**  (mm) je při frézování důležitou klíčovou hodnotou. Protože fréza je vícebřitý nástroj, musí existovat hodnota, jejíž pomocí je možné zajistit, aby každý břit obráběl za nejlepších možných podmínek. Výkon každého jednotlivého (břitu) určuje mez výkonnosti nástroje. Posuv na zub odpovídá dráze, kterou urazí fréza v průběhu záběru jednoho zubu.

**Axiální hloubka řezu ( $a_p$ )** – axiální hodnota nastavení frézy při rovinném frézování čelní frézou a při frézování do rohu, analogicky radiální šířka řezu při frézování kotoučovými frézami, ovlivňuje podstatně objem odebraného materiálu, tj. Výkon obrábění.



obr. č.6 [8]

**Šířka frézované plochy, respektive radiální šířka řezu ( $a_e$ )** určuje při rovinném frézování čelní frézou, jakou částí průměru obrábí nástroj plochu obrobku, při rovinném frézování válcovou frézou pak hloubku, do které proniká obvod nástroje pod povrch obrobku.

**Objem odebraného materiálu za jednotku času ( $V$ )**, lze vypočítat pomocí některých výše uvedených hodnot. Objem odebraného materiálu za jednotku času se vypočítává ze součinu hloubky řezu, šířky řezu a dráhy, kterou urazí nástroj za určitou časovou jednotku. Velikost objemu odebraného materiálu za jednotku času, nazývaného také úběr materiálu za jednotku času, je vyjádřena v  $\text{mm}^3/\text{min}$ . [8]

## 2 Rozbor současného stavu

### 2.1 Geometrie a důležité rozměry na frézách

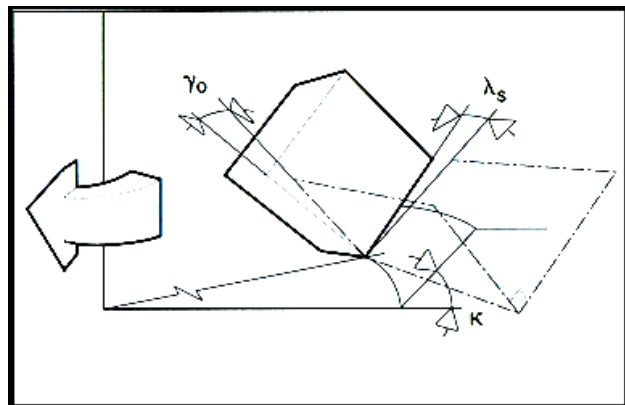
#### 2.1.1 Geometrie na frézách [8]

Ke geometrii břitu frézy patří velký počet úhlů, které určují polohu vyměnitelné břitové destičky, upnuté v tělese frézy. Hlavním úhlem, který určuje geometrii břitu, je úhel nastavení hlavního ostří mimoto určují polohu VBD v tělese frézy další čtyři úhly. [8]

**Úhel nastavení hlavního ostří – $\kappa$ :** Je úhel mezi obráběnou plochou opracovaného obrobku a hlavním ostřím. Velkou mírou ovlivňuje směr řezné síly a řezný odpor.

**Úhel sklonu ostří -  $\lambda_s$ :** Také ovlivňuje ve značné míře výkon stroje, potřebný pro obrábění, utváření a odchod třísky, dále ovlivňuje způsob, jakým vniká hlavní ostří břitu do materiálu obrobku a směr odchodu třísek

**Ortogonální úhel čela -  $\gamma_o$ :** Ovlivňuje také výše uvedené úhly ve značné míře výkon stroje, potřebný pro obrábění, utváření a odchod třísky. Ovlivňuje řezné síly a tím i příkon stroje. Když je úhel čela pozitivní, potřebný příkon stroje je menší.



obr. č.7 [8]

**Axiální uhel čela –  $\gamma_p$ :** dá se změřit v rovině, která je rovnoběžná s osou rotace.

**Radiální uhel čela –  $\gamma_f$ :** dá se změřit v rovině, která je kolmá k ose rotace

#### 2.1.2 Důležité rozměry a hodnoty u čelní vřetové frézy [8]

Vřetová čelní fréza je z hlediska konstrukčního řešení shodná s velkou stopkovou frézou se zuby ve šroubovici – s tím rozdílem, že u vřetové čelní frézy je břit tvořen větším počtem vyměnitelných břitových destiček. Vlivem úhlu sklonu šroubovice  $15^\circ$ , případně  $30^\circ$ , je u vřetové čelní frézy zaručen vysoký výkon obrábění. S ohledem na značné radiální složky řezné síly jsou však v tomto případě kladeny nejvyšší požadavky na stabilitu nástroje, stav vřetene, upnutí nástroje a příkon stroje. [8]

**Průměr frézy –  $D_c$ :** Je základním rozměrem celé frézy. Udává rozměr mezi místy dotyku destičky s materiálem. Teoreticky je průměr  $D_c$  shodný u čelní vřetové frézy s efektivním průměrem frézy.

**Rozteč -  $u$ :** Je to vzdálenost mezi sousedními břity.

**Počet zubů -  $z$ :** Udává nám, kolik zubů bude na čele frézy a od těchto zubů se bude odvíjet další řezná část vinutá ve šroubovici ve vřetovém profilu.

**Axiální hloubka řezu –  $a_p$ :** U čelní frézy je maximální možná hloubka řezu výškou vyměnitelné břitové destičky. V případě čelní vřetové frézy je  $a_p$  dána násobkem výšky vyměnitelné břitové destičky a počtu destiček v jedné šroubovici, což dává čtyřnásobek výšky destičky.

**Radiální uhel čela –  $\gamma_f$ :** Dá se změřit v rovině, která je kolmá k ose rotace.

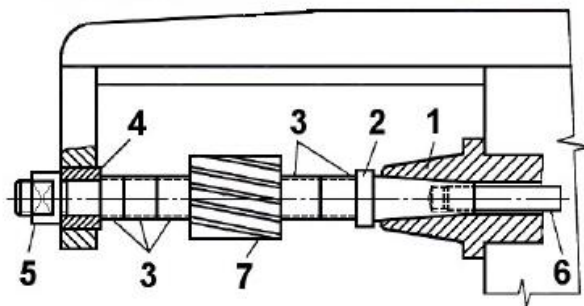
## 2.2 Způsoby upínání fréz [9]

Upnutí frézy se v dnešní době může realizovat mnoha způsoby. Musíme se však rozhodnout, pro jaký účel bude fréza použita, ať už pro kusovou nebo sériovou výrobu, či zajímá-li nás konečná kvalita povrchu a podobně. Každý upínač má své výhody a nevýhody a ne každý je vhodný pro konkrétní operace.

**Upínače musí splňovat tyto požadavky:**

- vysokou pevnost v ohybu
- dynamické vyvážení
- zajišťovat vysoké upínací síly schopné přenést velké krouticí momenty
- minimální obvodové házení nástroje
- tlumit vibrace
- umožňovat krátké časy upínání i uvolňování nástroje
- vytvářet předpoklady pro snadnou a bezpečnou obsluhu

**Pomocí frézovacího trnu-** Pro upínání všech druhů nástrčných fréz na frézkách se používá frézovací trn. Frézovací trny mají na jednom konci kuželovou stopku, jíž se upínají do dutiny vřetena. Krouticí moment se přenáší perem v drážce frézovacího trnu a drážce frézy. Válcové frézy se upínají na dlouhé frézovací trny. Poloha frézy se na trnu zajišťuje rozpěrnými kroužky volně navlečenými na frézovacím trnu. [9]



1 - vřeteno, 2 - trn, 3 - rozpěrné kroužky,  
4 - podpěrné ložisko, 5 - upínací matice,  
6 - upínací šroub, 7 - nástrčná fréza



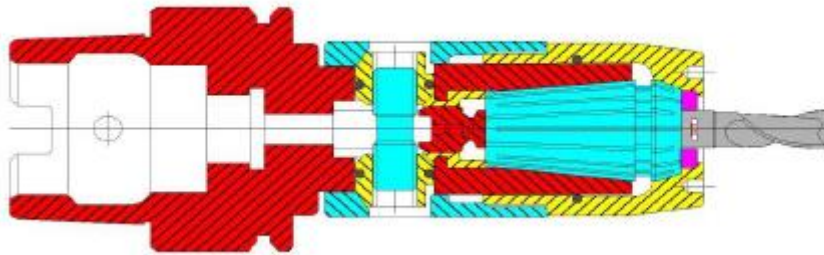
obr. č.8 [13]

Frézovací trny mohou mít na konci kuželovou stopku s kuželovitostí 1:20, nebo MORSE kužel (kuželovitost 1:19/20), jíž se upínají do dutiny vřetena. Třetí variantou je strmý kužel 1:3,5.

**Do kleštin** – Tento upínací prvek slouží k upnutí fréz s válcovou stopkou. Každá kleština se dá použít pro konkrétní průměr frézy. Z použití plyne, že vnitřek upínače bude válcový. Do vnitřního otvoru je zasunut nástroj o patřičném průměru a celá kleština je pro upnutí vtačována do dutého hřídele, o nepatrně menším průměru než je její středový vnější



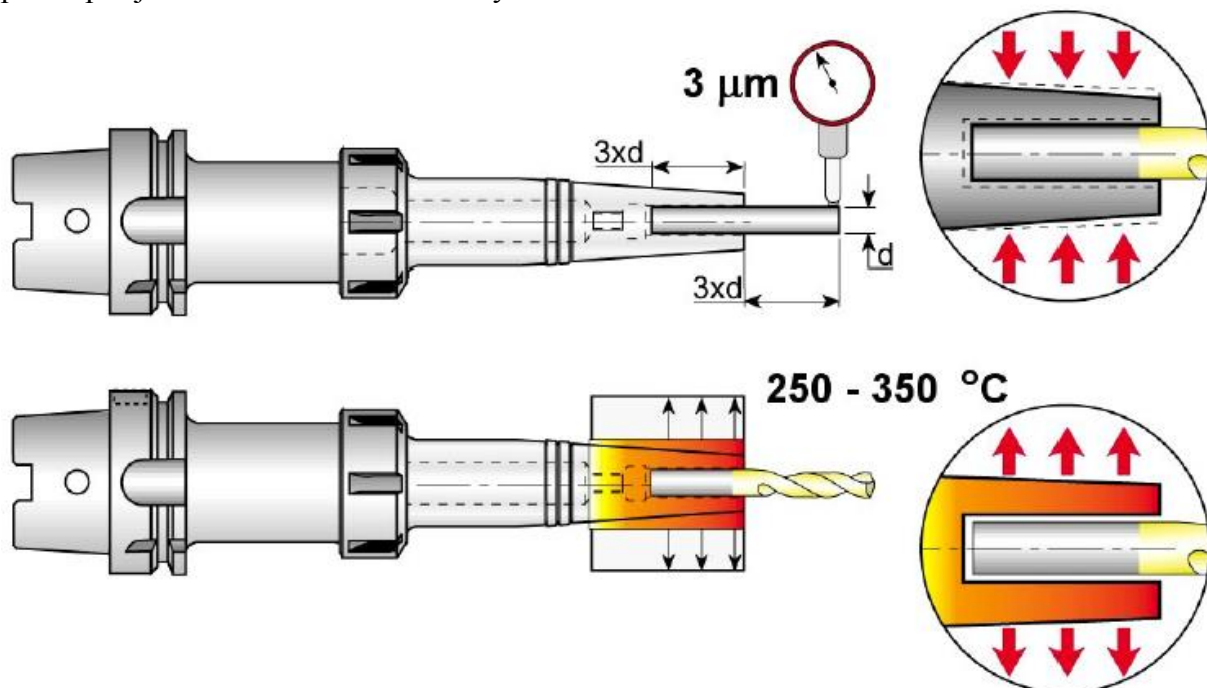
průměr, přehozenou maticí. Tím dojde k sevření stopky nástroje v kleštině. Upnutí nástroje kleštinou bývá extrémně přesné, je používáno zejména pro rychloběžné nástroje.



obr. č.9 [13]

**Hydraulické upínače** - Upnutí je zprostředkováno pomocí hydraulického válce, kde se používají tlaky až desítky megapascalů. U tohoto typu upínání vzniká minimální házivost, z toho plyne, že upínač je nejvhodnější pro vrtání a tvarové frézování.

**Tepelné upnutí** - Upínač se ohřeje na určitou teplotu, vlivem tepelné roztažnosti se materiál upínače roztáhne, do těsné díry se vloží většinou válcová stopka frézy a po ochladnutí se materiál upínače vrátí na původní rozměr → upnutí. Upínač je vždy určen pouze pro jednu rozměrovou řadu frézy.



obr. č.10 [13]

## 2.3 Druhy VBD [9]

Vyměnitelné břitové destičky pro frézování mají širokou nabídku rozměrů, utvařečů, materiálů a provedení (hrubovací, dokončovací). Mají vysokou výkonnost a dlouhou životnost.



obr. č.11 [8]

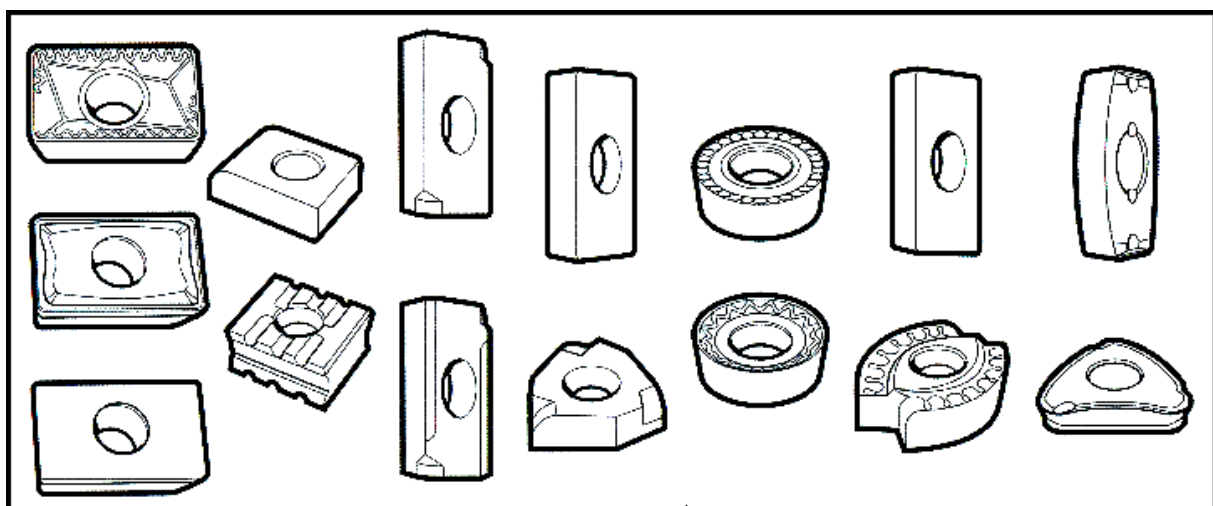
### Vyměnitelné břitové destičky přinášejí u fréz řadu výhod:

- Není nutné přestřeni u pájených destiček, jak tomu bylo dříve. Destička se pouze pootočí nebo se jednoduše vymění za novou.
- Velká škála výběru řezných materiálů
- Volba vhodné geometrie VBD
- Jednoduchá a bezpečná manipulace s nástrojem

### Nevýhody VBD:

- Vyměnitelné destičky se obvykle vyrábějí v několika třídách přesnosti. Jejich rozměrové a geometrické nepřesnosti zvětšují radiální a axiální házení frézy

**Tvary VBD:** tvary nejčastěji používaných vyměnitelných břitových destiček jsou: trojúhelníková, čtvercová, kruhová, 8místěň, 6tístěň. Úhel nastavení  $\kappa_r=75^\circ$  a  $60^\circ$  se používá při běžném frézování,  $\kappa_r=45^\circ$  se volí při menší tuhosti nástroje,  $\kappa_r=90^\circ$  se používá u obrobků s menší tuhostí v axiálním směru nástroje. Velikost vyráběných trojúhelníkových břitových destiček umožňuje hloubku řezu až 12 a 17mm ( $\kappa_r=90^\circ$ ), u čtvercových destiček až 9 a 12mm ( $\kappa_r=75^\circ$ ). [9]



obr. č.12 [8]

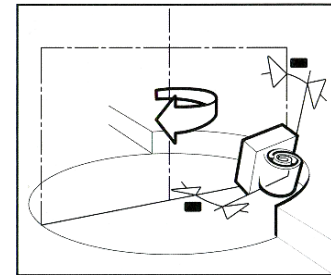
### Důležité faktory při volbě VBD na které bychom se měli zaměřit:

- **Velikost VBD** – Zde je hlavním kritériem maximální hloubka řezu, kterého chceme dosáhnout. Dalším kritériem je aktivní délka ostří, které vyplývá z úhlu nastavení  $\kappa_r$  ( $\kappa_r=90^\circ$ , hloubka řezu se rovná délce ostří).
- **Poloměr špičky** - Poloměr špičky má hlavní vliv na kvalitu obrobené plochy (drsnost). Samozřejmě je tento faktor spojený s výkonem stroje (otáčky, posuv). V případě malého poloměru špičky VBD se destička lépe zařezává do materiálu, ale je náchylnější, ať už na vylomení špičky, nebo vznik tepla. Naopak při velkém poloměru špičky hrozí vznik vibrací.
- **Materiál VBD** - ne každý materiál je vhodný pro konkrétní polotovar materiálu (například keramika má jiné použití než cermet). Materiály VBD budou více popsány v kapitole materiály frézovacích nástrojů

## 2.4 Geometrie VBD [8]

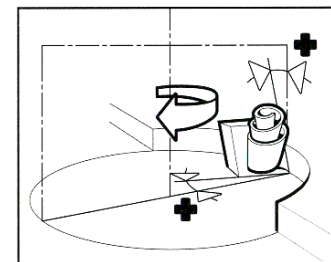
Geometrie fréz s VBD se v současné době ustálila do tří variant; dvojitá negativní, dvojitá pozitivní a pozitivně negativní.

**Při frézování s dvojitou negativní geometrií** je radiální i axiální úhel čela negativní (záporný) a používá se pro tento případ také negativní vyměnitelná břitová destička. Úhel hřbetu se odvíjí od sklonu vyměnitelné břitové destičky. Jelikož se destička může použít z obou stran, dosáhneme tím většího počtu stabilnějších břitů, a zvýší se tak hospodárnost obrábění. Frézy s touto geometrií se dají použít pro obrábění tvrdé oceli a šedé litiny, kde vzniká velké mechanické zatížení břitu.



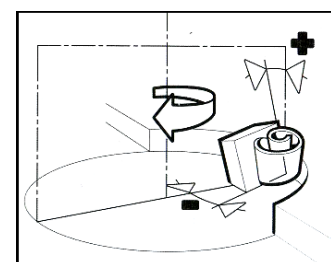
obr. č.13 [8]

**U dvojitě pozitivní geometrie** je axiální i radiální úhel čela pozitivní (kladný). Z toho vyplývá, že lze obrábět pouze jednou stranou vyměnitelné břitové destičky, a to z důvodu jedné dosedací plochy při upnutí destičky, a druhé plochy, určené k obrábění. Tato geometrie už lze použít pro více způsobů obrábění. Při porovnání s dvojitou negativní geometrií zle u této geometrie použít menší příkon stroje, destička může být tenčí. Je to způsobeno menšími řeznými silami, které vznikají od břitu nástroje. Díky utvářeči třísky vzniká stáčené třísky tvořené do malých šroubovic, které lehce odcházejí ze zubové mezery. Dvojitá pozitivní geometrie je jediným řešením v případech obrábění hliníku, tvárných ocelí, nebo korozivzdorných ocelí, u kterých vzniká na čele nárůstek.



obr. č.14 [8]

**Pozitivně negativní geometrie** má axiální úhel čela pozitivní (kladný) a radiální úhel čela negativní (záporný). Je zde zapotřebí mnohem vyšší výkon stroje od pozitivně-negativní geometrie břitu než u dvojitě pozitivní geometrie. Na druhé straně nižší výkon než u dvojitě negativní. Při této geometrii můžeme obrábět s vysokým posuvem na zub s velkou hloubkou řezu, protože tento druh geometrie je vysoce odolný proti lomu břitu a pozitivní axiální úhel čela obvádí třísky ihned ven z řezu. [8]

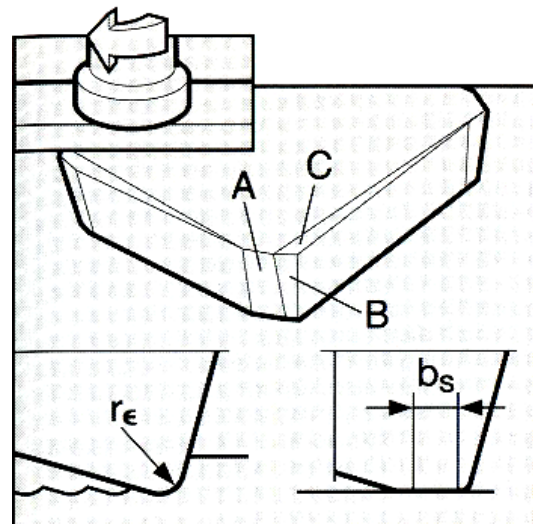


obr. č.15 [8]

### 2.4.1 Mikrogeometrie [12]

Pod pojmem mikrogeometrie VBD si lze představit především útvary vyskytující se na břitu samotné destičky, ať už se jedná o fasetky nebo různé utvařeče třisek, které se pohybují v řádech mikrometru. Jedná se zejména o zakřivenost povrchu břitu vlivem drsnosti po broušení a o defekty vzniklé po broušení. Mikrogeometrie nástroje je do jisté míry ovlivněna použitým řezným materiálem ve smyslu, jak dobře jde tento materiál vybrousit k tzv. dokonalé ostrosti, tak i nanesenou otěruvzdornou vrstvou, která dokonale opisuje povrch nástroje a ovlivňuje výslednou drsnost povrchu. Problém může nastat na ostří nástroje, kde vznikají ostré hrany po broušení vlivem vytrhání tvrdých karbidů z pojiva. Proto se většina výrobců snaží tomuto problému zabránit a před vlastní depozicí se nasazují různé technologie úpravy břitu. Úpravy mikrogeometrie břitu se neustále vyvíjejí a rozšiřují o nové technologie. Mezi nejznámější patří omílání, pískování, kartáčování, honování, ale začínají se objevovat i nekonvenční metody jako je úprava břitu pomocí laseru. Úpravy břitu před depozicí mají za úkol eliminovat defekty řezné hrany a zajistit tím lepší adhezi deponované vrstvy k substrátu. V některých případech se provádí úpravy i po depozici, jedná se o tzv. leštění, které má za úkol zahladit mikronerovnosti vrstvy a snížit tak koeficient tření mezi nástrojem a odcházející třískou. Je patrné, že všechny tyto úpravy zvyšují kvalitu, ale i cenu nástroje. [12]

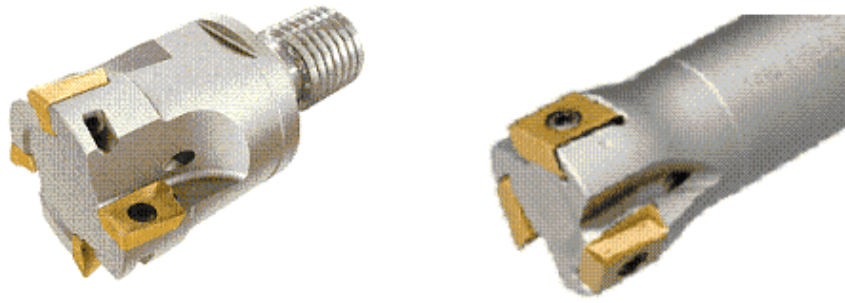
Rozhodujícím faktorem u pevnosti vyměnitelné břitové destičky je její tloušťka, délka pak detaily, jako například poloměr špičky, utvařeče třisek, nebo fasetka. Poloměr špičky ( $r_\xi$ ) zajistí její stabilitu, plynule rozvádí teplo po destičce a dochází tak ke stejnoměrnému opotřebení. Nevýhodou poloměru malého špičky je špatná jakost obrobeného povrchu. Vyloučit tento nedostatek lze vytvořením čelní fasetky. Tato fasetka je kolmá na rovinu, která je kolmá na osu otáčení frézy. Výrazně zlepšuje jakost obrobené plochy a je velmi často použita. Pořád zde ale je jeden ostrý přechod, a to mezi čelní fasetkou a hlavním ostřím, který má za následek zeslabení břitu. Vytváří se tedy v tomto přechodu další fasetka, tentokrát přechodová. Poslední fasetku je možno vytvořit na čele. Tato fasetka má za následek zvýšení pevnosti břitu.



obr. č.16 [8]

### 2.5 Způsoby upínání VBD na frézách [9], [10]

Již v kapitole druhy VBD bylo zmíněno, že dříve se destičky pájeli k tělesu frézy. Bylo tedy nutné tyto destičky přeostřovat. Dnes jsou vyměnitelné břitové destičky mechanicky upínány. Upínání VBD do tělesa frézy se děje různým způsobem. Jejich radiální a axiální poloha může být přitom v tělese pevná, anebo lze destičky axiálně stavět. Možnost axiálního stavění má tu výhodu, že lze u destiček seřizovat jejich axiální házení. [9]



obr. č.17 [14]

Způsob upínání VBD se v dnešní době ustálil na **radiální** upnutí a **tangenciální** upnutí s tím, že tangenciální upnutí odstraňuje nedostatky radiálního upnutí. Při radiálním upnutí směřuje destička od místa řezu směrem do osy nástroje. Na druhou stranu tangenciální upnutí se provádí spíše po obvodu. Tím vzniká mnoho výhod:

- Není tolik zeslaben střed těla frézy
- Možnost použití většího počtu VBD na stejném průměru
- Větší tuhost
- Přijatelnější vzniklé řezné síly

Volba upínání VBD se v dnešní době stále modernizuje a každý výrobce má svůj systém upínání. Existují ovšem i normy pro upnutí VBD, a to norma ISO. Upnutí pomocí speciálního šroubu odpovídá označení ISO S a upnutí pomocí upínky odpovídá ISO C. Tyto dvě označení jsou používána v praxi u těchto fréz.

**Upnutí pomocí šroubu:** Destička má ve svém středu díru pro šroub, pomocí něhož se přišroubuje k tělesu frézy. Při dotažení šroubu je VBD pevně připevněna k lůžku frézy. Pro dosažení větší tuhosti upnutí se může pod destičku vložit podložka.

**Upnutí pomocí upínky:** U tohoto typu upnutí nemá destička díru pro šroub, nýbrž je přitlačována upínkou na čele, která je dotahována šroubem. Výhodou je možnost použití jak pozitivní, tak negativní geometrie destičky. Nevýhodou je menší úspora místa oproti upnutí šroubem.

Kromě uvedených způsobů upínání vyměnitelných břitových destiček existuje kazetový způsob. V tomto případě lze použít v tělese hlavy různé druhy destiček, které jsou předem upnuté v kazetě. Kazeta s destičkami se připevňuje do frézovací hlavy pomocí šroubů. [10] Tento moderní způsob upínání VBD bude podrobněji popsán v kapitole Kazetové systémy.

## 2.6 Materiály frézovacích nástrojů [15]

Při volbě materiálu frézovacího nástroje, ať už z pohledu těla frézy, nebo materiálu vyměnitelné břitové destičky vycházíme z vlastností materiálu obrobku. Požadavky na materiál jsou následující:

- **Odolnost proti opotřebení:** Projevuje se jako odolnost odolávat různým druhům zatížení tak, aby neztrácel břit pro určenou dobu svůj výkon.
- **Houževnatost:** Tato vlastnost je důležitá zejména u monolitních nástrojů.
- **Tvrдость za tepla:** Má důležitou roli při obrábění vysokými řeznými rychlostmi, kdy vzniká velké teplo. Důležitým mezníkem je zde teplota, po které už není materiál schopen obnovit své původní vlastnosti břitu.
- **Odolnost vůči tepelnému šoku:** Vyskytuje se u frézování a tam, kde není plynulý chod řezu. [15]

### 2.6.1 Frézy s VBD

Zde je materiál tělesa rozdílný od řezného materiálu vyměnitelné břitové destičky. Vymenuji tedy zde nejběžnější druhy materiálů držáků a vyměnitelných břitových destiček.

#### 2.6.1.1 Materiál těla frézy

Materiál upínacího kužele SK40 a SK50 se nejčastěji vyrábí ze zušlechtěné oceli s vysokou mezí pevnosti, která se cementuje. Jelikož v našem případě jde o celou upínací část a tělo frézy, materiál bude totožný.

#### 2.6.1.2 Materiál VBD [13], [8]

**Slinutý karbid:** Jedná se o nejpoužívanější materiál u VBD. Je tvořen tvrdými částicemi karbidu spojené kovovým pojivem. Nejdůležitějším karbidem je karbid wolframu (WC), karbid titanu (TiC), karbid tantalu (TaC) a karbid niobu (NbC). Pojivem je většinou kobalt (Co). Slinuté karbidy jako takové jsou v dnešní době vhodné pouze pro obrábění hliníku, a proto se na ně nanáší tenká vrstva, která zcela mění jejich vlastnosti. Samotný proces výroby se nazývá prášková metalurgie. Základními kroky této metody jsou:

- výroba prášku
- lisování polotovaru
- slinování
- tvarování polotovaru
- povlakování

Slinuté karbidy jsou klasifikovány dle ISO a nevztahuje se na další jiný řezné materiály (tato klasifikace se neustále aktualizuje)



obr. č.18 [8]

**Cermety:** Cermet je společný název pro všechny tvrdé kovokeramické materiály, u nichž jsou tvrdé složky tvořeny karbidem titanu (TiC), karbonitridem titanu (TiCN) nebo nitridem titanu (TiN). Pojivem těchto složek je nikl (Ni), molybden (Mo), popřípadě kobalt (Co). Jméno znamená CERamic-METal. To znamená keramické částice s kovovým pojivem. V praxi lze cermety považovat za slinuté karbidy, neboť jsou produktem práškové metalurgie. Jsou však zhotovené na bázi karbidů titanu na rozdíl od slinutých karbidů, která jsou na bázi karbidů wolframu.

Cermety lze použít na rozdíl od slinutých karbidů pro vyšší řezné rychlosti, neboť je karbid titanu termochemicky stabilnější než karbid wolframu.



obr. č.19 [20]

**Řezná Keramika:** Řezná keramika patří mezi anorganické, nekovové, převážně krystalické materiály. Základním stavebním materiálem je oxid hlinitý ( $Al_2O_3$ ). Keramika není rozdělena dle normy.

Keramické materiály jsou tvrdé, mají vysokou tvrdost za tepla a nereagují chemicky s materiálem obrobku. Zaručují dlouhou trvanlivost břitu a mohou být použity při vysokých řezných rychlostech. Při správném používání je možné dosáhnout mimořádně velkého objemu odebraného materiálu. [8]

### **Základní rozdělení keramiky:**

- oxidická keramika - založena na bázi oxidu hlinitého ( $Al_2O_3$ ). Lze ji dále rozdělit na čistou, směsnou a vyztuženou
- neoxidická keramika- založena na bázi nitridu křemíku ( $Si_3N_4$ )

Hlavní oblast použití pro keramiku jsou: šedá litina, žáruvzdorné slitiny, kapalné oceli, tvárná litina a v některých případech také ocel. [8]

**Kubický nitrid boru:** Kubický nitrid boru (CBN) je zvlášť tvrdý řezný materiál, jehož tvrdost překonává již jen diamant. CBN má vynikající výkonnost; vykazuje mimořádnou tvrdost, vysokou tvrdost za tepla při extrémních teplotách ( $2000^\circ C$ ), velkou odolnost proti abrazivnímu opotřebení a při obrábění má vždy dobrou chemickou stabilitu. Je relativně křehký; je houževnatější a tvrdší než keramika, ale nemá tak dobrou tepelnou a chemickou odolnost. Přes svoji vysokou cenu našly uplatnění při soustružení kalených součástí, které se dosud brousily. [8]

**Polykrystalický diamant:** Nejtvrdějším známým materiálem je přírodní monokrystalický diamant, jehož tvrdosti téměř dosahuje syntetický polykrystalický diamant (PKD). Jeho mimořádná tvrdost umožňuje odolávat vysokému abrazivnímu opotřebení, například při orovnávaní brousících kotoučů. [8]

**Tenké vrstvy:** O tenké vrstvě můžeme hovořit, pokud se jedná o materiál o tloušťce od několika desítek nanometrů až po několik mikrometrů, který je vytvořen na základním materiálu, tj. Substrátu. Tloušťka vrstev se u břitových destiček pohybuje mezi 2 až  $15\mu m$ . Dnes existují široké možnosti použití tenkých vrstev například v elektrotechnickém průmyslu, strojírenství, energetice, dekorační technice atd. Tenké vrstvy se již řadu let používají k povrchovým úpravám řezných substrátů. Například velmi tvrdé diamantové vrstvy se nanášejí na řezné nástroje (vrtáky, frézky, pilky), což až několikanásobně zvyšuje jejich životnost.

### **Typy vrstev:**

- monovrstva
- monovrstva s "adhezní" vrstvičkou
- sendvičově řešená vrstva
- nanostrukturovaná vrstva
- nanokompozitní vrstva
- gradientní vrstva [13]

### **2 druhy nanášení:**

- 1) **CVD:** provádí se chemickou reakcí různých plynů. V případě povlaku z karbidu titanu to jsou: vodík, chlorid titanu a metan. Povlakování probíhá za vysoké teploty, kolem  $1000^\circ C$ . tato technologie je vhodná pro vytváření vícevrstvých povlaků, protože v průběhu je možné relativně jednoduše regulovat množství různých přiváděných plynů.
- 2) **PVD:** tato metoda používaná v širokém rozsahu, nejvíce pro rychlořeznou ocel, může být použita i u slinutých karbidů. Teploty u této technologie jsou nižší než u metody CVD asi o polovinu. Tato technologie se osvědčila pro nanášení povlaků u složitých profilů a na velmi ostré nástroje, jako stopkové frézy a vrtáky. [8]

## 2.7 Modulární nástrojové systémy [8]

Pod pojmem modulární nástrojové systémy se rozumí moderní metody upínání nástrojů. Jelikož upínání nástrojů do stroje, jejich nastavení korekcí trvá dlouhou dobu, zavádí se tyto modulární nástrojové systémy, které dávají obrábění větší význam.

U modulárních nástrojů je nosičem břitu samostatná část nástroje, takzvaná nástrojová hlavice. To znamená, že neexistuje přímá závislost v rozhraní mezi nástrojem a obráběcím centrem. Nástrojová hlavice je u modulárního nástrojového systému spojena s nástrojovým držákem spojku. Modulární nástrojový systém tedy znamená, že nástrojovou hlavice lze použít pro každý nástroj, který je vybaven odpovídající upínací jednotkou, respektive základním nástrojovým držákem vhodné velikosti. [8]

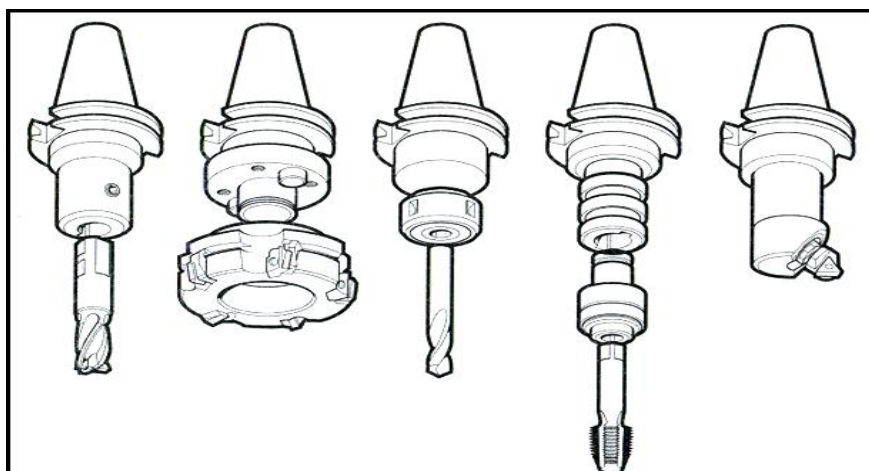
Výhoda modulárních systémů nástrojů pro vybavení obráběcích center leží v tomto případě mimo stroj – v oblasti nárůstu efektivity vlivem lepšího vytížení stroje a flexibilnější použitelnost zvolených nástrojů. [8]

### **Modulární nástroje je možné s výhodou používat v následujících případech:**

- Při aplikaci nástrojů na více strojích, které mají upínací kužel různých velikostí nebo provedení.
- Při změnách obrobků. Nebo při přechodu na jinou výrobu, u které je požadována vysoká flexibilita nástrojových systémů
- Ve výrobcích, kde se zhotovují komplexní výrobky, při jejichž obrábění je nutné použít velký počet speciálních nástrojů
- Je-li dostupnost nadřazena nad všechny ostatní požadavky, například u subdodavatelů, kteří nevědí, které výrobky budou po nich požadovány zítra.

### **Používání jednoduchých nedělených nástrojů se doporučuje:**

- Pro sériovou výrobu, které nevyžaduje vůbec žádné změny nástrojů
- Když tyto nástroje z technických nebo praktických důvodů představují nejlepší řešení, například v případě, kdy je možné použít nástroje s malou délkou vyložení, nebo mají-li být přenášeny zvláště vysoké krouticí momenty
- Mohou-li být pro různé druhy obrábění použity stejné nástroje a nevyžadují-li změny rozměrů žádné změny u používaných nástrojů, například při upínání fréz a při použití kleštinových upínacích prvků. [8]



obr. č.20 [-]



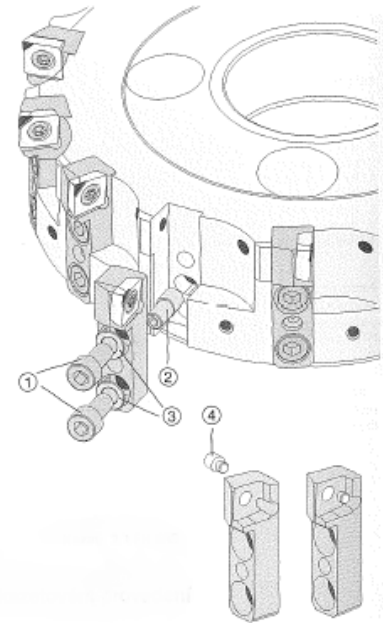
## 2.8 Kazetové systémy

Kazetový systém je vlastně jedno možné řešení, jak upnout vyměnitelnou břitovou destičku do tělesa frézy. Děje se tak pomocí kazety, ke které už je pevně připevněna vyměnitelná destička a samotná kazeta se poté nejčastěji mechanicky, pomocí šroubů, připevní do tělesa frézy. Vyměnitelné břitové destičky mohou být upnuty tangenciálně i radiálně.

Použití kazetového systému je v praxi omezeno pouze na 2 druhy fréz, a to na čelní frézy a na kotoučové. Je to dáno prostorovou náročností na upnutí kazety, kde u jiných druhů fréz je to buď nemožné, nebo příliš složité a vyplatí se tedy klasické upnutí VBD.

Nespornou výhodou u kazetového systému je použití mnoha geometrií a tvarů vyměnitelných břitových destiček na jednom držáku. Z toho vyplývá, že kazetová fréza má víceúčelové použití. Dalším kladem je možnost volby jiného materiálu tělesa než ušlechtilé oceli. Docílí se tak nižší hmotnosti, zachování mechanických vlastností a lepší možnost vyvážení. Navíc u kotoučových fréz je zde možnost nastavení průměru frézy, která se dá regulovat v rádech milimetrů.

Nevýhodou kazetového systému je tuhost soustavy, a to z toho důvodu, že se upnutí vyměnitelné břitové destičky neprovádí přímo na tělese frézy ale přes další element, v tomto případě kazetu a vzniká zde prostor pro více nepřesností.



- ① Šrouby s válcovou hlavou
- ② Excentrické šrouby
- ③ Pružná podložka
- ④ Seřizovací šroub

obr. č.21 [13]

## 2.9 Vysokorychlostní obrábění [15]

*High Speed Cutting = Vysokorychlostní Obrábění = HSC*

Jednou z možností, jak realizovat cíle dnešních požadavků, ať už jsou to technologické faktory, ekonomické faktory, ekologické faktory nebo sociální faktory, je aplikace HSC technologie obrábění, které zahrnuje mimo podstatné zvýšení relativní rychlosti nástroje vzhledem k obrobku i možnost obrábění bez chlazení (DC) a obrábění tepelně zpracovaných (HC) ocelí a dalších velmi tvrdých materiálů, které byly možné obrábět pouze broušením. Hlavním rozdíly mezi rychlostním a konvekčním obráběním se výrazně projevují v mechanismu tvorby třísky. Oddělování třísky je velmi složitým procesem, jehož průběh závisí na mnoha činitelích, zejména na fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu a jejich závislosti na podmínkách plastické deformace. Obecně platí, že při zvyšující se řezné rychlosti se oblast plastické deformace v zóně tvorby třísky zužuje a ke vzniku třísky dochází plastickým skluzem v jedné rovině, tzv. Rovině stříhu.

V podmínkách HSC obrábění znamená rostoucí řezná rychlost i vyšší množství práce, potřebné k řezání, která se přemění v teplo. Převážná část vzniklého tepla se odvádí třískou, její teplota se blíží tavicí teplotě obráběného materiálu. Při určité řezné rychlosti se náhle změní fyzikální a chemické vlastnosti třísky a transformace obráběného materiálu v třísku

probíhá v rovině stříhu za vysoké teploty, která způsobí její podstatné změknutí a střední součinitel tření  $f = \tan \varphi$  se výrazně zmenší.

Tím je značně eliminován vliv normálové složky řezné síly  $F_N$  na čele nástroje, poklesne celkový řezný odpor a tedy i třecí složka řezné síly  $F_t$ , důsledkem toho se zmenší intenzita opotřebení čela nástroje a úhel střížné roviny  $\Phi$  se zvětší při značně zmenšeném úhlu tření  $\varphi$ . [15]

#### **Stroje pro HSC obrábění:**

- frézovací stroje, otáčky vřetena 10 000 až 80 000 ot.min<sup>-1</sup>
- soustruhy, otáčka vřetena 5000 až 15 000 ot.min<sup>-1</sup>
- požadovaný výkon frézovacího i soustružnického vřetena 15 až 100kW
- rychlost pracovních posuvů 10 až 60 m.min<sup>-1</sup>
- rychlost pracovních posuvů 10 až 60 m.min<sup>-1</sup>

#### **Řezné materiály pro HSC:**

- polykrystalický kubický nitrid boru – kalené oceli a litiny
- slinuté karbidy - oceli
- keramické materiály - litiny
- mono – a polykrystalický diamant – neželezné kozy a nekovový materiál [15]

#### **Výhody HSC:**

- Dosažení vyšších posuvů → snížení strojních časů
- Nižší řezné síly
- Vzniká krátká segmentovaná tříska
- Minimalizace vzniku tepla
- Kvalitní povrch (drsnost)

#### **Nevýhody HSC:**

- Nedostatečné odzkoušení pro všechny materiály
- Vyšší náklady na zabezpečení pracoviště

## **2.10 Řezná síla při frézování [8], [15]**

Síly, vyskytující se v průběhu procesu obrábění jsou většinou síly, které vznikají na břitu při odebrání materiálu obrobku. Jsou různé možnosti, jak tyto síly rozložit do složek podle toho, má-li být určen příkon stroje, posuv, nebo síly pro upínání obrobku. Je možné říci, že se řezná síla skládá ze tří složek: tangenciální složka řezné síly ( $F_c$ ), normálová složka řezné síly ( $F_{cn}$ ) a axiální složka řezné síly ( $F_p$ ). Tangenciální složka řezné síly působí ve směru otáčení frézy a má velký vliv na příkon stroje. Normálová a axiální složka řezné síly ovlivňují posuvové a upínací síly.

Velikost a směr složky řezné síly se určují podle zatížení každého jednotlivého zubu, který je v záběru. Tyto dílčí síly působí během rotace frézy různými směry. Směr a velikost síly jsou ovlivňovány způsobem obrábění a zvláště hloubkou řezu při malém počtu zubů v záběru – což je typické pro rovinné frézování válcovou frézou – vyvolává řeznou sílu, jejíž směr působení je téměř shodný se směrem posuvu. Při větší hloubce řezu a v případě, že je v záběru více zubů současně – tak, jak tomu často bývá u rovinného frézování čelní frézou – se tangenciální složka řezné síly projeví jako síla, působící kolmo ke směru posuvu. Jak je vidět,

ovlivňují různé podmínky řezného procesu jak potřebný příkon stroje, tak rovněž upnutí obrobku. [8]

Při specifikaci řezných sil při frézování se vyjde ze silových poměrů na jednom břitu, který se nachází v poloze určené úhlem  $\varphi_i$ . Pro válcové frézování nástrojem s přímými zuby se celková řezná síla působící na břit  $F_i$  rozkládá na složky  $F_{ci}$  a  $F_{cNi}$ , respektive na složky  $F_{fi}$  a  $F_{fNi}$ .

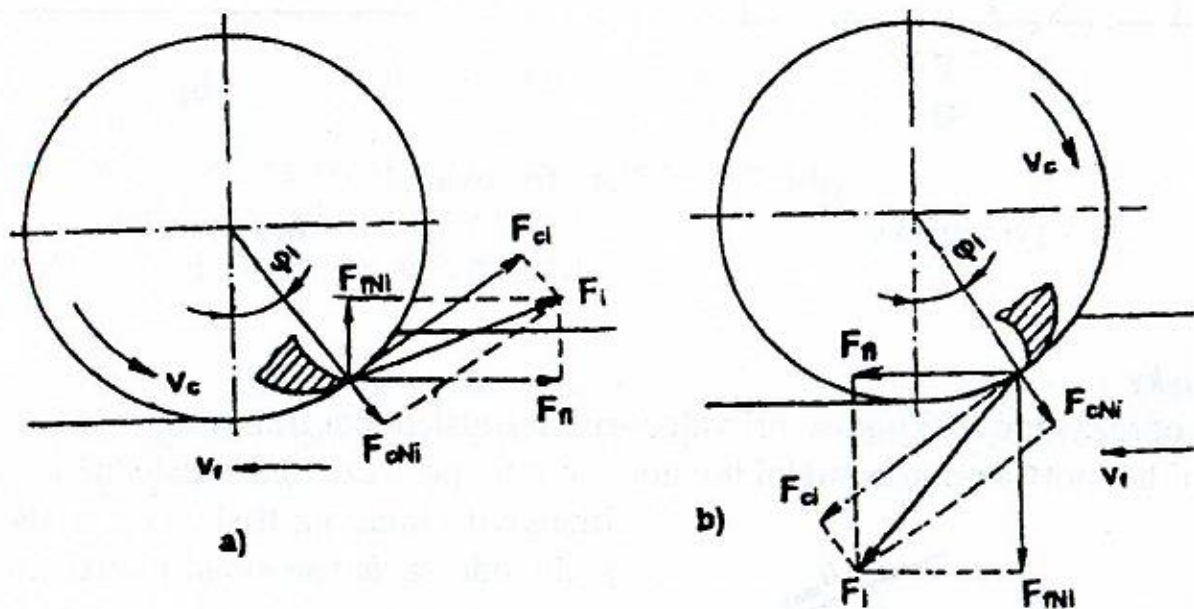
**Řezná síla  $F_{ci}$  se u válcového frézování vyjádří jako:**

$$F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^x \varphi_i$$

**Při čelním frézování se řezná síla vyjádří obdobným způsobem:**

$$F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin \kappa_r^{x-1} \cdot \sin^x \varphi_i$$

Při frézování je však v záběru několik zubů současně. Výsledné síly pak závisí na počtu zubů v záběru a na okamžité poloze zubů frézy vzhledem k obrobku. Z hlediska potřebného krouticího momentu a výkonu na vřetenu frézky je důležitá celková řezná síla  $F_c$ . [15]



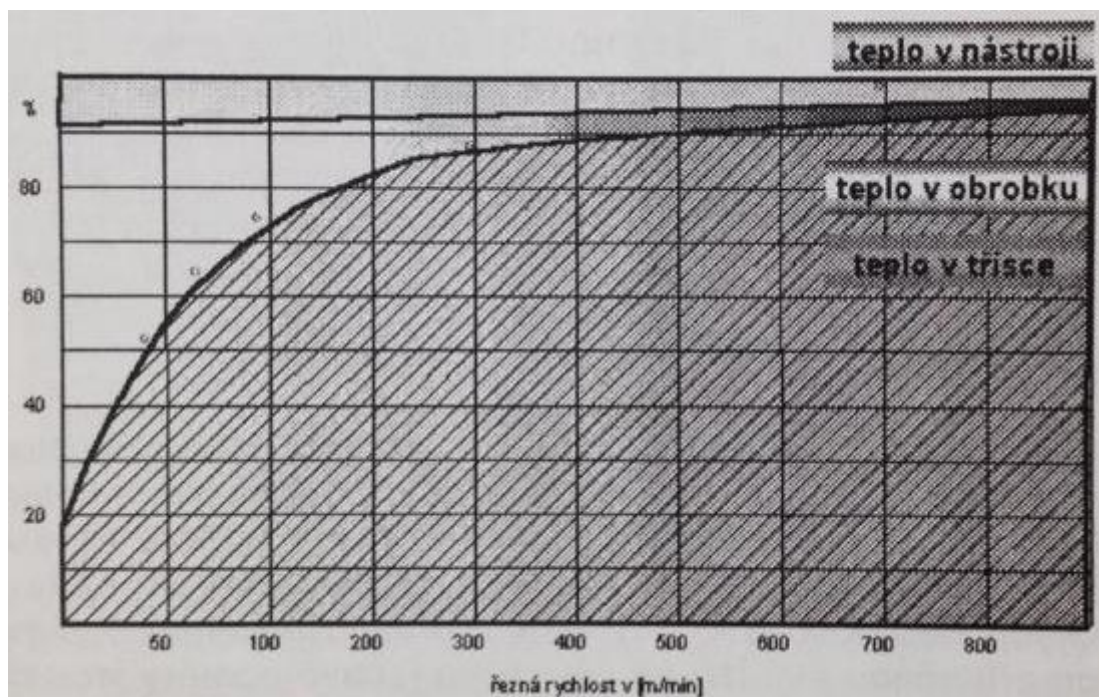
obr. č.22 [15]

## 2.11 Teplo při frézování [8]

Téměř veškerá mechanická energie řezných sil, která se vyskytuje při frézování se mění na teplo. Tato skutečnost zaměřuje naši pozornost na vznik tepla a na teploty v zóně řezání. Tyto body mají stejnou měrou dopad na výkon stroje a na kvalitu obrobku. [8]

Vysoké teploty mají za následek špatnou trvanlivost břitu a nedovolují tak obrábět vyššími řeznými rychlostmi. Většina tepla vzniká v oblastech čelní plochy, plochy hřbetu a v rovině stříhu. Při vzniku tepla hraje zásadní roli řezná rychlost. Množství vyvinutého tepla se mění v závislosti na obráběném materiálu (stejně jako řezné síly).

Největší část tepla, které vzniká při frézování je v nejlepší případě odváděna z tepelné zóny řezání třískou. Nástroj je zatěžován pouze po dobu, kdy je v kontaktu s třískou.



obr. č.23 [15]

### 3 Metodika konstrukce zadaného typu frézy

#### 3.1 Volba základních parametrů frézy

V kapitole metodika konstrukce frézy se budu věnovat konstrukci čelní válcové frézy se zaměřením na její parametrizaci. Již v počátku je důležité si uvědomit, jaké jsou primární parametry pro danou konstrukci frézy. Jsou to:

- průměr frézy
- počet zubů
- počet břitů ve šroubovici (maximální hloubka řezu)
- úhel sklonu ostří
- ortogonální úhel čela
- velikost VBD (3 typizace rozměrů čtvercové destičky)
- velikost SK kužele (SK40 a SK50)

Pro konstrukci je však důležitá celá další řada parametrů, které však nebudou moc k vidění a při samotné finální úpravě budou skryty v tabulkách a nebude možné z nich nijak vybírat, neboť budou svázané s jinými parametry

Při samotné konstrukci frézy tedy budu věnovat pozornost primárním parametrům, a v kapitole parametrizace bude zmínka o sekundárních parametrech.

Musíme tedy dopředu říci, že všechny parametry, které se budou v následujícím postupu parametrizovat, je dobré si přejmenovat pomocí funkce **Formula**. Je to dáno z důvodu přehlednosti modelu.

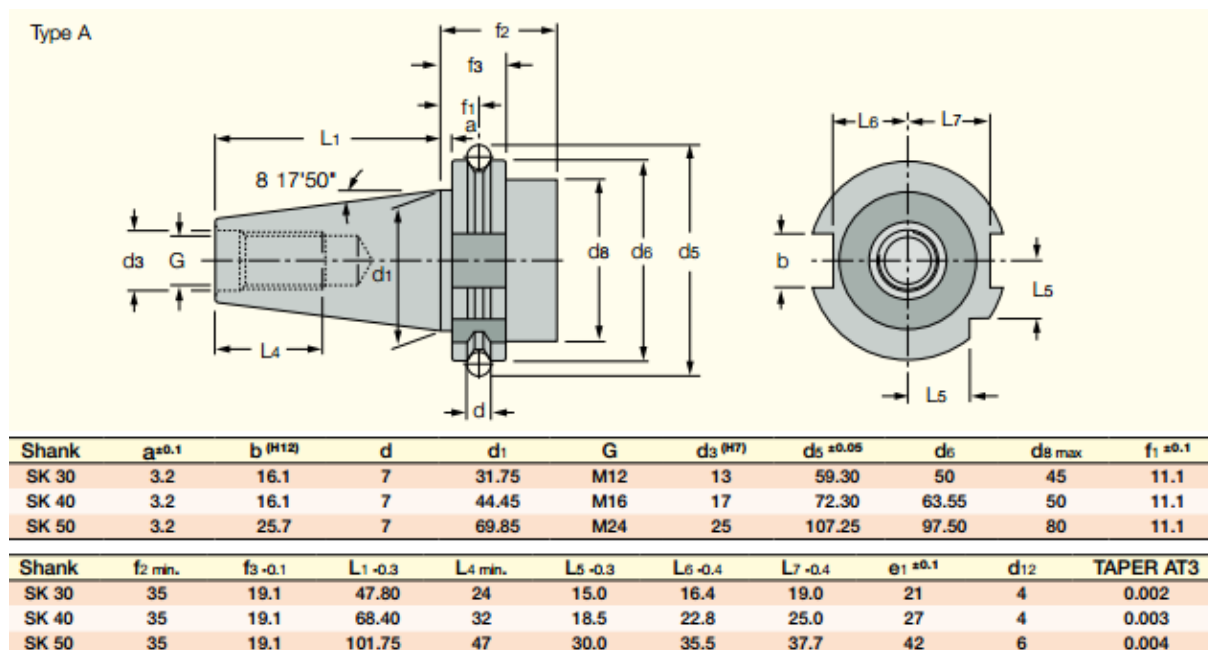
#### 3.2 Postup konstrukce frézy

- 1) konstrukce těla frézy s SK kuželem jako jeden polotovar
- 2) konstrukce VBD s daným lůžkem
- 3) konstrukce spojovacích dílů-šroubu se zápustnou hlavou
- 4) vytvoření sestavy - zavazbení prvků VBD a šroubu spolu s tělem frézy a obtisknutí lůžka s VBD do těla frézy

Při konstrukci je dobré se věnovat parametrizaci již od začátku, jelikož během ní může vzniknout řada chyb, které by se ve finální fázi velice špatně řešily, nebo by byly zcela neřešitelné. Další věc, na kterou si musíme dát pozor, je kótování průměrů. Program Catia umí zakótovat průměr, v následné parametrizaci však umí pracovat pouze s poloměrem, což nám trochu práci s modelem komplikuje. V neposlední řadě je třeba při kótování psát místo desetinné čárky tečku a při pojmenovávání různých parametrů a podobně se vyhýbat diakritickým znaménkům a mezery nahrazovat znaménkem „\_“.

### 3.3 Konstrukce těla frézy

Tělo frézy se sestává z SK kužele, typického pro upnutí do vřetene frézky. Pro model jsou vybrány kužele SK40 a SK 50 od firmy ISCAR DIN69871.



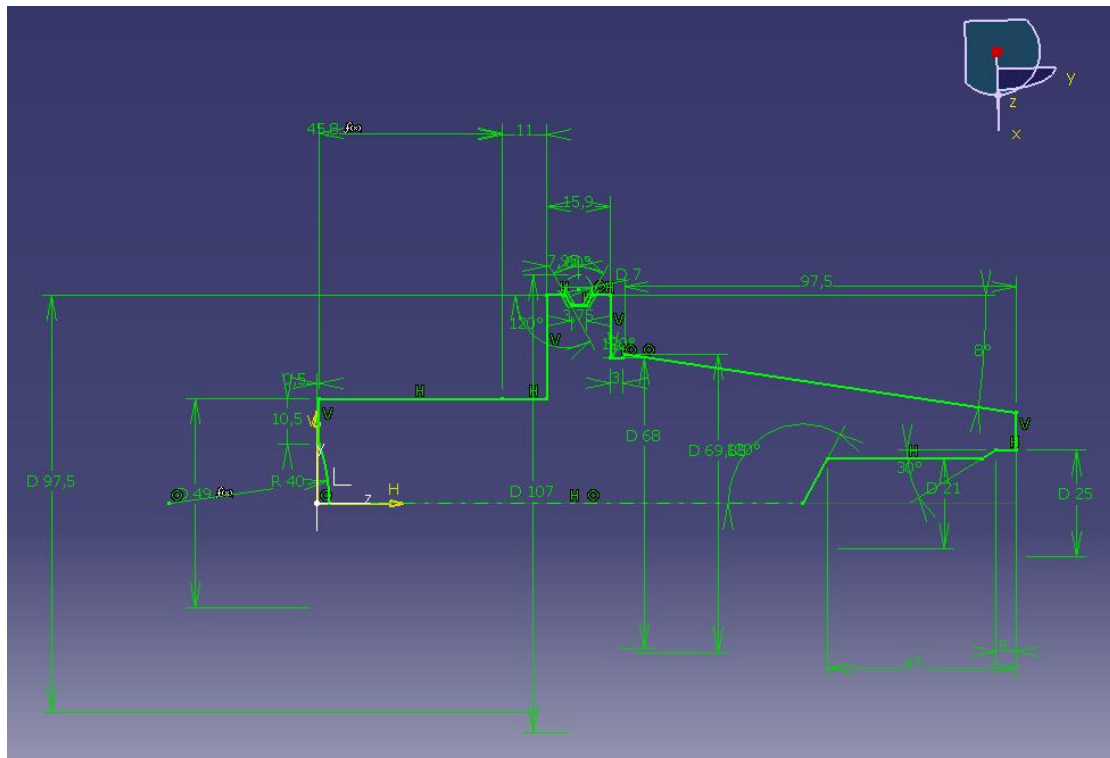
obr. č.24 [16]

Tělo frézy vymodelujeme v modulu *Part Design*. Do tohoto modulu se dostaneme kliknutím na *Start-Mechanical Design- Part Design*. Výběrem roviny XY a poté kliknutím na Sketch se dostaneme do funkce skicování. Zde pomocí funkcí jako **Line** , **Circle** a podobně nakreslíme jednu polovinu celého těla frézy i s SK kuželem. Po zakótování skici pomocí funkce **Constraint** , - což jsou klasické rozměrové kóty a funkce **Constraint Defined in Dialog Box** - určují nám souosost, rovnoběžnost, shodnost a podobně, můžeme kliknout na funkci **Exit Workbench** , čímž se dostaneme do tvorby 3D modelu. V tomto případě vybereme funkci **Shaft** , kterou orotujeme danou skicu kolem osy rotace o 360°. Dalšími kroky může být vytvoření rádiusů a zkosení funkcemi **Edge Fillet** a **Chamfer** , a to v případě, kdy nám tyto prvky neobsahuje již orotovaná skica.

Pro uchycení upínače do stroje je třeba vytvořit na SK kuželu vybrání. Vybereme tedy čelní pohledovou stranu kužele, ve které vytvoříme skicu, kterou poté funkcí **Pocket** odřízneme od těla frézy a vytvoříme tak vybrání pro uchycení do vřetene stroje.

Při tvorbě samotného těla frézy bude posledním krokem vytvoření závitu pro SK kužel funkcí **Thread/Tap** . Všimněme si na obrázku č.25 dvou kót, které jsou pro nás důležité, neboť jedna představuje primární parametr-hloubku řezu a v modelu bude svázána s počtem břitů ve šroubovici a druhá průměr těla frézy - která bude svázána s efektivním průměrem frézy.

Nyní jsme získali kompletní model hrubého polotovaru těla frézy, ze kterého budeme později v sestavě odřezávat daná lůžka. Součást si uložíme do adresáře.



obr. č.25 [Catia]

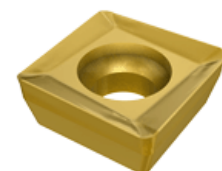
### 3.4 Konstrukce VBD a lůžka

Tvorba tohoto *Partu* bude o něco složitější, než jak tomu bylo u těla frézy. Zde se bude přímo vyskytovat hned několik primárních parametrů, a to: **průměr frézy, úhel sklonu ostří a ortogonální úhel čela.**

Destička je od firmy ISCAR typu SPMT 1004..-M. Pro parametrizaci jsou použity rozměry dle tabulky. VBD je vymodelována bez utvařeče třísky.



Šířka VBD	Výška VBD	Rádus špičky	Závit
6,16mm	2,56mm	0,4mm	M2,5x0,45
10,2mm	4,23mm	0,7mm	M4x0,7
12,7mm	5,1mm	1mm	M5x0,8

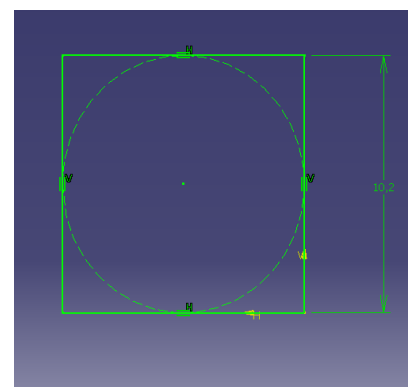
tabulka. č.1 [-]



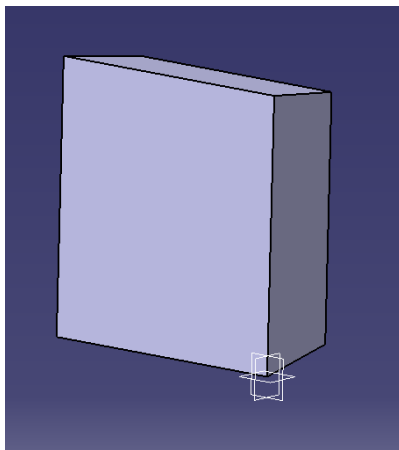
obr. č.26 [16]

Základními rozměry čtvercové VBD je její šířka, která je nadefinovaná poloměrem vepsané kružnice, délka pak její výška, úhel zkosení destičky a rádus špičky. Toto vše jsou parametry, které se objeví v parametrizaci, ale k tomu později.



Pro tvorbu destičky s lůžkem opět zvolíme modul *Part Desing*. Vybráním jedné z rovin souřadného systému a funkce **Sketch**  se opět dostaneme do modulu skicování. Nakreslíme čtverec s vepsanou kružnicí, kterou určíme jako **Construction/Standard Element** . Zakótujeme průměr vepsané kružnice a můžeme ukončit skicář. Nyní pomocí






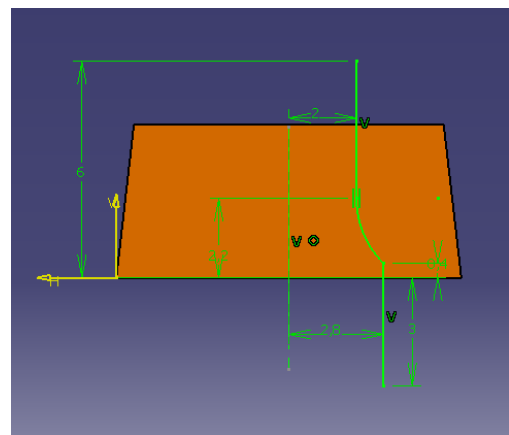
obr. č.27 [Catia]



obr. č.28 [Catia]

Funkce **Pad**  vysuneme destičky na její danou výšku. Dalším krokem je zkosení čela destičky pomocí funkce **Draft Angle** , kde musíme vybrat plochy, které chceme zkosit a jeden neutrální element, ke kterému se bude dané zkosení vztahovat. Nyní máme vymodelovaný základní polotovár destičky. Z tohoto polotovaru vyjdeme pro domodelování VBD a lůžka. Zkopírujeme proto *PartBody* a vložíme jej do *Desticka* ve stromové struktuře. V nabídce vložení zaškrtneme *As Result With Link*. Nový Part si můžeme přejmenovat na *VBD* a původní na *POLOTOVAR*. Klikneme pravým tlačítkem na *VBD* a vybereme *Define in Work Object*, čímž se dostaneme do modelování právě dané VBD.

Máme tedy polotovár, u kterého zbývá domodelovat poloměr špičky destičky a vytvořit díru pro šroub. Poloměr špičky vytvoříme pomocí funkce **Edge Fillet** . Pro díru pro šroub musíme vytvořit novou rovinu, a to ve středu polotovaru. Rovina se vkládá pomocí funkce **Plane** . V této rovině si otevřeme skicář a můžeme nakreslit skicu pro díru. Ukončením skicáře a použitím funkce **Groove**  vymodelujeme díru pro šroub. Posledním krokem u VBD je možná změna barvy, vybereme tedy typickou barvu pro nejpoužívanější VBD ze slinutého karbidu s povlakem - oranžovou.



obr. č.29 [Catia]

Následuje tvorba lůžka pro VBD. Při tvorbě tvaru lůžka jsem se nechal inspirovat frézou z firmy GTW BARINGS, kde se čelní válcovou frézou s VBD obrábí ložiskové segmenty a kde jsem mimo jiné vykonával odbornou praxi. Je třeba podotknout, že tvorba lůžka je na modelu čelní válcové frézy to nejdůležitější a každý výrobce, který se touto problematikou zabývá, klade největší důraz právě na provedení lůžka. Není výjimkou, že se mnohdy provedení lůžka liší v mnoha ohledech.

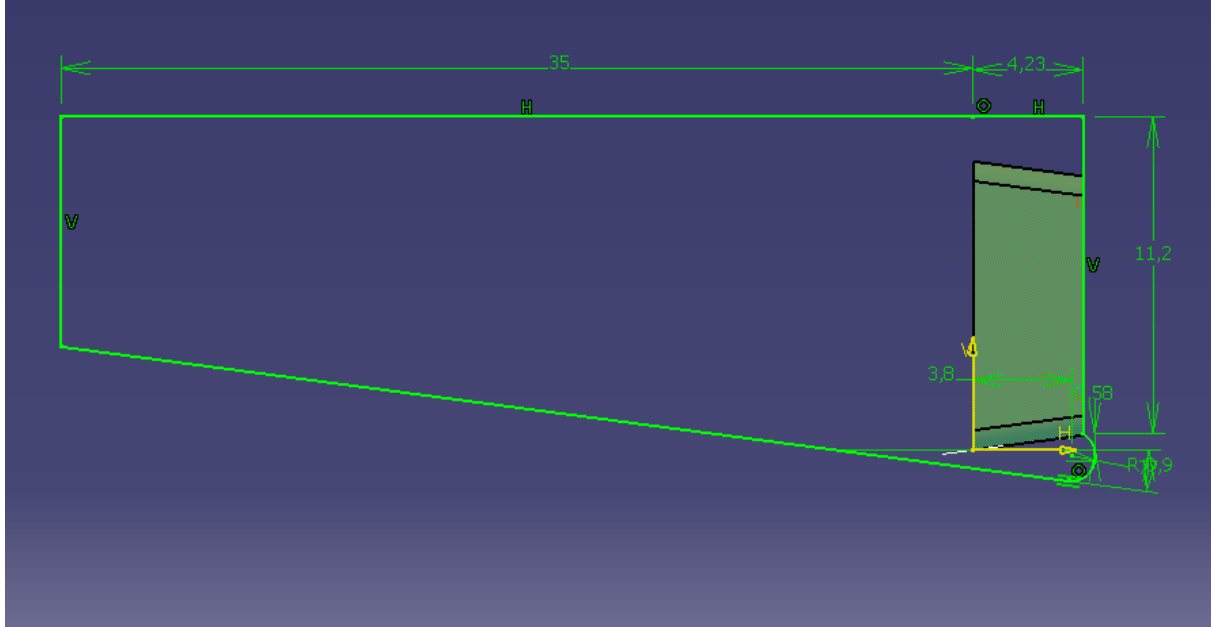


obr. č.30 [20]

Prvním krokem je opět zkopírování polotovaru pro VBD. *POLOTOVAR* zkopírujeme a vložíme do *PartBody-DESTICKA* se zaškrtnutím *As Result With Link* a přejmenujeme

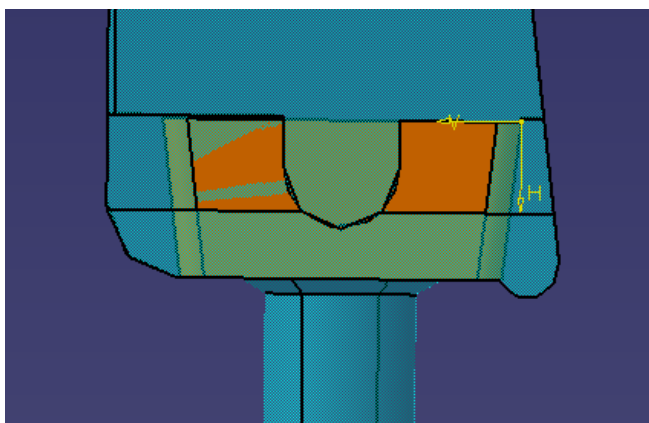


na LUZKO. Pro základní stavební prvek lůžka vybereme rovinu, kterou jsme použili pro zhotovení díry pro šroub. V této rovině vytvoříme skicu a nakreslíme základní tvar lůžka-viz obr.31. Skicu okótujeme. Nesmíme však zapomenout, že veškeré kóty jsou důležité pro parametrizaci, proto je přejmenujeme, abychom je později mohli lépe najít.



obr. č.31 [Catia]

Ukončíme skicář a zvolíme funkci **Pad**. V tabulce **Pad** si rozklikneme možnosti pomocí tlačítka More. Nyní můžeme vysunout skicu dvěma směry. První směr zvolíme možnost **Type** jako *Up To Plane* a druhý směr vysunutí zvolíme *Dimension*. Pro první vysunutí zvolíme hranu zkosení destičky, u druhého zadání rozměr. Nyní musíme znovu vybrat funkci **Pad** a znovu vysuneme danou skicu, tentokrát pomocí *Dimension*, a to o rozměr, který nám vytvoří profil zhruba do půlky zkosení destičky. Opět je to rozměr, který bude použit při parametrizaci, přejmenujeme si ho tedy. Dalším prvkem lůžka jsou plochy, o které se destička opírá. Zvolíme plochu, která nám vznikla pomocí předešlého vysunutí *Up To Plane* a na této ploše vytvoříme skicu dle obr.32. Vysunutí skici proběhne standardně, se zadáním 2mm rozměrem typu *Dimension*.






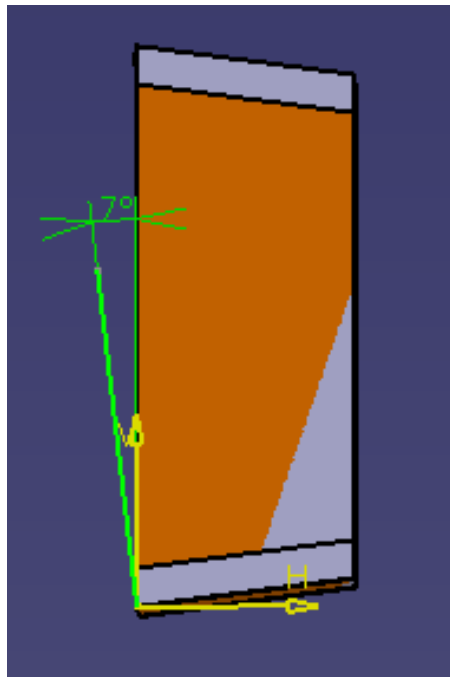
obr. č.32 [Catia]

následnou parametrizaci. Na orotované části pod destičkou zbývá ještě dodělat závit pomocí funkce **Thread/Tap**. Teď už jen zbývá doladit lůžko pomocí zkosení a rádiusů.

Pro vytvoření závitové díry pro šroub a případné vybrání pro TORX šroubovák využijeme opět rovinu jako v předešlém případě. Skicu provedeme dle obr.33. Musíme si však dát pozor na jednu věc, a tou je odsazení osy díry pro šroub od středu destičky. Je to z důvodu funkčnosti upnutí VBD do lůžka frézy. Toto odsazení nám zaručí, že se VBD pevně přitiskne na dvě dosedací plochy a bude tak zajištěna proti pootočení a následnému vzniku nepřesností při frézování. Opět je zde mnoho kót pro

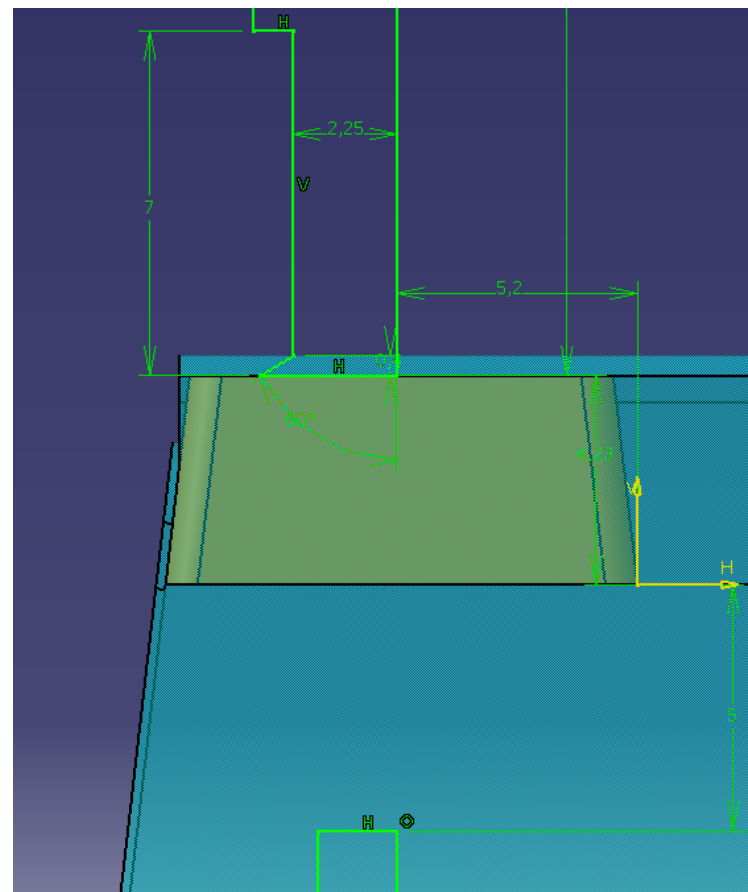
V Partu VBD s lůžkem jsou obsaženy čtyři základní prvky. Jsou to: **úhel sklonu ostří**, **ortogonální úhel čela**, **úhel stoupání** a **efektivní průměr frézy**. Tyto prvky můžeme vytvořit např. v POLOTOVARU. Přepneme se proto do editace pomocí pravého tlačítka a vybráním možnosti *Define In Work Object*. Začneme úhlem sklonu ostří a ortogonálním úhlem čela. Pro určení úhlu sklonu ostří zvolíme rovinu YZ a v této rovině nakreslíme čáru od počátku pod daným úhlem dle obr.34, zakótujeme od hrany VBD, nezapomeneme si úhel přejmenovat pomocí funkce

**Formula**  a ukončíme skicář. Pro určení úhlu čela musíme vytvořit novou rovinu pomocí funkce **Plane** , kde v položce *Plane type* vybereme možnost *Normal to curve* a rovinu vložíme na počátek souřadného systému. Teď si můžeme otevřít skicář v této nové rovině, kde nakreslíme čáru od špičky VBD a opět zakótujeme ke hraně VBD. Vzniklý úhel nám definuje ortogonální úhel čela. Jelikož jsme ještě neukončili skicář, můžeme zakreslit kružnici dle obrázku č.35. Tato kružnice nám definuje průměr frézy. Nyní můžeme ukončit skicář pomocí funkce **Exit Workbench** .




obr. č.34 [Catia]

Následuje krok, kdy vložíme do středu kružnice nový souřadný systém, který nám pomůže při vytváření sestavy se zavazbením. V hlavní nabídce tedy klikneme na *Insert-Axis System* a vložíme jej do středu kružnice, která nám definuje daný průměr frézy. Jako osu z zvolíme právě danou kružnici, nebo Planu, ve které je nakreslena.

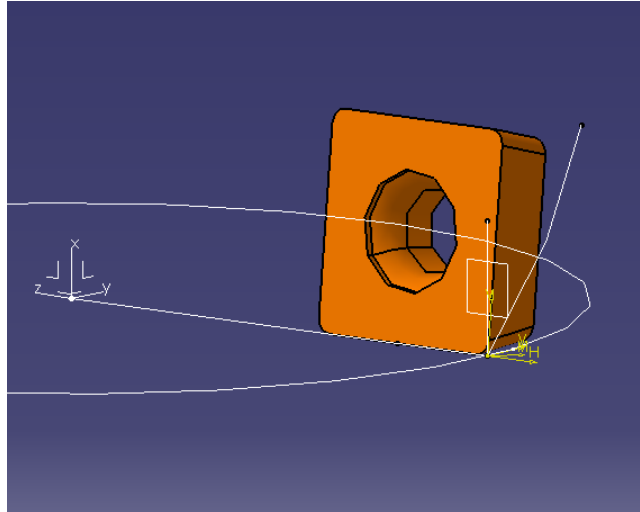


obr. č.33 [Catia]

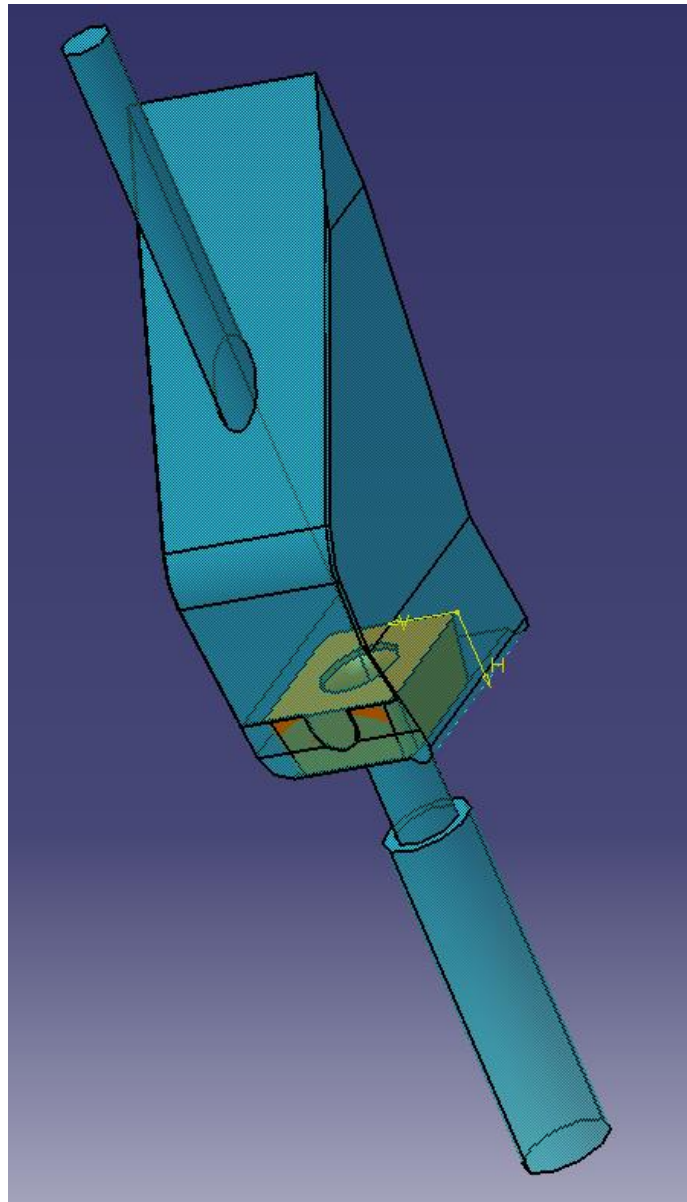
Posledním prvkem je úhel sklonu šroubovice. Konstrukce je provedena tak, že každá VBD ve šroubovici má svůj daný kousek šroubovice a ve finále tvoří všechny VBD ve šroubovici jednu jedinou jako součet a navazují na sebe. Pro vytvoření šroubovice se musíme přepnout do nového modulu. Klikneme na nabídku *Start-Shape-Generative Shape Design*. Zde vybereme funkci **Helix** , u které vybereme jako s bod špičku destičky (bez rádiusů) a jako Axis svislou osu souřadného systému, který jsme vložili do Partu v předešlém kroku. Šroubovice je definována výškou jednoho stoupání a průměrem dané kružnice. Pro nás jsou stěženy údaje

průměr frézy, výška šroubovice a výška jednoho stoupání. Parametry výška šroubovice a výška jednoho stoupání jsou pro nás klíčové u parametrizace a proto si je přejmenujeme.

Nyní máme hotovou VBD s obálkou. S těmito prvky budeme později pracovat při vytvoření sestavy.



obr. č.35 [Catia]

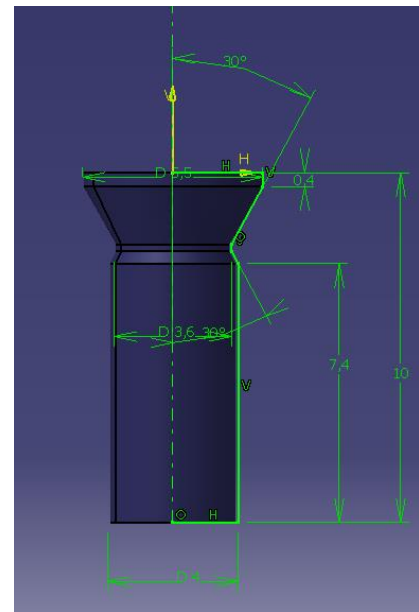


obr. č.36 [Catia]

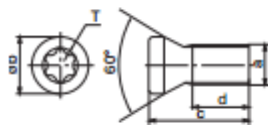
### 3.5 Konstrukce spojovacích dílů

Pod pojmem konstrukce spojovacích dílů rozumíme konstrukce šroubu s hlavou pro TORX šroubovák, kterým připevníme danou VBD do těla frézy. Jedná se o šrouby firmy Tungaloy, neboť firma Iscar neposkytuje rozměrové řady spojovacích prvků. Jedná se o šroub Tungaloy CSPB dle tabulky.

Samotná tvorba šroubu spočívá v otevření nového partu, vybráním roviny a v ní nakreslená skica-obr.37 pro orotování o 360°. Po získání surového šroubu zbývá dodělat vybrání na hlavičce pro Torx šroubovák pomocí funkce **Pad** a závit na válcové ploše šroubu pomocí funkce **Thread/Tap**



obr. č.37 [Catia]





CSPB-2.5	●	M2.5x0.45	3.5	6	3.5	8IP	1.3
CSPB-2.5S	●			4.2	1.7		
CSPB-2.5SH	●			3.3	5.2		
CSPB-3.5	●	M3.5x0.6	5.2	9	5.6	15IP	3.5
CSPB-3.5S	●			6.5	3.1		
CSPB-4	●	M4x0.7	5.5	11.6	7.4	20IP	5.0
CSPB-4S	●			8.2	4		
CSPB-5	●	M5x0.8	7	12	7.5	20IP	5.0

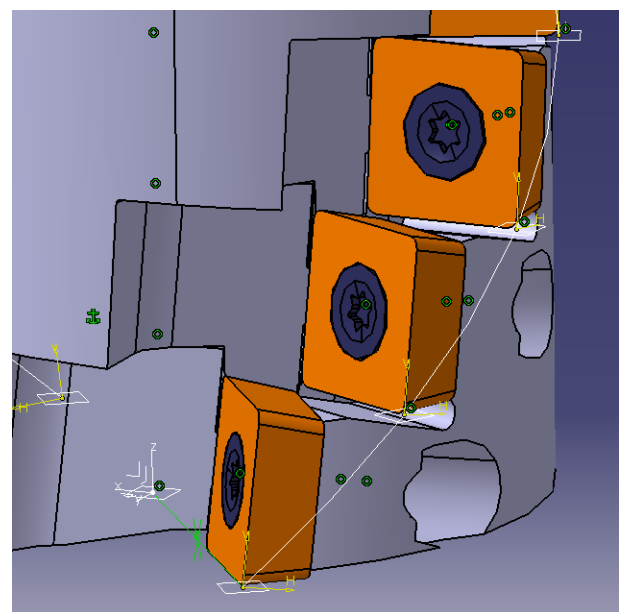
obr. č.38 [-]

### 3.6 Vytvoření sestavy

Jelikož máme již všechny potřebné komponenty vymodelované pomocí modulu *Part Design*, můžeme přistoupit k vytvoření sestavy frézy. Klikneme na *Start-Mechanical Design-Assembly Design* a otevře se nám nové okno pro sestavu. Jako první *Part* vložíme tělo frézy. Výběrem funkce **Existing Component**



Následujícím výběrem sestavy ve stromové struktuře se nám otevře adresář s vymodelovanými prvky. Vybereme tělo frézy a otevřeme jej v sestavě. Jako první vazbu zde použijeme **Fix Component** , která nám zaručí nehybnost tohoto *Partu*. Nyní můžeme vložit do sestavy první VBD s lůžkem. Opět pomocí funkce **Existing Component**. VBD zavazbíme pomocí funkce **Coidence Constraint**  a to tak, že jako shodnost



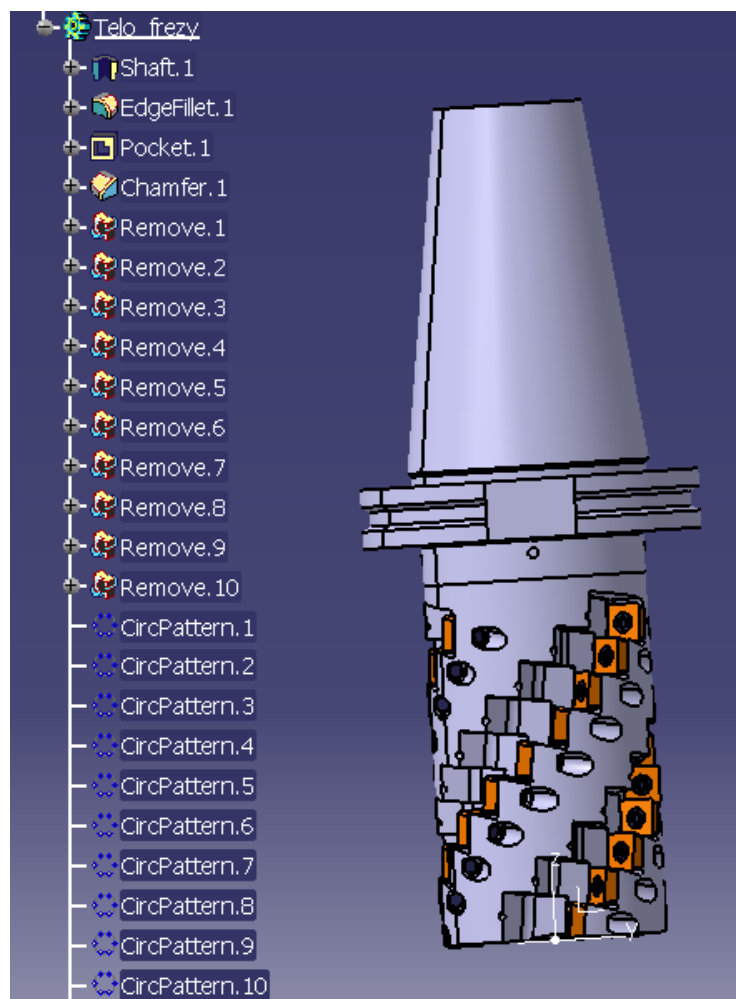
obr. č.39 [Catia]

označíme osu těla frézy a osu u souřadného systému, který jsme vložili do středu kružnice určující průměr frézy. Druhou vazbou bude **Offset Constraint**, kde jako prvky vybereme rovinu, ve které je nakreslena kružnice pro průměr frézy a u těla frézy vybereme rovinu na čele. Jelikož jsme nekreslili čelo frézy zároveň s touto rovinou, je zde malá odchylka, VBD by nám měla mírně vyčnívat z těla frézy, což je správně. Druhou VBD vložíme do sestavy opět stejným způsobem. Rozdíl bude ve způsobu vazbení. Shodnost os bude stejná jako u první destičky, nyní ale musíme pomocí funkce **Coecidence Constraint** vybrat konec šroubovice u první VBD a začátek šroubovice u druhé VBD. Tímto způsobem vložíme do sestavy dalších 8 VBD, čímž dostaneme jednu šroubovici celkově s deseti VBD. Před dalším postupem je třeba všechny *PartBody* od VBD zkopírovat do těla frézy, aby s ním byly napevno spojeny. Po zkopírování je třeba se přepnout do *PartBody* těla frézy, abychom mohli použít funkci **Remove**. Zde potřebujeme vyříznout pomocí této funkce *LUZKO* od těla frézy. Tuto funkci použijeme opět na všech deset VBD.

Následuje vložení šroubů. Pomocí funkce **Existing Component** vložíme do sestavy deset šroubů, každý pro jednu VBD. Zavazbení šroubu provedeme pomocí dvou funkcí **Coecidence Constraint**. Jednu použijeme na osu šroubu a osu díry pro šroub- POZOR: osa díry pro šroub není totožná s osou díry VBD!! U druhé vazby šroubu využijeme shodnost hlavy šroubu s horní plochou VBD.

Máme tedy Frézu s jednou šroubovicí/jedním zubem frézy s 10 břity/VBD. Abychom dosáhli dvou zubů a více, což je typické pro čelní válcovou frézu, uplatníme funkci **Circular Pattern**. Tuto funkci najdeme stejně jako funkci **Helix** v modulu *Shape-Generative Shape Desingn*. V kolonce *Parameters* vybereme *Complete Crown*, jako osu rotace vybereme osu těla frézy a v kolonce instance zadáme počet zubů-což je parametr určený pro parametrizaci, proto ho přejmenujeme. Funkci **Circular Pattern** použijeme opět pro všechny VBD a šrouby. Nemusíme však volit pokaždé tuto funkci, můžeme použít funkci **Reuse Pattern** a vybráním prvního vzorového **Patternu** použijeme stejné hodnoty pro tuto funkci.

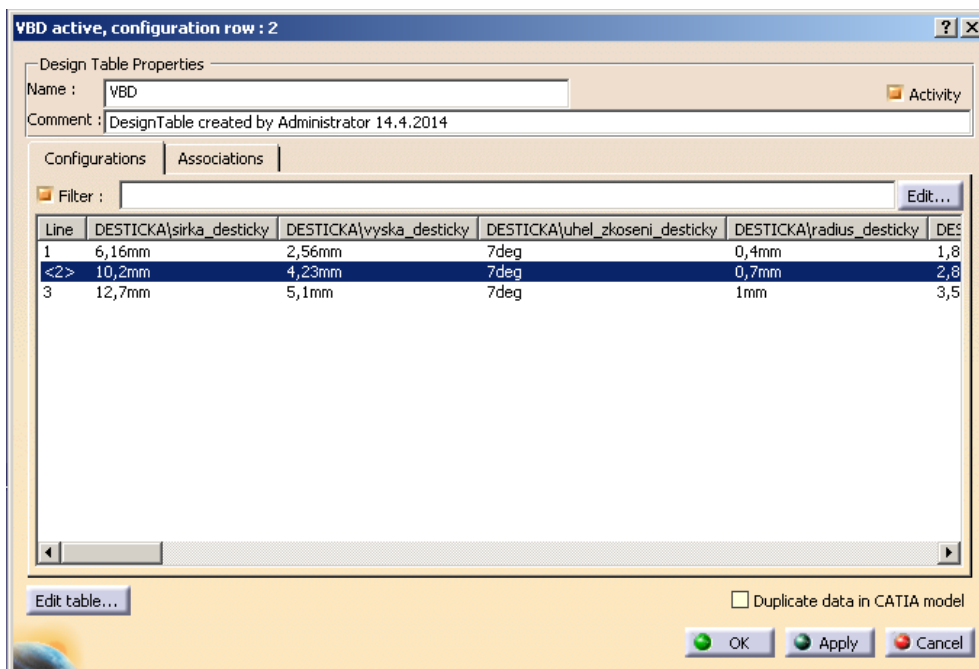
Nyní máme hotovou sestavu, která se sestává z těla frézy a deseti VBD připevněných šrouby v jedné šroubovici. Samozřejmě toto není náš hotový model čelní válcové frézy, a proto bude následovat kapitola parametrizace modelu.



obr. č.40 [Catia]

### 3.7 Parametrizace modelu

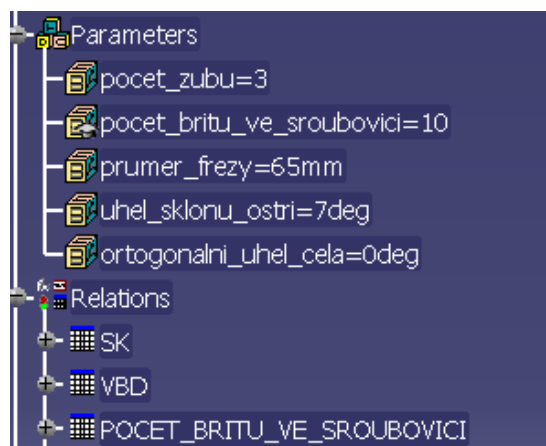
Parametrizace modelu se provádí kvůli zvýšení produktivity konstruktéra dané frézy. Představme si, že do firmy přijde zákazník a jeho požadavek bude čelní válcová fréza o průměru 50mm, hloubka řezu 60mm a počet zubů tři. Konstruktér má však vypracovanou pouze frézu o průměru 40mm, hloubku řezu 45mm a počet zubů čtyři. V tomto případě by musel celý model buď vypracovat od začátku, nebo se pečlivě věnovat jeho úpravě. Parametrizací modelu tuto práci vyloučíme, a pouhými změnami parametrů, ať už ve stromové struktuře, nebo vybráním dané varianty v tabulce se nám celý model během chvíle naprosto změní k našim požadavkům na něj.





obr. č.41 [Catia]

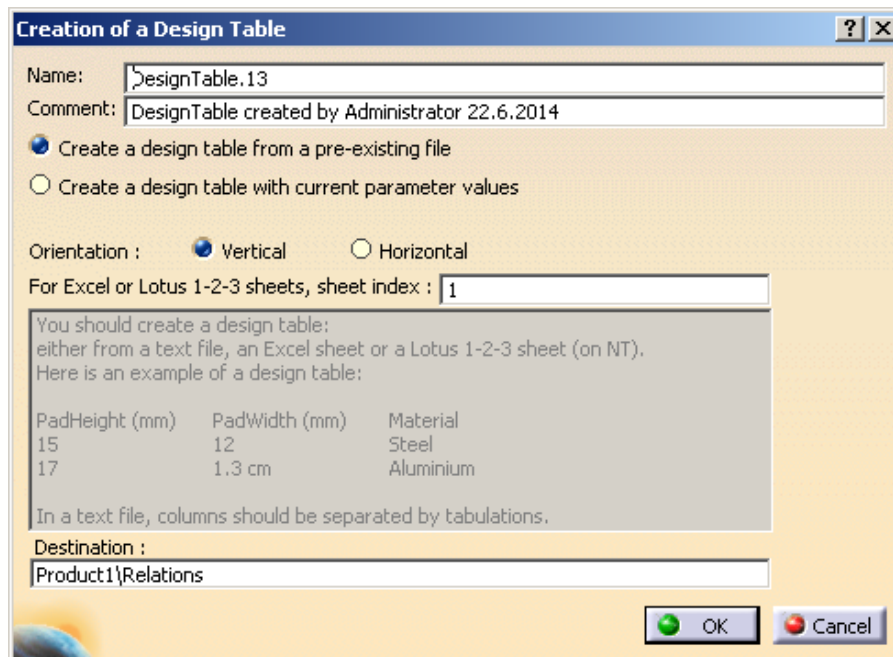
Parametrizace tedy může probíhat dvěma způsoby. Prvním způsobem je vytažení daného parametru do stromové struktury. Tento parametr se nám zobrazuje pod záložkou **Parameters**. Těmto parametrům je dále umožněno přiřazovat různé vzorce, které poslouží k jejich klíčové definici. Tyto vzorce se zobrazují v záložce **Relations**, taktéž ve stromové struktuře. Po změně parametru stačí model aktualizovat pomocí funkce **Update All**. Druhým způsobem je obsazení potřebných parametrů v tabulce formátu *.xls*, tedy programu Microsoft Excel. Tato tabulka se generuje pomocí funkce **Design Table**. Tabulka může být řešena horizontálně, nebo vertikálně, záleží na uživateli, co mu vyhovuje více. Vybráním dané varianty, ke které přísluší celá řada parametrů spolu svázaných, se opět model parametrizuje. Po použití funkce **Update All** se model dle dané varianty přepracuje během chvíle.

Jak již bylo řečeno dříve, parametrizaci je dobré provádět již od počátku konstrukce, neboť zpětná parametrizace by u takto složitého modelu byla takřka nemožná, docházelo by k mnoha chybám jako překrytí profilu a podobně.



obr. č.42 [Catia]

Jako první si ukážeme parametrizaci pomocí *.xls* tabulky. Tato parametrizace je v modelu aplikována na VBD spolu s lůžkem a šroubem. To znamená, že veškeré parametry, které se odvíjí od rozměru VBD- tedy velikost lůžka, velikost šroubu a podobně. Je třeba si všechny tyto parametry přejmenovat pomocí funkce **Formula** , abychom potom při tvorbě tabulky nehledali mezi velkým množstvím parametrů, které pro nás nemají žádnou hodnotu, nicméně jsou zde obsaženy. Máme přejmenované parametry a zvolíme funkci **Design Table** . Zde máme na výběr mezi tabulkou horizontálně nebo vertikálně řešenou. Vybereme horizontálně řešenou (z důvodu mnoha parametrů u VBD s lůžkem a šroubem) a vybereme OK. Zobrazí se nám okno, kde si tabulku pojmenujeme a uložíme do adresáře.



obr. č.43 [Catia]

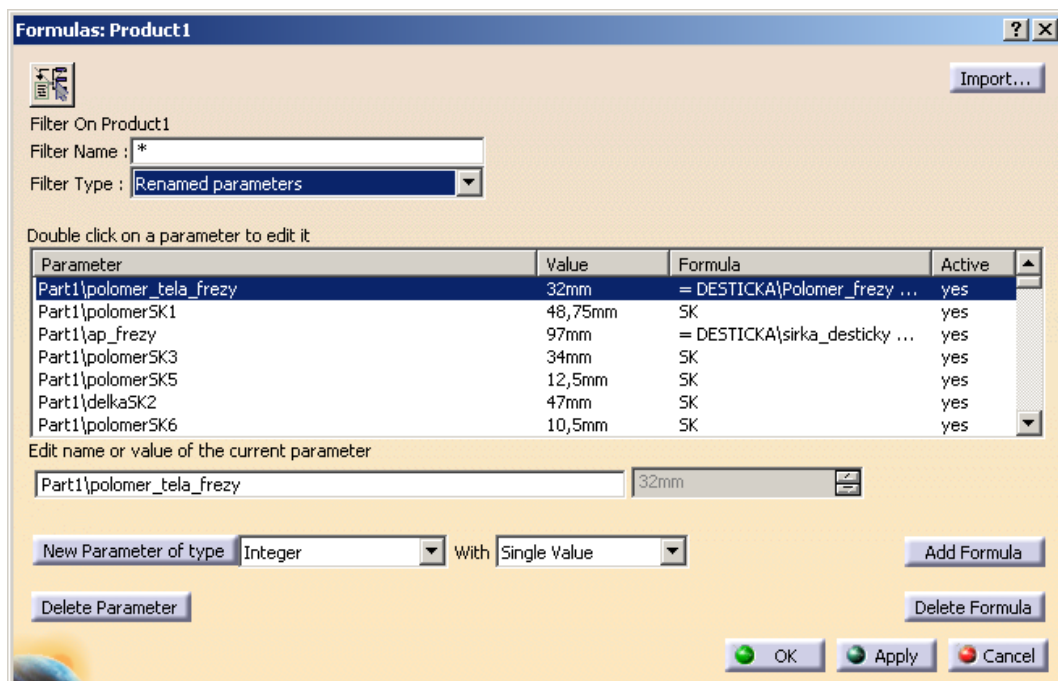
Po uložení se nám zobrazí okno, kde si můžeme vyfiltrovat parametry, které jsme přejmenovali - *Renamed Parameters* a všechny potřebné parametry od základních rozměrů VBD, rozměrů lůžka a rozměrů šroubu vložíme do pravého výběru parametrů. Poté okno potvrdíme a máme hotovou tabulku pro jednu variantu, v našem případě modifikaci, kde jsou obsaženy rozměry, které jsme použili pro základní model. V tabulce klikneme na pole Edit Table a zobrazí se nám *.xls* soubor, do kterého musíme doplnit další dva sloupce rozměrů pro další dvě velikosti VBD. Uložení *.xls* souboru a jeho následným uzavřením se nám v Catii aktualizují další dvě modifikace pro parametrizaci VBD. Tabulka se nám zobrazuje ve stromové struktuře pod záložkou **Relations**. Nyní stačí vybrat příslušný řádek a poté se pomocí funkce **Update All** model přeskládá.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	DESTICKA\sirka_desticky (mm)	6,16	10,2	12,7				
2	DESTICKA\vyska_desticky (mm)	2,56	4,23	5,1				
3	DESTICKA\uhel_zkoseni_desticky (deg)	7	7	7				
4	DESTICKA\radius_desticky (mm)	0,4	0,7	1				
5	DESTICKA\dira_hore (mm)	1,8	2,8	3,55				
6	DESTICKA\dira_dole (mm)	1,25	2	2,5				
7	DESTICKA\horni_kus (mm)	0,3	0,4	0,5				
8	DESTICKA\dolni_kus (mm)	1,3	2,2	2,8				
9	DESTICKA\obalka1_vyska_desticky_ (mm)	2,56	4,23	5,1				
10	DESTICKA\obalka2_delka_obalky (mm)	7,5	11,2	13,5				
11	DESTICKA\obalka3 (mm)	0,38	0,58	0,69				
12	DESTICKA\obalka4_radius (mm)	0,6	0,9	1,2				
13	DESTICKA\obalka5 (mm)	2,2	3,8	4,7				
14	DESTICKA\vysunuti_pad4 (mm)	6	9,9	12,4				
15	DESTICKA\vyska_sroubovice (mm)	5,32	8,8	10,8				
16	DESTICKA\obalka_vybezek1 (mm)	0,7	1,35	1,4				
17	DESTICKA\obalka_vybezek2 (mm)	0,9	1,65	1,8				
18	DESTICKA\obalka_vybezek3 (mm)	3,08	5,1	6,35				
19	DESTICKA\dira_sroub_1 (mm)	2,56	4,23	5,1				
20	DESTICKA\dira_sroub_2 (mm)	0,4	0,4	0,4				
21	DESTICKA\dira_sroub_3 (mm)	3,15	5,2	6,4				
22	DESTICKA\dira_sroub_4 (mm)	6	7	8				
23	DESTICKA\dira_sroub_5 (mm)	2,5	3,1	3,5				
24	DESTICKA\dira_sroub_6_prumer (mm)	1,25	2,25	2,5				
25	DESTICKA\dira_sroub_delka (mm)	30	30	30				
26	Sroub\Sroub_hore (mm)	1,75	2,75	3,5				
27	Sroub\Sroub_dole (mm)	1,25	2	2,5				
28	Sroub\Sroub_stred (mm)	1,1	1,8	2				
29	Sroub\Sroub_vyska_hlavy (mm)	0,3	0,4	0,5				
30	Sroub\Sroub_delka_zavitu (mm)	3,3	7,4	7,5				
31	Sroub\Sroub_delka_celkova (mm)	5,2	10	12				
32	Sroub\TORX_1 (mm)	7	8	8				
33	Sroub\TORX_2 (mm)	0,2	0,3	0,4				
34	Sroub\TORX_3 (mm)	0,3	0,5	0,5				
35	Sroub\zavit_1_prumer_zavitu (mm)	2,5	4	5				
36	Sroub\zavit_2_delka_zavitu (mm)	3,3	7,4	7,5				
37	Sroub\zavit_3_stoupani (mm)	0,45	0,7	0,8				
38	DESTICKA\zavit1 (mm)	3,85	4,95	5,5				
39	DESTICKA\zavit2 (mm)	3,3	6,5	7,5				
40	DESTICKA\zavit3_stoupani (mm)	0,45	0,7	0,8				
41	Part1\radius_vybrani_celo (mm)	40	40	40				
42	Part1\vybrani_na_cele_frezy (mm)	5	8,5	10,5				



obr. č.44 [Catia]



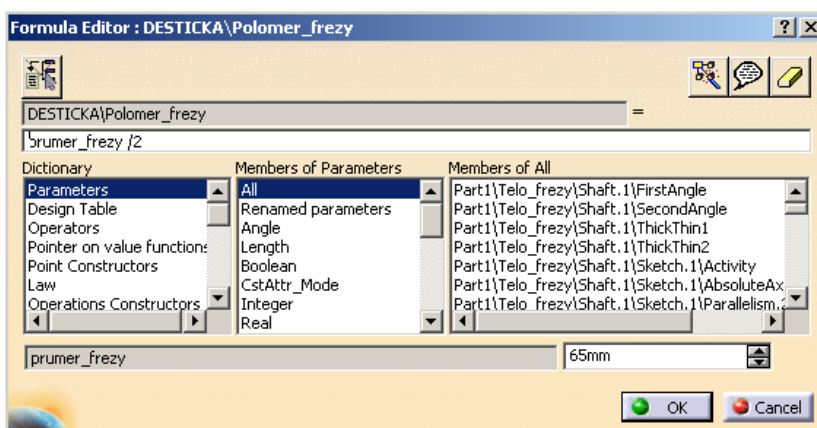
Pro parametrizaci počtu břitů ve šroubovici je užito stejného způsobu, tedy tabulky. Je to z toho důvodu, že program Catia V5 neumí vytvářet patterny ve 3 osách zároveň, ale jen ve dvou. Musíme tedy vytvořit tabulku, kde budou obsaženy všechny parametry, které určují existenci prvků, které nebudou obsaženy v modelu. Jednoduše je prostě zakážeme pomocí *true/false* a nebudou se nám v modelu zobrazovat. Týká se to prvků jako VBD (spolu s lůžkem), šroubu, dále pak funkce **Circular Pattern** a **Remove**. Tabulka se tvoří stejným způsobem jako u VBD. Zde bude ovšem na výběr deset modifikací – od jedné VBD ve šroubovici, což charakterizuje klasickou čelní frézou až po deset VBD ve šroubovici. Nejběžnější užití v praxi je hloubka řezu 4x až 6x šířka VBD, tedy 4 až 6 VBD ve šroubovici. Poslední tabulkou je tabulka pro výběr upnutí do vřetene frézky, zde je na výběr mezi kuželem SK40 a SK50. Opět zde vybereme rozměry, charakterizující SK kužel a vložíme je do tabulky, která bude mít ve výsledné fázi dvě modifikace.



obr. č.45 [Catia]

Nyní se dostáváme ke druhému způsobu parametrizace, který je aplikovaný na parametry **Průměr frézy, počet zubů, úhel sklonu ostří, úhel čela** a je zde i počet **břitů ve šroubovici**. Nejprve je třeba povolit zobrazování parametrů v Catii a to kliknutím na *Tools-Options-Product Structure* a zde u všech parametrů zaškrtneme možnost YES. Teď se nám budou parametry moci zobrazovat ve stromové struktuře. Kliknutím na funkci **Formula**  se nám otevře okno, kde máme v nabídce *New parameter of type*. Vybereme typ, jaký chceme, v našem případě jsou použity pro parametry Length a Angle a daný parametr si nazveme. Ukážeme si to na průměru frézy, název bude tedy: Prumer\_frezy a klikneme na OK. Parametr se nám teď zobrazuje ve stromové struktuře pod záložkou **Parameters**. Tento parametr však není aktivní. Klikneme proto na funkci **Formula**  kde si přes filtr najdeme parametr *polomer\_frezy*. Další krok je kliknutí na Add Formula, čímž se nám zobrazí nové okno. Máme zde v nabídce zase celou řadu parametrů, můžeme však kliknout na Prumer\_frezy ve stromové struktuře. Tady pozor. I přes to, že máme průměr frézy zakotovaný jako průměr, Catia nám udává poloměr. Na tento problém bylo upozorněno již dříve. Poklepeme tedy dvakrát na Prumer\_frezy, čímž ho vybereme a vydělíme jej dvěma. Zápis

bude vypadat takto:  $\text{Polomer\_frézy} = \text{Prumer\_frezy} / 2$ . Analogicky přiřadíme další hodnoty zbylým parametrům, které chceme mít ve stromové struktuře.



obr. č.46 [Catia]

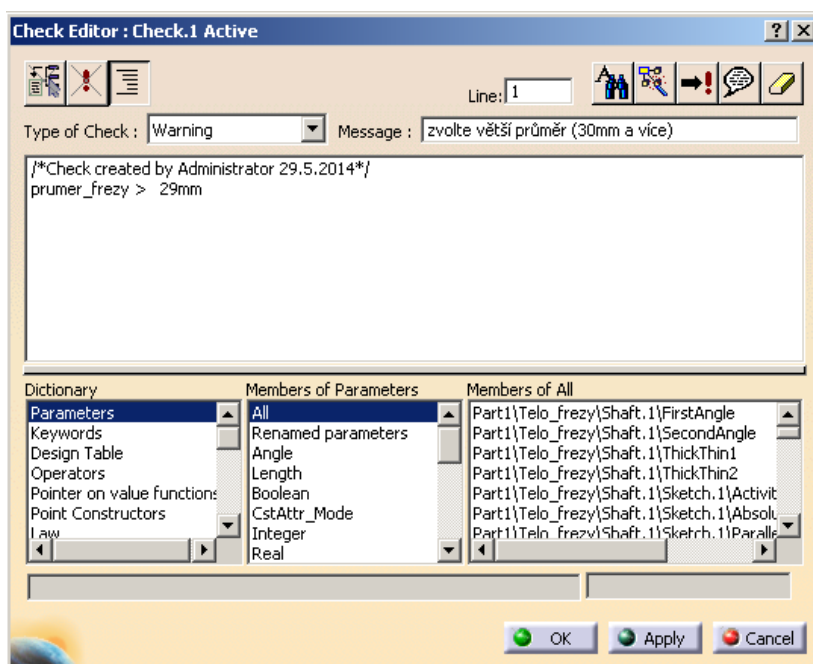
### 3.8 Kontrola modelu

Abychom předešli při parametrizaci vzniku nevyrobitelného kusu, aplikujeme na model jako poslední prvek kontrolu. Jedná se o omezení průměru, počtu zubů, úhlu sklonu ostří a rozteče. Pro některé tyto omezení bylo třeba najít různé funkce, neboť při parametrizaci se pracuje pokaždé s jinou hodnotou.

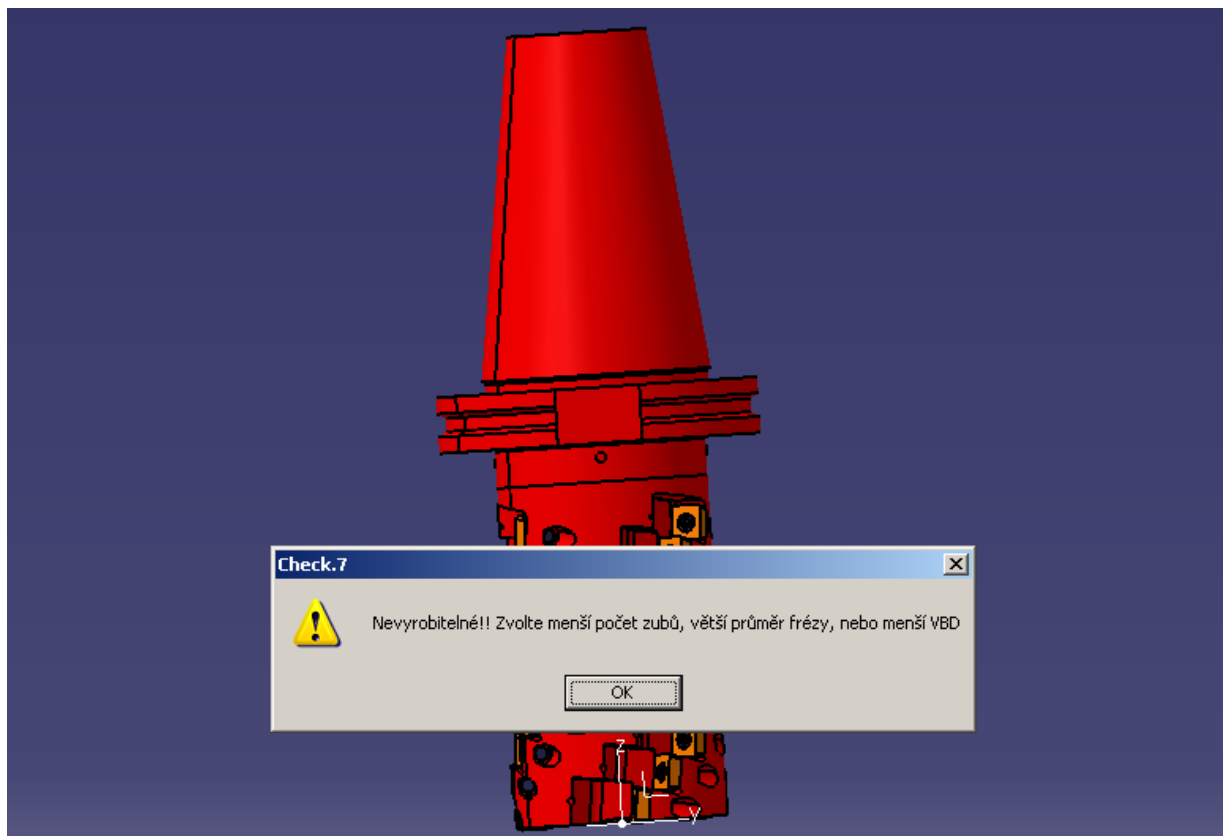
Pro vytvoření kontroly se přepneme výběrem: *Start-Knowledgeware-Knowledge Advisor*. Zde vybereme

funkci **Check** . Zobrazí

se tabulka, kde můžeme vyplnit údaje jako název a podobně. Tabulku potvrdíme OK. Následuje další tabulka, kde už provádíme samotnou kontrolu. V položce *Type of Check* vybereme variantu **Warning**. To znamená, že když dojde k zadání nějakého parametru, který vede ke vzniku nevyrobitelného kusu, zobrazí se tabulka s upozorněním. Text upozornění si sami napíšeme do položky *Message*. Samotné omezení spočívá v porovnání funkce, nebo parametru s mezím parametrem pomocí klasických operátorů jako  $>$   $<$   $=$ . Funkci **Check** potvrdíme a teď už jen čekáme, až nastane ta chvíle při parametrizaci a objeví se upozornění pro omezení nebo nevyrobitelnost kusu.



obr. č.47 [Catia]



obr. č.48 [Catia]

## 4 Závěr

Tato práce je zaměřena na konstrukci čelní válčové frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD) v CAD programu Catia V5, kde je kladen důraz na následnou parametrizaci modelu.

V úvodní části jsem se věnoval současným trendům konstrukce fréz s VBD, způsobům upnutí jak VBD do těla fréz, tak upnutí nástroje do vřetene frézky.

Pro konstrukci frézy jsou klíčovými prvky: průměr frézy, axiální hloubka řezu, počet zubů, počet břitů, velikost VBD a pracovní úhly destičky. Fréza je řešena jako jeden celek, tělo frézy je tedy v jednom kuse spolu s upínacím systémem Weldon SK50(SK40). Odpadá tak jeden krok upnutí, jako například u stopkové frézy, kde mohou vzniknout určité nepřesnosti. Fréza se může upnout rovnou do vřetene frézky.

Na modelu je parametrizace provedena v hodně rozsáhlém provedení. Dalo by se říci, že rozmezí počtu prvků, v jakém je parametrizace u modelu provedena se v praxi takřka nevyužívá. Většina firem má proto více typů fréz tohoto druhu a mění tak menší počet parametrů, jako jsou průměr a axiální hloubka řezu. Tato práce je spíše demonstrací, co vše lze zparametrizovat pomocí tohoto programu.

Cílem mé bakalářské práce bylo vytvoření metodického postupu pro konstrukci čelní válčové frézy se zaměřením na jeho parametrizace. Parametrizace může být provedena více způsoby. V práci jsou použity dva základní, a to pomocí tabulky a vytažením stěžejních parametrů do stromové struktury. Všechny parametry jsou spolu provázány buď pomocí tabulky, nebo pomocí různých funkcí a rovnic.

Při tvorbě bakalářské práce mi velice pomohla spolupráce s firmou GTW BEARINGS v oblasti přímého kontaktu s výrobou a využitím daného typu frézy ve výrobě.

## LITERATURA

- [1] Chladil, Josef. *Přípravky a nástroje: část-obrábění*. 3. vyd. Brno : VUT, 1992. ISBN 80-214-0408-6.
- [2] Beneš, Vladimír; Mrkvica, Miloš. *Teorie řezných nástrojů: určeno pro stud. fak. strojní*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1990. ISBN 80-01-00265-9.
- [3] Schmidt, Eduard. *Příručka řezných nástrojů*. 2. vyd. Praha : SNTL, 1974.
- [4] Chvála, Břetislav; Votava, Josef. *Přípravky: celost. vysokošk. učebnice pro strojní fakulty vys. škol techn.* 1. vyd. Praha : SNTL, 1988.
- [5] *ASM Handbook, Vol. 16: Machining*. Ohio, 1999. ISBN 0871700077.
- [6] Shaw, Milton Clayton. *Metal cutting principles*. New York: Oxford University Press, 2005. ISBN 0-19-514206-3.
- [7] Childs, Thomas. *Metal machining : theory and applications*. New York: Elsevier, 2000. ISBN 0-340-69159-X.
- [8] *Příručka obrábění: kniha pro praktiky; přel. Miroslav Kudela*. Praha : Sadvik, 1997. ISBN 91-972299-4-6.
- [9] Obrábění: technický průvodce; M. Vigner-Z. Přikryl a kolektiv
- [10] Technologie obrábění; doc. Ing. Bohumil Vlach, DrSc, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE.
- [11] Teorie obrábění- Z. Přikryl – R. Musílková
- [12] DIAGNOSTIKA STAVU ŘEZNÉHO BŘITU PO MIKROÚPRAVÁCH - Ing. Ivana Česáková Ing. Miroslav Zetek, Ph.D.
- [13] přednášky z předmětu KTO/PNO- Miroslav Zetek
- [14] přednášky z předmětu KTO/STO; Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
- [15] Technologické procesy obrábění – Karel Kocman
- [16] Elektronický katalog firmy ISCAR

## **PŘÍLOHY**

### **Příloha 1 (volně)**

Výkres sestavy

### **Příloha 2 (volně)**

Výrobní výkres těla frézy

### **Příloha 3 (volně)**

CD s daty