



# Návrh automatické výměny nástrojů pro stolní CNC frézku

## Diplomová práce

*Studijní program:*

N2301 Strojní inženýrství

*Studijní obor:*

Konstrukce strojů a zařízení

*Autor práce:*

**Bc. Štěpán Láník**

*Vedoucí práce:*

Ing. Petr Keller, Ph.D.

Katedra výrobních systémů a automatizace





## Zadání diplomové práce

# Návrh automatické výměny nástrojů pro stolní CNC frézku

<i>Jméno a příjmení:</i>	<b>Bc. Štěpán Láník</b>
<i>Osobní číslo:</i>	S18000247
<i>Studijní program:</i>	N2301 Strojní inženýrství
<i>Studijní obor:</i>	Konstrukce strojů a zařízení
<i>Zadávající katedra:</i>	Katedra výrobních systémů a automatizace
<i>Akademický rok:</i>	2019/2020

### Zásady pro vypracování:

Hlavním cílem práce je navrhnout konstrukci vřetena stolní CNC frézky umožňující automatickou výměnu nástrojů. Dalším cílem je navržení vlastního skladovacího zásobníku nástrojů pro min. 4 nástroje. Celý systém bude přizpůsoben stávající konstrukci stolní CNC frézky.

- 1) Rešerše existujících řešení a stav výzkumu v dané oblasti.
- 2) Definování požadovaných parametrů na konstrukci.
- 3) Potřebné výpočty, návrh upínacího systému nástrojů, návrh pohonů.
- 4) Konstrukční řešení vřetena a zásobníku nástrojů, praktická realizace a implementace do stávající CNC frézky.
- 5) Zhodnocení řešení.

*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

dle potřeby  
cca 55 stran  
tištěná/elektronická  
Čeština



### Seznam odborné literatury:

- [1] ŠEVIC, M. Konstrukce malého CNC stroje pro model výrobního systému s koncepcí Průmyslu 4.0. Liberec, 2017. Diplomová práce. Fakulta strojní na TU v Liberci, Katedra výrobních systémů a automatizace.
- [2] MAREK, J. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014, 684 stran. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [3] PEŠÍK, L. Části strojů: stručný přehled. Vyd. 3., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008. ISBN 978-80-7372-319-4.
- [4] SHIGLEY, J. E., Ch. R. MISCHKE, R. G. BUDYNAS, M. HARTL a M. VLK. Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [5] LEINVEBER, J. a P. VÁVRA. Strojnické tabulky. Praha: Albra, 2011. 927s. ISBN 978-80-7361-081-4.

*Vedoucí práce:*

Ing. Petr Keller, Ph.D.  
Katedra výrobních systémů a automatizace

*Datum zadání práce:*

20. listopadu 2019

*Předpokládaný termín odevzdání:*

20. května 2021

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan



Ing. Petr Zelený, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 20. listopadu 2019

## Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 2. 6. 2020

Podpis:



## Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Petru Kellerovi, Ph.D. za jeho čas, který mi věnoval, jeho cenné nápady a připomínky, které mi dal k řešenému tématu. Dále bych chtěl poděkovat mému konzultantovi Ing. Martinu Ševicovi, který mi poskytl konzultace a data k frézce, kterou se tato práce zabývá a kterou sám ve své diplomové práci zkonstruoval. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině, která mi poskytla podporu při psaní práce.

Tato práce byla částečně podpořena Studentskou grantovou soutěží Technické univerzity v Liberci v rámci projektu Optimalizace v oblasti výrobních systémů, 3D technologií a automatizace č. SGS-2019-5011.

**TÉMA: NÁVRH AUTOMATICKÉ VÝMĚNY NÁSTROJŮ PRO STOLNÍ CNC FRÉZKU**

**ANOTACE:** Diplomová práce se zabývá návrhem vřetene pro stolní frézku s automatickou výměnou nástrojů pro nástrojový držák ISO 20, součástí je také návrh zásobníku nástrojů s pěti pozicemi. V úvodní teoretické části se práce věnuje představení problematiky automatické výměny nástrojů a poté se zabývá konstrukcí vřeten obráběcích strojů. Následuje seznámení s konstrukcí frézky, na kterou bude vřeteno určeno, poté následuje rešerše vřeten s AVN pro menší stroje. V praktické části práce je představeno vlastní řešení vřetene s AVN a zásobník nástrojů.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** AVN, automatická výměna nástrojů, vřeteno, frézka, ISO nástrojový držák, zásobník nástrojů

**THEME: DESIGN OF AUTOMATIC TOOL CHANGE FOR CNC TABLE MILLING MACHINE**

**ANNOTATION:** This thesis deals with the topic automatic tool change for table milling machine with tool holder ISO 20, there is also design of magazine for five tools. The introduction teoretical part is dedicated to problematice of automatic tool change and there is introduction to design of spindles for machinig. Next part is devoted to introduction present state of table CNC milling machine for wich the spindle is intended. Then there is a short part about small spindles and magazines for automatic tool change on the market. In the practical part is presented the own design of the spindle with automatic tool change and own magazine for tools.

**KEYWORDS:** ATC, automatic tool change, spindle, milling machine, ISO 20 tool holder, tool magazine

Počet stran: 70

Počet příloh: 41

Počet obrázků: 56

## Obsah

Seznam použitých termínů a symbolů .....	9
Úvod.....	10
1. Automatická výměna nástrojů.....	11
1.1. Zásobníky AVN.....	11
1.1.1. Nosné zásobníky.....	11
1.1.2. Skladovací zásobníky .....	12
1.1.3. Konstrukční řešení zásobníků.....	14
1.2. Držáky nástrojů AVN .....	17
2. Vřetena obráběcích strojů.....	21
2.1. Způsob zástavby .....	21
2.2. Ložiska.....	22
2.2.1. Typ ložiska a uspořádání .....	22
2.2.2. Rozměr ložiska .....	24
2.2.3. Třída přesnosti ložiska.....	25
2.2.4. Uložení ložiska a volba typu klece.....	25
2.2.5. Mazání ložisek.....	26
2.2.6. Montáž a demontáž ložisek .....	27
2.3. Utěsnění vřeten .....	29
2.4. Pohon vřeten .....	30
2.5. Upínání nástrojů do vřetene.....	31
3. Seznámení s konstrukcí stolní frézky.....	33
4. Rešerše vřeten s AVN pro menší stroje .....	35
5. Návrh vřetene s AVN.....	38
5.1. Řezné podmínky .....	38
5.2. Upínací mechanismus .....	40

5.3. Ložiska.....	45
5.3.1. Kontrola životnosti .....	46
5.3.2. Ověření optimální vzdálenosti ložisek. ....	47
5.4. Návrh pohonu .....	50
5.4.1. Výpočet klínového řemenu.....	50
5.4.2. Výpočet spojení perem .....	51
5.5. Stlačovací mechanismus .....	52
5.5.1. Návrh pohonu .....	53
5.5.2. Výpočet ozubeného řemenu .....	55
5.5.3. Kontrola ložisek.....	56
5.6. Umístění na frézce a krytování .....	56
6. Návrh zásobníku nástrojů.....	58
6.1. Pevná zásobníková lišta .....	58
6.2. Rotační zásobník s výklopnými nástroji .....	59
6.3. Výklopná zásobníková lišta .....	59
6.3.1. Návrh pohonu zásobníku .....	61
6.3.2. Výpočet ozubeného řemene.....	63
6.3.3. Senzorika .....	64
7. Závěr.....	66
Bibliografie.....	67
Seznam příloh.....	70



## Seznam použitých zkratk a symbolů

AVN	Automatická výměna nástrojů
ATC	Automatic tool change (AVN)
RTC	Robotic tool change (robotická výměna nástrojů)
MKP	Metoda konečných prvků

F	[N]	síla
$M_k$	[Nm]	kroutící moment
P	[W]	výkon
C	[N]	dynamická únosnost
n	[ot/min]	rychlost rotace
f	[-]	součinitel smykového tření
R	[N/mm]	tuhost
I	[mm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment v ohybu
$\tau$	[MPa]	napětí ve smyku
i	[-]	převodový poměr
L	[mm]	délka
d	[mm]	průměr

V práci se vyskytují i další veličiny, které jsou vždy popsány u daného tématu.

## Úvod

V dnešní době je v průmyslu trendem snižování výrobních časů, zvyšování efektivity a naproti tomu se stále více zvyšuje složitost vyráběných dílců, což má za následek, že při obrábění jednoho obrobku je potřeba stále více druhů nástrojů. Výměna nástroje je čas neproduktivní, a proto se tuto dobu snažíme co nejvíce zkrátit. Jedním z řešení je použít plně automatickou výměnu nástrojů. Automatická výměna nástrojů dala vzniknout plně automatickým obráběcím centrům. Zvýšila se tím také bezpečnost práce, protože výměna nástrojů probíhá v místech oddělených od obsluhy a tak obsluha nemusí vstupovat do prostor stroje, kde často bývá řezná kapalina a třísky.

I když největší výhody přináší AVN například u strojů s velkými a těžkými nástroji, kdy obsluze by trvalo vyměnit nástroj mnohokrát déle, v dnešní době, kdy je většina strojů řízena pomocí počítače, se dostává i do malých frézovacích center, a to i do hobby oblasti například pro obrábění dřeva.

Cílem této práce je provést rešerši na existující řešení v dané oblasti, definovat potřebné požadované parametry na konstrukci, provést potřebné výpočty a vytvořit konstrukční řešení, které se následně naimplementuje do stávající CNC frézky.

První část diplomové práce je zaměřena na uvedení do problematiky AVN, rozdělení zásobníků, manipulátorů a jsou zde představeny jednotlivé nástrojové držáky, které se v průmyslu používají. Další část práce je věnována konstrukci vřeten obráběcích strojů, a to jejich utěsnění, pohonu, způsobu zástavby a největší část je věnována ložiskám. V další části je stručně představena CNC frézka, na kterou bude konstruováno vřeteno s AVN a zásobník nástrojů. Následuje krátká rešerše na téma vřetena s AVN pro nástrojový držák se stopkou ISO 20. Poslední a největší část práce je věnována vlastnímu konstrukčnímu řešení vřetene a zásobníku.

## 1. Automatická výměna nástrojů

Automatickou výměnu nástrojů (dále jen AVN) lze definovat jako skupinu uzlů, která slouží k odkládání, manipulaci, polohování a upnutí nástrojových jednotek v obráběcích centrech bez užití lidské síly, zručnosti a správy. AVN je nezbytná hlavně u moderních CNC obráběcích center, abychom zajistili jejich plynulý a nepřetržitý chod. AVN lze zajistit širokou škálou konstrukčních řešení, která zajišťují optimální využití obráběcích center při daných technologických operacích. Mezi AVN můžeme řadit i automatickou výměnu technologického příslušenství, jako jsou například různé úhlové frézovací hlavy.

Při konstrukci AVN se musí brát zřetel na specifické požadavky. Čas cyklu výměny nástroje se musí co nejvíce minimalizovat, protože spadá do skupiny vedlejších časů. Očekává se vysoká funkční spolehlivost s ohledem na velkou četnost výměny a vysokou cenu stroje. Při návrhu je nutné zvážit optimální kapacitu zásobníku pro danou oblast využití stroje a dané technologie. Dle prostorového řešení je nutné vybrat správný typ zásobníku a manipulátoru. AVN musí být odolný proti všem znečištěním (řezné kapaliny, třísky ...). Manipulátory by měli mít přesné ustavení polohy v místě výměny. AVN by měla být konstruována tak, aby pojmul co největší variabilitu nástrojů (dlouhé, těžké nástroje, nástroje velkých průměrů). [1]

### 1.1. Zásobníky AVN

Konstrukční řešení zásobníku udává hlavně typ nástrojů, jaké se budou skladovat (rotální nástroje, nástroje pro soustružení ...) a jaký typ nástrojového držáku bude použit ve stroji, což ovlivňuje způsob upnutí v zásobníku. Pro návrh je dále důležité znát maximální rozměry nástroje a jeho hmotnost, která určuje tuhost celé konstrukce. Nesmí se zapomenout ani na bezpečnost. Jak pohyblivé zásobníky, tak i manipulátory představují vysoké nebezpečí pro člověka, proto musí být odděleny od obsluhy tak, aby se do prostoru AVN nemohla za chodu stroje nijak dostat.

#### 1.1.1. Nosné zásobníky

Zásobníky nástrojů se můžou rozdělit dle toho, zda přenášejí řezné síly či nikoliv. Nosné zásobníky přenášejí řezné síly od nástroje do rámu stroje. Tato konstrukce se vyskytuje nejčastěji v podobě revolverové hlavy. Nástroje mohou být jak nepoháněné (soustružnické nože), tak i poháněné (vrtání, frézování). Toto řešení má výhodu ve velice rychlé výměně nástroje a kompaktní konstrukci, ale většinou obsahují menší množství nástrojů. Další nevýhodou je nutnost zasahovat do pracovního prostoru stroje, pokud chceme nástroje vyměnit. Toto uspořádání se

nejčastěji používá u CNC soustruhů. Revolverové hlavy mohou mít dva způsoby konstrukce, buď jsou diskové, víceboké nebo korunového typu. Občas se můžeme setkat i s nosným zásobníkem translačního typu. [1]



Obr. 1 Rozdělení typů zásobníků z hlediska přenosu sil a výměny nástroje [1]

### 1.1.2. Skladovací zásobníky

Dalším typem zásobníků jsou zásobníky skladovací, které se dělí podle toho, jakým způsobem je z nich následně nástroj dopraven do pracovního vřetene. U pick-up systémů se zásobník při výměně nachází v pracovním prostoru CNC stroje. Výměna probíhá tak, že vřeteno nejprve umístí nástroj do prázdné pozice v zásobníku a pak najede na pozici žádaného nástroje a upne ho. Zásobník může být vestavěn přímo v pracovním prostoru stroje, což má za následek jeho zmenšení, nebo je nutné konstrukčně vyřešit přiblížení zásobníku k vřetenu. Toto řešení je levné, protože neobsahuje žádnou mezioperační přepravu nástroje, ale velkou nevýhodou je omezený počet nástrojů a občas zmenšení pracovního prostoru stroje. Tato konstrukce se hodí zejména pro menší frézovací centra, která nepotřebují velké množství nástrojů. Pick-up systémy se také využívají při výměně celých frézovacích hlav. [1]

Dalším typem je zásobník-výměník. Jedná se o nejčastější řešení u CNC obráběcích center. Toto řešení je výhodné, pokud se používají zásobníky s velkým počtem nástrojů a byl problém zajistit přímou výměnu nástroje (pick-up). Výměna probíhá tak, že zásobník připraví na určenou pozici nástroj, který je následně uchopen do výměníku (jednouúčelový manipulátor), který zajistí výměnu mezi zásobníkem a vřetenem. Výměna nástrojů pomocí systému zásobník-

výměník je velice rychlá a většinou se pohybuje okolo pěti sekund. V extrémních případech může výměna proběhnout i do jedné sekundy. [1]

Dle postupu výměny se nejčastěji používají výměníky zasekávací a napichovací. Zasekávací výměník rotačním pohybem obvykle o  $90^\circ$  zasekne nástroj v zásobníku a ve vřetenu. Následně dojde k vysunutí ramene a pak k otočení o  $180^\circ$ . Takto se prohodí nástroj ze zásobníku do vřetene a naopak. Následně dojde opět k zasunutí ramene výměníku a pootočení o  $90^\circ$  zpět do původní polohy.

U napichovacího výměníku dojde pomocí translačního pohybu rameno k nástroji v zásobníku, uchopí ho a vysune se. Dojde do vyčkávací polohy a zde stejným způsobem uchopí nástroj ve vřetenu, pootočí se o  $180^\circ$ , umístí nástroj ze zásobníku do vřetene a odjede umístit nástroj z vřetene do zásobníku.

U řešení zásobník-manipulátor-výměník dochází k přepravě manipulátorem ze zásobníku do výměníku. Toto řešení se používá u velkých zásobníků, které jsou umístěny daleko od vřetene. Je časté u strojů, u kterých původně AVN nebyla a přidělávala se. Výhodou je, že zásobník můžeme umístit mimo obráběcí centrum a nejsme při konstrukci tolik omezeni prostorem. Nejčastěji toto uspořádání bývá u horizontálních frézek. U některých konstrukcí bývá výměník umístěn přímo na manipulátoru.

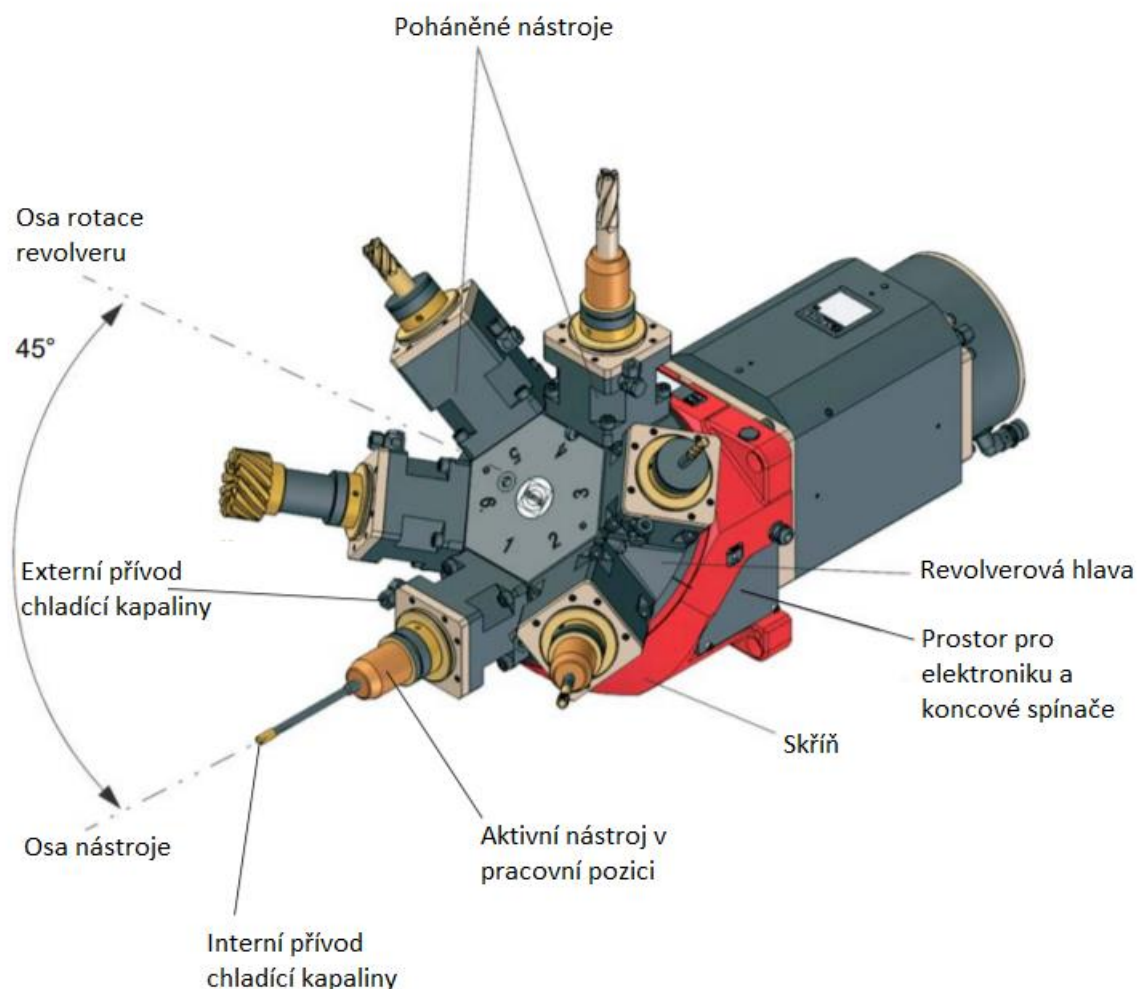
Dalším způsobem uspořádání je stacionární zásobník a manipulátor. Jelikož zde roli manipulátoru většinou zastává průmyslový robot, nazývá se tento systém RTC – Robotická výměna nástrojů (Robotic tool change). Efektorem průmyslového robotu je uchopovací ruka na dva nástroje a slouží jako výměník. Zásobníky mohou být regálové, cylindrické, plošné a jiné. Výhodou tohoto uspořádání je možnost téměř neomezeného počtu nástrojů. [2]

RTC se může dále rozdělit na stacionární RTC – statický zásobník nástrojů a robot na základně, nezávislá RTC – statický zásobník nástrojů na základně a nezávisle pohyblivý robot a posuvná RTC – zásobník nástrojů i robot posuvné se strojem. [2]

### 1.1.3. Konstrukční řešení zásobníků

Dále se zásobníky dají rozdělit dle toho, zda u nich dochází k výměně polohy nástrojů. U nosných zásobníků dochází k výměně polohy vždy. Jedná se o diskové a revolverové zásobníky. U zásobníků skladovacích je konstrukčních řešení více a každé má své výhody, nevýhody i specifická použití.

Diskové a revolverové zásobníky jsou nosné a využití nachází zejména u soustružnických a karuselových center. Mohou obsahovat jak poháněné, tak nepoháněné nástroje. Mohou být ve strojích situovány jak s vodorovnou, tak se svislou osou rotace. Revolverová hlava s mimoběžnými osami je tvořena podle počtu nástrojů „n-bokým“ hnanolem. Dále existují revolverové hlavy s rovnoběžnými, kolnými a kombinovanými osami.

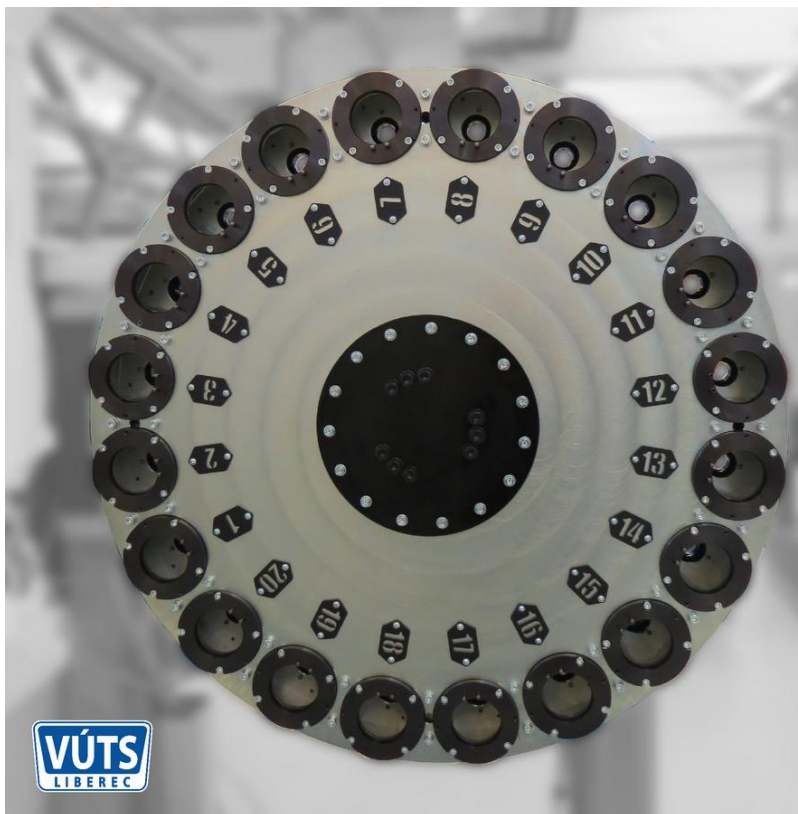


Obr. 2 Šestiboká revolverová hlava [23]



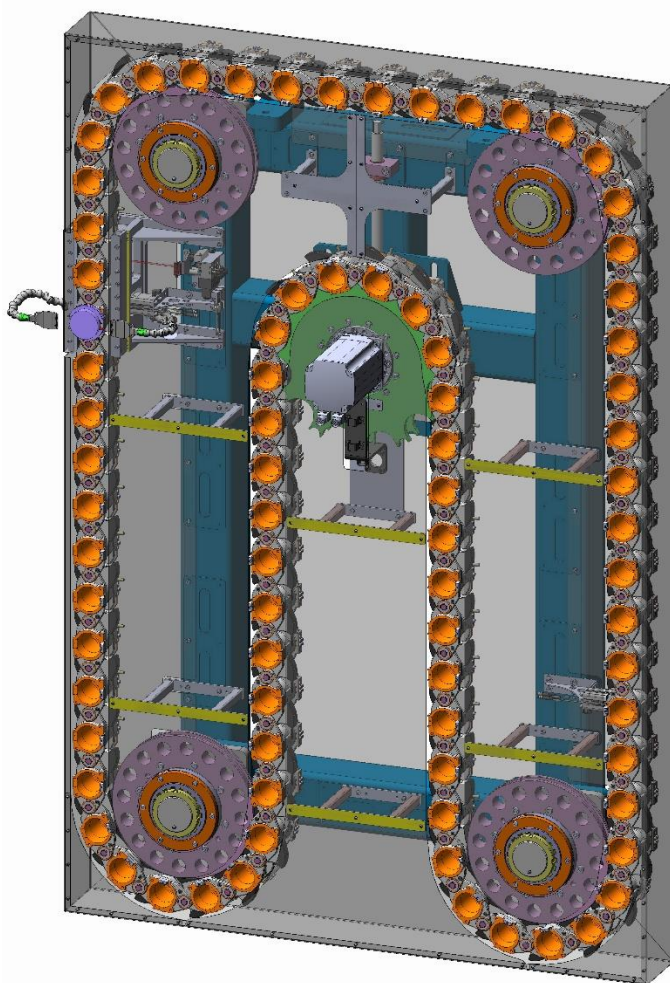
Obr. 3 Rozdělení zásobníků dle jejich konstrukce

Mezi další zásobníky se změnou poloh odkládacích míst patří kruhové (bubnové) zásobníky. Tato konstrukce se vyznačuje svojí jednoduchostí, vysokou tuhostí a hodí se jak do pick-up systémů, tak i do systémů s výměníkem. Nevýhodou je jejich omezený počet nástrojů. Většinou se bubnové zásobníky konstruují s maximální kapacitou 30–40 lůžek.



Obr. 4 Bubnový zásobník pro 20 nástrojů [3]

Další konstrukcí zásobníku se změnou poloh odkládacích míst jsou řetězové zásobníky. U tohoto řešení jednotlivá lůžka nástrojů tvoří články řetězu. Spojováním jednotlivých článků můžeme dostat řetěz požadované kapacity. Tyto zásobníky mívají i přes 100 nástrojových pozic, čímž se řadí mezi zásobníky se střední kapacitou. Nevýhodou může být vyšší hlučnost při změně pozice, vyšší pořizovací cena a někdy nutnost mazání řetězu. Velkou výhodou je dobré využití prostoru a jejich modularita. Zásobník lze snadno přizpůsobit zástavbovému prostoru a počtu požadovaných nástrojových pozic. Pro ještě lepší využití prostoru se konstruují meandrové zásobníky.



*Obr. 5 Meandrový řetězový zásobník na 90 nástrojů [4]*

Posledním typem jsou zásobníky bez změny polohy odkládacích míst. Patří mezi ně například regálové, cylindrické nebo maticové zásobníky. Konstrukčně jsou si všechny tyto typy podobné, liší se pouze v uspořádání nástrojů. U těchto typů zásobníků je jejich kapacita téměř neomezená, protože zde není limit v podobě například nosností řetězu nebo výkonem motoru.



Proto se tyto zásobníky řadí mezi velkokapacitní. Jejich kapacita je schopna pojmout stovky nástrojů nebo dokonce i více.



Obr. 6 Statický cylindrický zásobník a výměnou nástrojů pomocí robotu [2]

## 1.2. Držáky nástrojů AVN

Každý držák nástrojů v AVN musí splňovat základní požadavky:

- Nástrojový držák musí umožňovat přesné upnutí do vřetene nebo do nástrojového zásobníku. Tuto funkci zajišťuje upínací část, která může být kuželová, nebo válcová s rovinnými dosedacími plochami. Současně musí umožnit v případě potřeby jeho uchycení upínacím nebo pojistným zařízením.
- Pokud držák nástrojů není schopný přenést veškerý výkon pomocí třecí vazby, je nutné ho vybavit dalšími kontaktními plochami pro přenos kroutícího momentu.
- Držák musí být vybaven plochami k uchycení manipulátorem pro automatickou výměnu
- Pro dobrou správu nástrojů, je nutné umístit na každý nástrojový držák identifikační kód. [5]

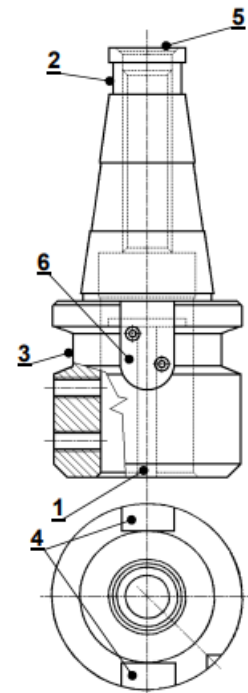
Volba typu držáku závisí na požadavcích na jeho vlastnosti, nebo je dána tradicí a sortimentem strojů výrobce CNC obráběcích center. U strojů s hlavním řezným pohybem nástroje se používají dva způsoby upínání, a to do válcového, nebo kuželového otvoru. [5]

Držáky s kuželovou dosedací plochou mohou být s krátkým nebo dlouhým kuželem. Konstrukce držáků s dlouhým kuželem vychází z upínačů dlouhých vyvrtávacích tyčí na frézovacích strojích s vodorovnou osou vřetene. U těchto nástrojů se používá kužel ISO s kuželovitostí 7:24. Jedná se o nesamosvorný kužel s poměrně dlouhou upínací

plochou, která je schopná docela dobře středit nástroj. Jelikož je kužel ISO nesamo-  
svorný, vyjmutí nástroje z vřetene nevyžaduje sílu. [5]

Standardní ISO nástrojový držák se skládá:

- 1 – drážka, která přenáší kroutící moment z držáku na nástroj
- 2 – zápich sloužící k uchycení držáku kleštinovým nebo kuličkovým uchopovacím mechanismem
- 3 – drážka pro uchopení držáku manipulátorem
- 4 – unášecí kameny, přes které se přenáší kroutící moment ze vřetene
- 5,6 – místa určená k identifikaci nástroje



Obr. 7 Nástrojový držák s kuželovou stopkou ISO [5]

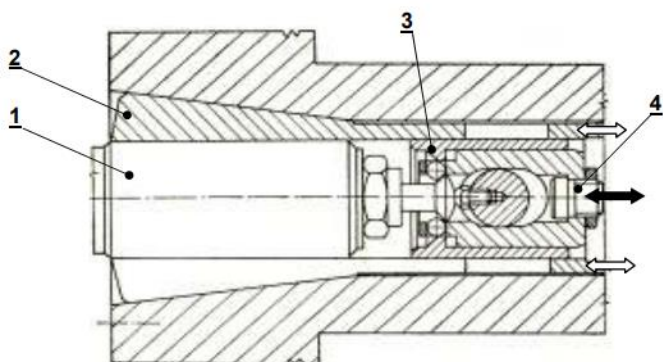
Nevýhodou upínání pomocí ISO kužele je jeho náročnost na přesnou výrobu kuželových ploch a potřeba polohovat držák tak, aby unášecí kameny vždy zapadly do drážek. Další nevýhodou je obtížné udržet stopku čistou, protože se spoléhá pouze na ofukování stlačeným vzduchem. Když se nečistoty dostanou na stopku nebo do dutiny vřetene, vtlačí se do nich, poškodí je a klesá přesnost upínání. Přesnost upínání pomocí ISO kužele se může pohybovat mezi 0,03 až 0,006 mm. [5]

Na strojích pro vysokorychlostní obrábění se více používá stopka s krátkým kuzelem, protože délka ISO kužele způsobuje delší časy výměny nástroje. Proto byly vyvinuty nástrojové držáky HSK. Tento kužel má strmost 1:10 a je dutý. V současnosti jsou HSK držáky stále více oblíbenější na úkor ISO držáků. Jelikož je kužel krátký a nezaručuje vystředění nástroje ve vřetenu, jsou HSK držáky vybaveny ještě čelní dosedací plochou. Tím se značně zvýšila přesnost polohování držáku ve vřetenu, protože je při upnutí spojen s vřetenem s předpětím. Tolerance mezi kuželovou a rovinnou dosedací plochou jsou menší než 0,002 mm. HSK držáky jsou schopny přenášet velké kroutící momenty a mohou dosahovat vysokých otáček, protože upínání není realizováno za stopku jako u ISO kuželů, ale upíná se uvnitř kužele, takže při vysokých otáčkách dochází pomocí odstředivé síly ještě k lepšímu upnutí. Další výhodou je možnost použití centrálního přívodu řezné kapaliny bez rizika, že se dostane na upínací plochy. [5]

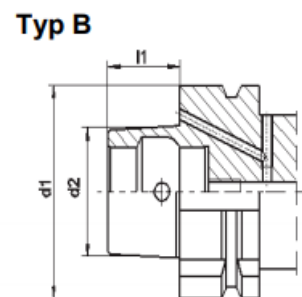
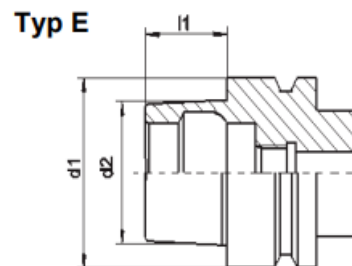
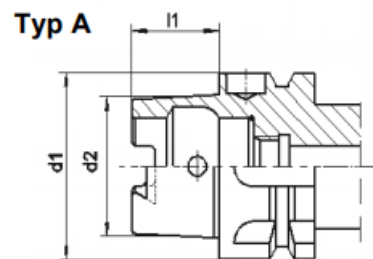
HSK držáky se vyrábí ve třech provedeních, A, B a E. Varianta A je přímo určena pro automatickou výměnu nástrojů, jedná se o základní provedení. Je vybavena drážkami pro unášecí kameny a umožňuje centrální přívod řezných kapalin. Typ E je určený pro vysokootáčková vřetena, protože je navržen jako extrémně rotačně symetrický (bez drážek pro unášecí kameny). Typ B má v porovnání s typem A a E poměrně velký průměr přírubové části. Přívod řezné kapaliny je řešen otvory právě v této zvětšené přírubě. [5]

Krom držáků s kuželovou stopkou existují i držáky s válcovou stopkou. Tyto držáky vznikly současně s prvními číslicově řízenými stroji v Japonsku. Válec je do vřetene upnut pomocí kleštiny a jištěný je pomocí kuličkového mechanismu za stopku podobně jako je tomu u ISO držáků. Válec má průměr 45 až 50 mm. Výhodou válcové stopky je její jednoduchost na výrobu, snadno se udržují čisté dosedací plochy, protože nečistoty se odstraňují teoreticky při každém zasunutí válce do dutiny vřetene. Upínací síla kleštin je dostatečná pro menší až střední nástroje. I u tohoto typu lze použít

unášecí kameny pro přenos vyšších kroutících momentů. Nevýhodou tohoto řešení je poměrně malá tuhost uchopování oproti kuželovým stopkám, protože mezi válcem a vřetenem se nachází kleština, která zde vystupuje jako poměrně poddajný prvek. Z toho vyplývá i složitější a náročnější konstrukce vřetene. Vřeteno potřebuje dva ovládané mechanismy (u kuželů je jen jeden), jeden slouží pro upnutí kleštinou a druhý je určený pro pojistné zařízení, které zabraňuje vysunutí nástroje z vřetene při operacích, kdy na nástroj působí síly, které se ho snaží vytáhnout ven.



Obr. 8 držák nástroje s válcovou upínací plochou uvnitř vřetene



Obr. 9 Typy HSK držáků nástroje [5]

Z uvedených vlastností vyplývá, že válcová stopka je určena pro stroje s vysokou přesností, ale s menšími nástroji. (radiální házivost bývá 0,004 mm) [5]

- |  |
|--|
| <p>1 – držák s válcovou stopkou<br/>                 2 – upínací kleštiny<br/>                 3 – pojistný kuličkový mechanismus<br/>                 4 – ovládání táhlem</p> |
|--|

Kromě výše zmíněných ISO a HSK držáků, existují i další standardy. Například držáky BT jsou asijskou variantou evropských ISO kuželů. Mají stejnou strmost kužele 7:24 a i rozměry jsou velice podobné. Tyto držáky se stejně jako ISO držáky nehodí na vysokorychlostní obrábění. [6]

Další variantou ISO držáku jsou CAT držáky. Tento standard je používán hlavně v USA firmou Caterpillar. Jelikož byly vyvinuty v USA, jsou normovány v palcových mírách a v Evropě se moc nevyskytují. [6]

Dalším vývojovým stupněm ISO držáků jsou BIG-PLUS. Mají opět strmost kužele 7:24. Kromě dosedání na kužel, zde je navíc čelní dosedací plocha na přírubě. To způsobuje vyšší tuhost uložení a přesnější opakovatelnost upnutí. Hodí se i pro vysokorychlostní obrábění až do 40 000 ot/min. Nevýhodou je, že držáky se vyrábí přímo na jedno vřeteno, se kterým jsou slícovány, takže jejich výroba je nákladná. [6]

Dalším velice rozšířeným držákem pro automatickou výměnu nástrojů je systém upínání CAPTO, který byl vyvinut společností Sandvik Coromant. Oproti všem výše uvedeným se liší tím, že není kruhového průřezu. Má tvar trojstěnného polygonu kónického tvaru se strmostí 1:20. Dosedá jak na polygon, tak i na čelní plochu příruby. Přenos kroučícího momentu je zaručen geometrií upínací části. Upnutí do stroje je realizováno pomocí kleštin, které se roztahují v dutině držáku. CAPTO držáky jsou vyráběny v rozměrových řadách C3 až C10. Mezi hlavní výhody patří flexibilita a značná modularita, vysoká stabilita a přesnost upnutí, vysoká ohybová tuhost, vysoká tuhost v krutu, rychlá automatická výměna nástrojů, schopnost přenosu velkých kroučících momentů, vyváženost konstrukce. Hlavní nevýhodou je geometrická složitost držáku, což souvisí s vyššími výrobními náklady. Využití nachází hlavně

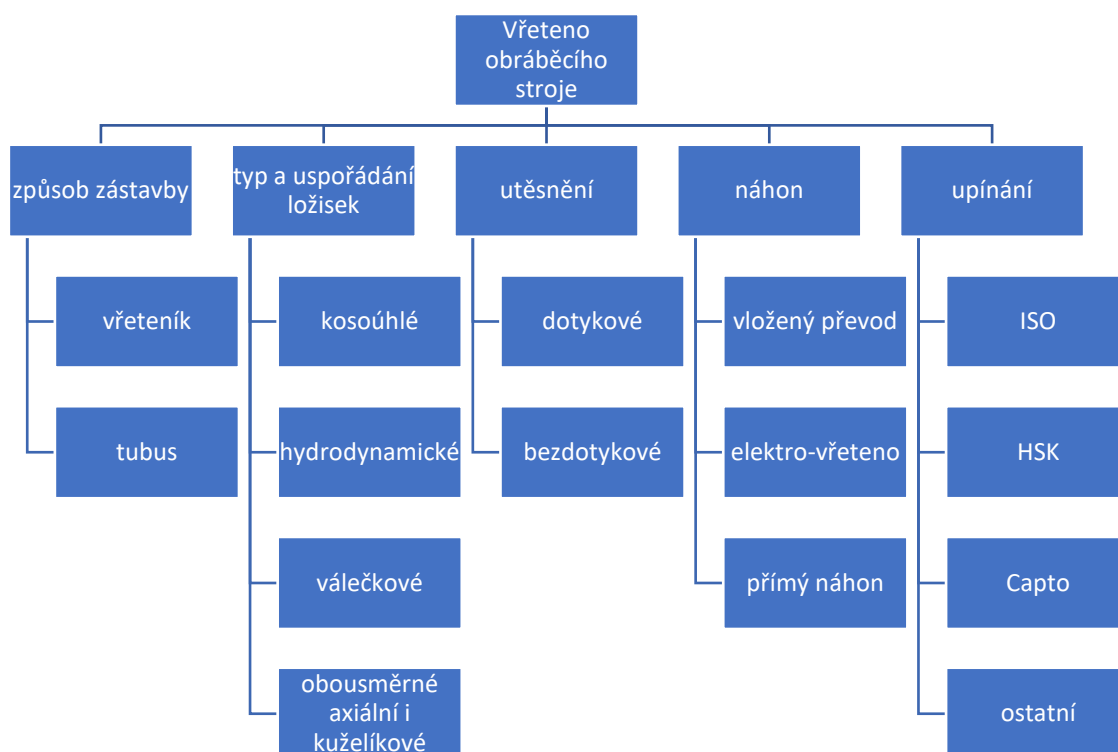
u soustružnických center s revolverovými hlavami, ale bez problémů je lze použít i pro hnané nástroje. [7]



Obr. 10 Modularita CAPTO nástrojových držáků [7]

## 2. Vřetena obráběcích strojů

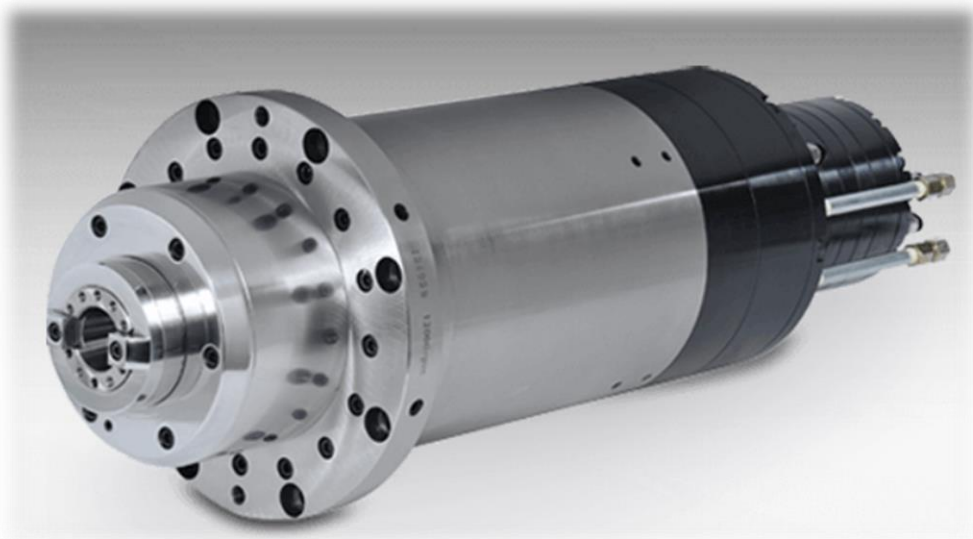
Základní funkcí vřetene je udělit nástroji, v případě soustruhu obrobku, přesný otáčivý pohyb. Je to jedna z nejdůležitějších částí stroje. Přesnost vřetene přímo ovlivňuje přesnost a kvalitu obrábění. Základní požadavky na vřetena obráběcích strojů kladou důraz na přesnost chodu, dokonalé vedení, možnost vymezit vůle, co nejmenší tepelné ztráty, minimální pasivní odpory a maximální tuhost. Základní skladba vřetene obráběcího stroje se skládá z několika základních částí. Jde především o ložiska, rám, těsnění, náhon a vřeteno s daným typem upínání.



Obr. 11 Morfologie vřetena [1]

### 2.1. Způsob zástavby

Celá sestava vřetene se nachází ve vřeteníku, který ovlivňuje především svou tuhostí přesnost obrábění. Podle konstrukce je můžeme dělit na vřeteníky tubusového či skříňového typu, nebo mohou být součástí rámu obráběcího stroje. Ve vřeteníku se kromě vřetene může nacházet i převod. Na Obr. 12 je zobrazeno vřeteno v tubusu se zabudovaným elektromotorem. Takové vřeteno je přímo připraveno na instalaci do obráběcího stroje, stačí už jen připojit energii, stlačený vzduch, přívod řezné kapaliny a navázat komunikaci s řídicím systémem.



Obr. 12 Elektro-vřeteno uložené v tubusu [8]

## 2.2. Ložiska

U vřetene se v 99 % případů nachází valivá ložiska, zbývající 1 % je vybaveno rotačními hydrostatickými ložisky. Vřeteno je většinou uloženo ve dvou radiálních ložiskách a v jednom nebo dvou axiálních ložiskách. Konec vřetene, do kterého se upíná nástroj, se nazývá přední konec a ložiska, která jsou blíže k tomuto konci, se nazývají hlavní nebo přední, protože mají zásadní vliv na přesnost obrábění. [1]

Při návrhu uložení vřetene se musí postupovat dle níže uvedených kroků.



Obr. 13 Postup návrhu uložení vřetene [1]

### 2.2.1. Typ ložiska a uspořádání

Při určování ložiska pro vřeteno obráběcího stroje je jedním z faktorů jeho tuhost. Tuhost ložisek přímo souvisí s jejich velikostí, která je dána průměrem hřídele. Takže volba typu ložiska je kompromisem mezi tuhostí a zástavbovým prostorem, který je k dispozici. Mezi

nejmenší ložiska patří ložiska s kosoúhlým stykem, po nich následují ložiska válečková a následně největší ložiska kuželíková. Typ ložiska se volí podle tříd přesnosti, ve kterých se vyrábějí. Ne všechny typy lze vyrobit v požadované přesnosti. Dalším důležitým faktorem při volbě typu ložiska je jeho způsob mazání. Některá ložiska mohou být mazána olejem a některá tukem. Při konstrukci vysokootáčkových vřeten se musí brát zřetel i na otáčkový faktor ložiska ( $n \cdot d_n$  – kde  $n$  jsou otáčky a  $d_n$  je střední průměr ložiska). [1]

Typ ložiska		Hodnocení vlastnosti ložiska													
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Kuličková ložiska	jednořadá	3	3	3	4	1	1	3	1	1	4	4	2	3	5
	dvouřadá	3	3	3	3	3	3	3	2	2	5	5	2	3	5
Kuličková ložiska s kosoúhlým stykem	jednořadá	3	3	2	4	2	1	3	2	2	4	4	2	5	5
	jednořadá párovaná, dvouřadá	2	3	2	3	3	2	2	3	3	5	5	2	3	5
	se čtyřbodovým stykem	4	2	3	3	2	3	3	3	3	5	5	2	4	5
Naklápečcí kuličková ložiska		3	4	4	5	1	2	4	2	1	1	1	3	3	5
Válečková ložiska	jednořadá - provedení N, NU, NUB	2	5	5	5	2	2	2	2	2	4	4	5	1	1
	jednořadá - provedení NJ, NF, NUP	2	3	3	5	2	2	2	3	2	4	4	2	3	3
	dvouřadá	1	5	5	3	2	1	1	2	2	5	5	5	1	1
	jednořadá s plným počtem válečků	1	4	3	5	4	3	1	4	4	4	4	3	3	3
	dvouřadá s plným počtem válečků	1	4	3	3	4	3	1	4	4	5	5	3	3	3
Jehlová ložiska		2	5	5	5	3	3	2	3	4	5	5	5	1	1
Kuželíková ložiska	samostatná ložiska	2	2	1	4	3	3	2	3	3	4	4	1	5	5
	ložiskový pár	1	2	1	3	3	3	1	3	3	4	5	1	4	5
Soudečková ložiska		1	3	1	5	3	3	2	3	3	1	1	2	3	5
Toroidní ložiska	s klecí	1	5	5	5	3	3	2	3	3	1	1	5	1	1
	s plným počtem valivých elementů	1	5	5	5	4	3	1	3	3	1	1	5	1	1
Axiální kuličková ložiska	s rovnou dosedací plochou	5	3	5	5	4	2	3	4	3	4	5	2	5	5
	s kulovou dosedací plochou	5	3	5	5	4	3	3	4	3	4	2	2	5	5
Axiální válečková ložiska		5	2	5	5	4	2	2	4	4	5	5	2	5	5
Axiální jehlová ložiska		5	2	5	5	4	3	2	4	4	5	5	2	5	5
Axiální soudečková ložiska		5	1	3	5	4	3	2	4	3	1	1	1	5	5
<b>Hodnocení</b>		<b>1 - vynikající 2 - dobré 3 - vyhovující 4 - špatné 5 - nevhodné</b>													

kde:

A ... čistě radiální zatížení  
 B ... čistě axiální zatížení  
 C ... kombinované zatížení  
 D ... momentové zatížení  
 E ... vysoké otáčky

F ... vysoká přesnost chodu  
 G ... vysoká tuhost  
 H ... nízká hlučnost  
 I ... nízké tření  
 J ... vyrovnání nesouososti za provozu

K ... vyrovnání výrobních nepřesností  
 L ... axiálně vodící ložiska  
 M ... axiálně volná ložiska  
 N ... axiální posun v ložisku

Obr. 14 Srovnávací tabulka užitečných vlastností valivých ložisek [24]

Způsob uložení ložisek ovlivňují další faktory, mezi které patří provozní otáčky ( $n \cdot d_n$  faktor), požadovaná přesnost chodu, zatížení vřetene od řezných sil, způsob mazání a požadovaná tuhost. V praxi se může najít mnoho typů uspořádání ložisek, přesto lze uspořádání rozdělit do čtyř základních skupin:

- uložení s dvouřadým válečkovým ložiskem
- uložení v ložiskách s kosoúhlým stykem
- uložení v kuželíkových ložiskách
- uložení vřetene s průvlekovým motorem (elektro-vřetenem) [1]

Některá ložiska se mohou kromě klasického ocelového provedení vyrábět i z jiných materiálů, zejména jejich valivé elementy. Mezi nejpoužívanější ložiska s nekovovými valivými elementy patří ložiska keramická. I přesto, že tato ložiska jsou výrazně dražší, nabízí několik výhod. Dovolují dosažení vyšších otáček. Valivé elementy mají nižší hmotnost, takže na ně působí menší odstředivá síla. Další výhodou keramiky je její malá tepelná vodivost, čímž nedochází k takovému přenosu tepla mezi vnitřním a vnějším kroužkem. Další výhodou je i její menší teplotní roztažnost, odolnost vůči korozi a nemagnetičnost. [1]

Vlastnost	Silikon nitríd $\text{Si}_3\text{N}_4$	Ocel
hustota [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]	3,19	7,8
teplotní roztažnost [ $10^{-6} \cdot \text{C}^{-1}$ ]	3,2	11
modul pružnosti [ $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-2}$ ]	315	210
Poissonova konstanta $\mu$	0,26	0,3
tvrdost HV10	1700	700
teplotní vodivost [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{C}^{-1}$ ]	30 – 40	40 – 50
limitní teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]	1000	300

Obr. 15 Porovnání vlastností keramiky a oceli [1]

### 2.2.2. Rozměr ložiska

Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, velikost ložiska přímo ovlivňuje jeho tuhost, ale negativně se projevuje na zástavbovém prostoru. Při volbě velikosti ložiska se bere na zřetel především jeho zatížení, které určuje životnost ložiska. Při obrábění vzniká kombinované radio-axiální zatížení, které ložiska musí přenést. Výsledné ekvivalentní zatížení  $P$  lze spočítat dle vzorce:

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (2.1)$$

Kde  $X$  a  $Y$  jsou součinitelé radiálního a axiálního zatížení. Jsou uvedeny v katalogu ložisek a vyjadřují vliv jednotlivých sil na trvanlivost ložiska. Jejich hodnoty se stanovují na základě algoritmu, který udává výrobce. V některých případech může být jeden ze součinitelů roven 0, pak hovoříme o čistě radiálním nebo axiálním zatížení. [9]

K poškození ložiska dochází během provozu únavovým procesem v důsledku dynamického dotykového napětí vznikajícího přenosem síly přes teoreticky nulovou plochu kroužku a valivého tělesa. Poškození se projevuje vydrolením povrchu valivého tělesa nebo oběžného kroužku. Takovéto poškození se nazývá *pitting*. Takto poškozené ložisko lze poznat dle zvýšeného hluku a zvýšením odporového valivého momentu. [9]



Výsledná trvanlivost není směrodatná, protože v technické praxi můžeme pozorovat velký rozptyl hodnot trvanlivosti ložisek stejného druhu, a proto se zde bere v potaz statistika. Výslednou spočítanou životnost by mělo vydržet 90 % vyrobených ložisek. Trvanlivost ložiska lze počítat v otáčkách nebo hodinách. [9]

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \quad (2.2)$$

Kde C je základní dynamická únosnost ložiska a p je exponent rovnice trvanlivosti. Pro ložiska s bodovým stykem je roven 3 a pro ložiska s čárovým stykem je roven 10/3. Výsledkem této rovnice bude životnost ložiska v hodinách při ekvivalentním dynamickém zatížení P a otáčkách n. U vřetenových ložisek se statické zatížení kontroluje velice zřídka, protože vřeteno je zařízení, které pracuje především s dynamickým zatížením. [5]

### 2.2.3. Třída přesnosti ložiska

Přesnost ložiska je jedním ze základních faktorů, které nám ovlivňují výslednou přesnost obrábění. Při výběru přesného ložiska je rozhodujícím faktorem ve většině případů maximální radiální házení vnitřního kroužku. Aby se využil potenciál přesných ložisek, musí se předepsat i správně geometrické tolerance a drsnosti přiléhajících ploch jak na vřetenu tak ve skříní. Při nedodržení těchto tolerancí, se nám snižuje výsledná přesnost obrábění a životnost ložisek. [10]

Výrobce ložisek SKF má tři základní třídy přesnosti. Základní tolerance nemá žádné označení a je dodržena u všech ložisek výrobce. Vyšší třída přesnosti se značí P6 a ještě vyšší P5. V těchto přesnostech je výrobce schopen vyrobit téměř všechna ložiska z katalogu. Pro jednotlivé třídy přesnosti má tabulku, v které uvádí jednotlivá toleranční pole v závislosti na rozměru ložiska. Ložiska s vyšší přesností než P5 výrobce označuje jako vysoce-přesná ložiska, která mají vlastní katalog. Právě tato ložiska jsou určena pro stavbu obráběcích strojů. [10]

### 2.2.4. Uložení ložiska a volba typu klece

Klece u ložisek, které plní více funkcí, rozdělují pravidelně valivá tělíska po celém obvodu ložiska, zabraňují jejich styku, a tak snižují třecí moment. Současně drží tělíska pohromadě, aby nedošlo k jejich vysypání z ložiska. Z hlediska jejich konstrukce je zle rozdělit na lisované a masivní. [11]

Lisované klece se vyrábějí lisováním s ocelových nebo mosazných plechů a jsou určena především pro menší až střední ložiska. Jejich výhodou je nízká hmotnost. Masivní ložiska se kromě oceli a mosazi vyrábí také z bronzu, lehkých kovů nebo plastů. Správnou volbu materiálu

klece určují provozní podmínky, ve kterých budou ložiska fungovat. Kovové materiály se užívají v případech, kdy jsou kladeny vysoké nároky na pevnost klece, a kdy jsou ložiska provozována za vyšších teplot. Polymerové klece se vyrábí technologií vstřikováním, neboť umožňuje vyrobit klece různých tvarů, které dovolí navrhnout ložiska s vysokou únosností. Další výhodou polymerních klecí je jejich nízká hmotnost a pružnost, která se může využít především při rázovém zatížení. Při volbě polymerních klecí se však musí dávat pozor na zvolený typ maziva, aby nesnižoval životnost klece. [11]

U dílů, které jsou v kontaktu s ložiskem se kromě geometrických tolerancí musí předepisovat i tolerance rozměrové, zejména lícování vnějšího a vnitřního otvoru. Lícování u ložisek vytváří předpětí a je předepisováno výrobcem ložiska. Předepnutí ložiska má za následek zvýšení přesnosti a tuhosti. Předpětí je velice důležité pro správnou funkci ložiska, protože eliminuje radiální a axiální vůle. Předpětí lze dosáhnout za pomoci pružin nebo distančních kroužků a matic. Pružiny disponují výhodou konstantní síly působící na kroužek ložiska a umí dobře reagovat na teplotní roztažnost materiálů

#### 2.2.5. Mazání ložisek

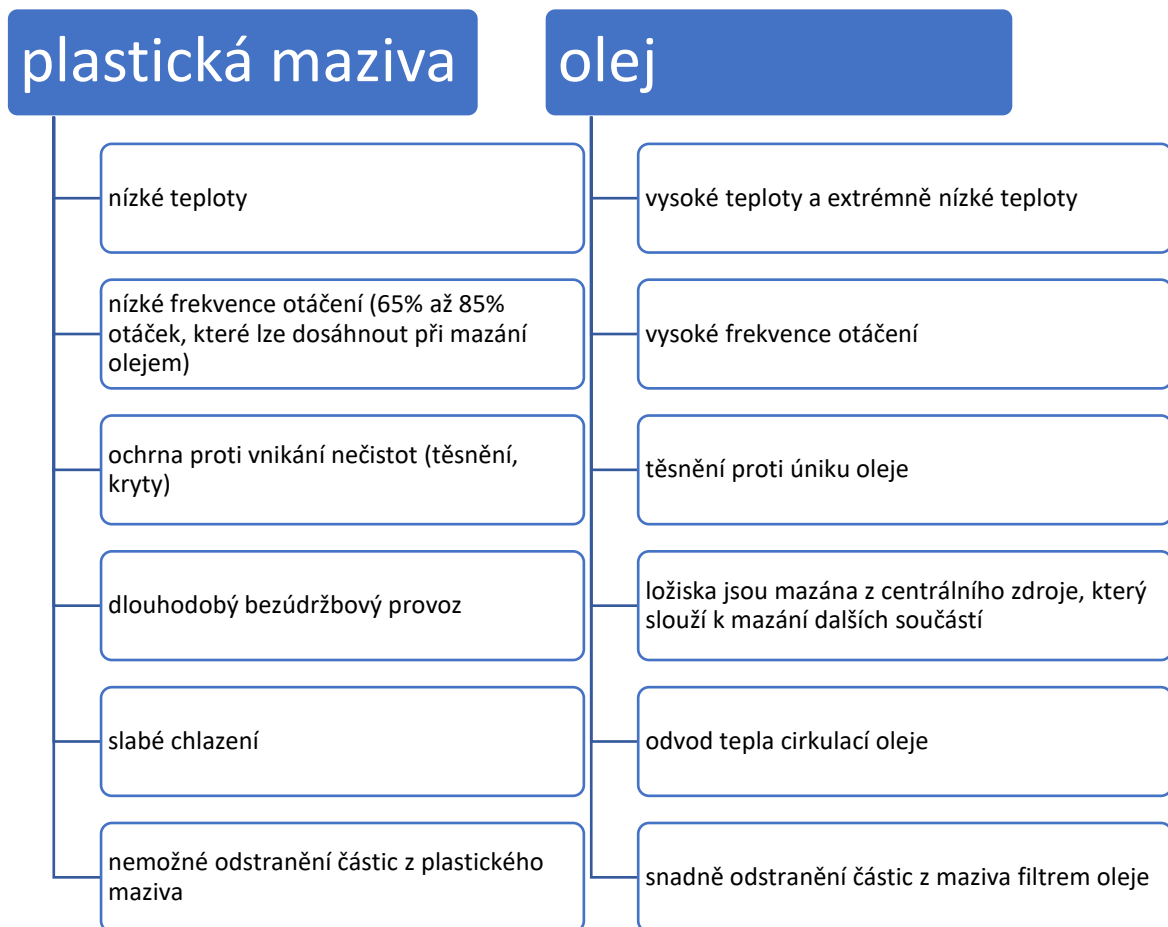
Hlavním úkolem mazání u ložisek je snížení třecích sil mezi kroužky a valivými elementy, kde dochází k valení a prokluzu. U valivých ložisek dochází při provozu k elastohydrodynamickému mazání, které se vyznačuje výrazným zvýšením tlaku v mazacím filmu kontaktní oblasti. [11]

Mezi další úkoly maziva kromě snížení tření patří:

- *Prodloužení únavové životnosti* – únavová životnost je závislá hlavně na tloušťce filmu maziva mezi kontaktními elementy a na jeho viskozitě.
- *Odvod tepla* – u ložisek mazaných cirkulujícím olejem dochází k značnému odvodu tepla z ložiska. Ložisko je tak chráněno před přehřátím a olej před degradací.
- *Ochrana před korozí* – mazivo slouží i jako ochrana ložiska před korozí.
- *Ochrana ložiska před cizími tělesy* – mazivo může chránit ložisko před nechtěným vniknutím částic do prostoru valivých elementů. Cirkulující olej slouží k čištění ložisek od pevných částic. [11]

Ložiska je možné v základu mazat dvěma způsoby, olejem nebo plastickým mazivem. Druh použitého maziva nám určují především provozní podmínky, ve kterých bude ložisko

pracovat. Rovněž musíme zohlednit konstrukci zařízení a hospodárnost provozu. Mazání olejem nabízí lepší provozní vlastnosti, avšak mazání plastickým mazivem umožňuje snadnější použití ložiska. Přehled vlastností olejů a plastických maziv znázorňuje následující tabulka.



Obr. 16 Porovnání vlastností mazání ložisek olejem a plastickým mazivem [11]

### 2.2.6. Montáž a demontáž ložisek

Valivá ložiska jsou velice namáhanou součástí strojních konstrukcí. Aby se plně využily jejich vlastnosti a nedocházelo ke snížení jejich životnosti, je nutné dodržet správné postupy montáže a demontáže, což znamená seznámit se s konstrukcí uložení, připravit vhodné pracoviště a pomůcky, které montáž a demontáž usnadní. [11]

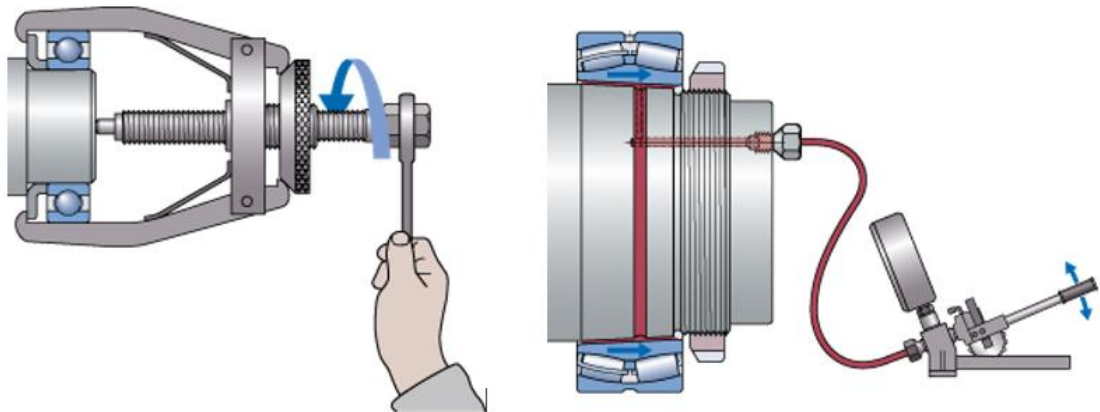
Před montáží se musí všechny součásti uložení důkladně očistit a odjehlit, aby nedošlo ke kontaminování ložiska nečistotami. U velice přesných ložisek je zapotřebí zkontrolovat veškeré rozměrové a geometrické tolerance. [11]

Při montáži ložisek s válcovou dírou je zásadní se vyvarovat úderům kladiva do oběžných kroužků. Montážní síla by měla působit na ten kroužek, který se montuje nejdříve. V žádném případě se nesmí přenášet přes valivá tělíska. Pokud se montují rozebíratelná ložiska, je možné každý kroužek namontovat zvlášť. U ložisek menších průměrů

(do 80 mm) probíhá montáž za studena pomocí lisu nebo úderem kladiva přes montážní pouzdro opřené o lisovaný kroužek. Při montáži větších ložisek vznikají větší přesahy, proto se vnitřní kroužky nebo celá ložiska ohřívají. Nejvhodnější jsou indukční ohřívadla, která zajišťují rovnoměrné prohřátí ložiska. Dalším způsobem, jak ohřát ložiska, je ohřátí v olejové lázni. Avšak tento způsob není vhodný pro ložiska s plastickým mazivem nebo pro vysoce přesná ložiska. [11]

Ložiska s kuželovou dírou se na hřídel montují pomocí upínacích nebo stahovacích pouzder. Proti ložiskům s válcovou dírou mají pevnější uložení. Při montáži větších ložisek se používá metoda tlakového oleje, kdy je olej pod tlakem přiveden pod vnitřní kroužek ložiska, čímž vznikne olejový film, který sníží tření mezi kroužkem a hřídelí. [11]

Pokud se u konstrukce plánuje výměna ložisek v průběhu životnosti, je nutné demontáži věnovat pozornost. Pro menší ložiska se používají mechanické nebo hydraulické stahovky. Pro ložiska montovaná s větším přesahem je výhodné použít tlakového oleje, kdy se pod ložiskem vytvoří tenký film a sníží se třecí síly. Tato metoda vyžaduje, aby hřídel byla vybavena kanálky pro přívod tlakového oleje.



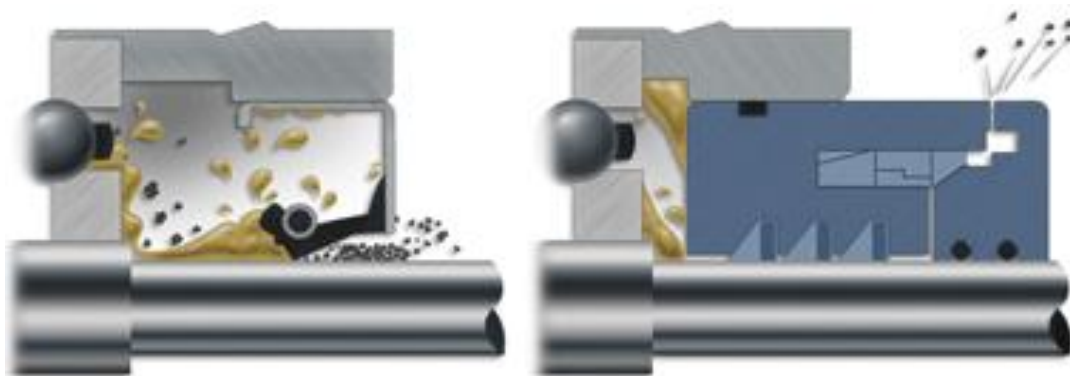
Obr. 17 Demontáž ložisek pomocí stahováku (vlevo) a pomocí tlakového oleje (vpravo) [10]

## 2.3. Utěsnění vřeten

Těsnění u vřeten se snaží zabránit vniknutí cizích těles do vnitřního prostoru vřetene. Tím zamezuje, aby nedošlo k jeho poškození, a zároveň zabraňuje degradaci oleje. Dalším úkolem těsnění je, aby maziva, ať už na bázi tuku nebo oleje, neunikala z vnitřního prostoru vřetene, což by mělo za následek znečištění pracovního prostoru obráběcího stroje a snížení efektivity mazání. Dle konstrukce, se může těsnění rozdělit na dvě skupiny, dotyková a bezdotyková.

U dotykových těsnění dochází ke kontaktu mezi rotující a statickou částí, což má za následek tření, které nám generuje teplo a zároveň dochází k opotřebení těsnění. Mezi nejpoužívanější typy dotykových těsnění patří gufera a V-kroužky. Z výše uvedených důvodů se tato těsnění používají spíše u zařízení s nižšími otáčkami. [12]

U bezdotykového těsnění nedochází k žádnému kontaktu mezi rotující a statickou částí, takže zde nevzniká mezi nimi tření ani opotřebení, ale na druhou stranu bývá výrazně dražší. Labyrintové bezkontaktní těsnění je tvořeno soustavou malých mezer (0,1-0,2 mm) mezi rotujícími a stacionárními díly. Malé mezery zabraňuje společně s povrchovým napětím oleje k jeho úniku. Při roztočení vřetene se olej odstředivou silou nahromadí v žlábkách na statické části, která může být vybavena kanálky, jež vrací mazivo k ložiskům. [12]



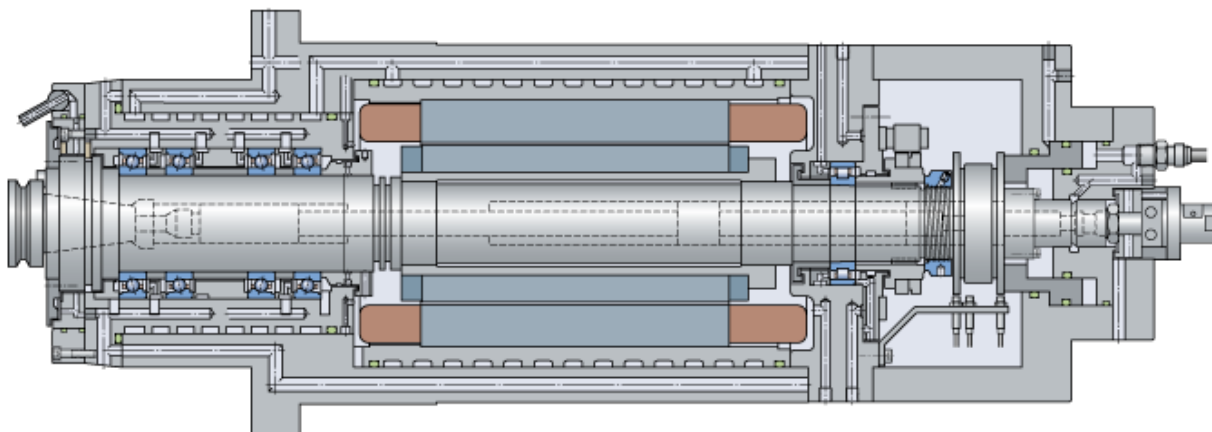
Obr. 18 Kontaktní těsnění (vlevo) bezkontaktní těsnění (vpravo) [12]

## 2.4. Pohon vřeten

Pohon vřetene může být realizován přímo od elektromotoru (přímý pohon). V případě potřeby lze mezi vřeteno a elektromotor vložit převod. Pro převod se nejčastěji využívají ozubená kola nebo klínové řemeny.

Výhodou pohonů s převodem pomocí ozubených kol je větší kroutící moment na výstupu, avšak nevýhodou je vyšší hlučnost, hmotnost a nižší účinnost. Využití těchto vřeten najdeme u univerzálních strojů nebo u velkých obráběcích strojů, kde potřebujeme nízké otáčky, ale vysoký kroutící moment. Při využití řemenového převodu lze odstranit hlučnost a vibrace, které vznikají při obrábění a rozběhu motoru. Při použití vloženého převodu se jako pohon nejčastěji vyskytuje asynchronní elektromotor.

U přímého pohonu je vřeteno přes spojku přímo spojeno s motorem nebo je elektromotor zabudován přímo do vřetene, pak se mluví o elektrovřetenu. Elektrovřetena bývají na své výkony velice kompaktní. Mívají rovněž možnost spojitě měnit otáčky, čehož se značně využívá u CNC obráběcích center.



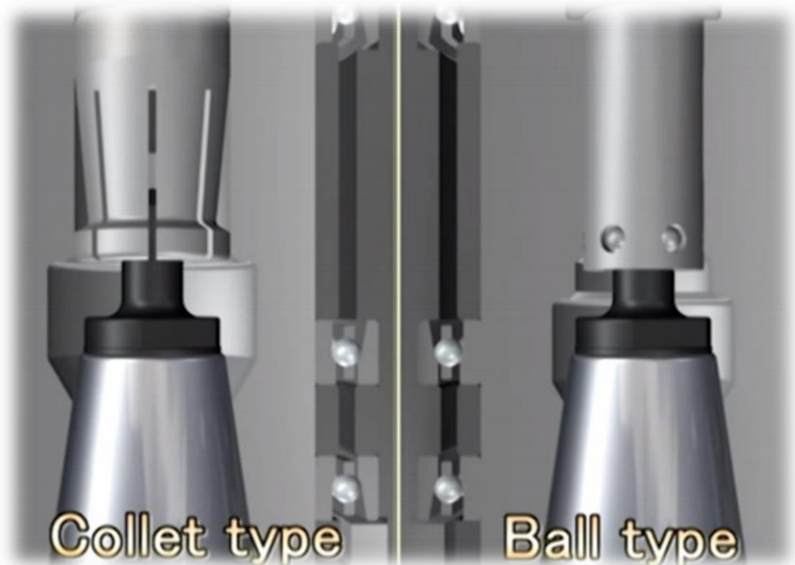
*Obr. 19 Elektrovřeteno v horizontálním obráběcím centru [25]*

## 2.5. Upínání nástrojů do vřetene

Upínací mechanismus se nachází uvnitř vřetene a proto vřetena pro AVN musí být dutá, což má za následek zvětšení zástavbových rozměrů. Mechanismus musí zajišťovat rychlé, spolehlivé a přesné upnutí nástrojového držáku do vřetene. Jelikož celková tuhost je nejvíce ovlivněna členem s nejnižší tuhostí, musí být upnutí dostatečně tuhé natolik, aby bylo na podobné úrovni jako například tuhost ložisek nebo vřetene. Mechanismus musí být dále zkonstruován tak, aby při výpadku energie nedošlo k uvolnění nástrojového držáku.

Upínací mechanismus je velice namáhanou součástí vřetene. Přenáší značné tahové síly a časem u něho může dojít k opotřebení. Proto někteří výrobci vřeten montují upínací mechanismy jako celky do válcových dutin ve vřetenu, které se v případě poruchy nebo opotřebení celé vymění.

U strmých kuželů (7:24) existují dva základní typy upínání, a to buď pomocí kleštin nebo pomocí kuličkového mechanismu. Oba mechanismy jsou si velice podobné, liší se především v tom, že u kleštinového mechanismu je teoretický čárový kontakt a u kuličkového bodový. Stejně jako například u ložisek se tedy kleštinový mechanismus hodí více pro systémy, které přenáší vysoká zatížení. Upínání je realizováno pomocí čepu, který je našroubován do nástrojového držáku. Za tento čep, ať už kleštinou nebo kuličkami, je nástrojový držák pomocí pružiny vtahován dovnitř vřetene na dosedací plochy. Pokud chceme nástroj uvolnit nebo upnout, musí se odjistit upínací mechanismus, toho se docílí stlačením upínací pružiny. Stlačením pružiny se kleštiny dostanou do prostoru, ve kterém mají možnost se otevřít a tím tak uvolnit nástroj. U kuliček je to velmi podobné. Také při stlačení pružiny se kuličky odvalí od místa kontaktu a je tak umožněno vyjmutí nebo vložení nástrojového držáku.



Obr. 20 Princip upnutí nástrojového držáku pomocí kleštiny (vlevo), kuličky (vpravo) [26]



#### **IV – stacionární otevírací jednotka**

1 – nerotační přívod média (kapalina, tlakový vzduch)

2 – nerotační pouzdro

3 – axiálně pohyblivé pouzdro

#### **III – výkonová posuvná část**

4 – klínový převod pro přenos upínací síly

5 – soustava talířových pružin

#### **II – prodlužovací část**

6 – prodloužení tažné tyče

#### **I – upínací část**

7 – spojovací díl

8 – pružina

9 – kleština

10 – vřeteno

11 – nástrojový držák

Obr. 21 Komponenty a konstrukční skupiny upínacího mechanismu [27]



### 3. Seznámení s konstrukcí stolní frézky

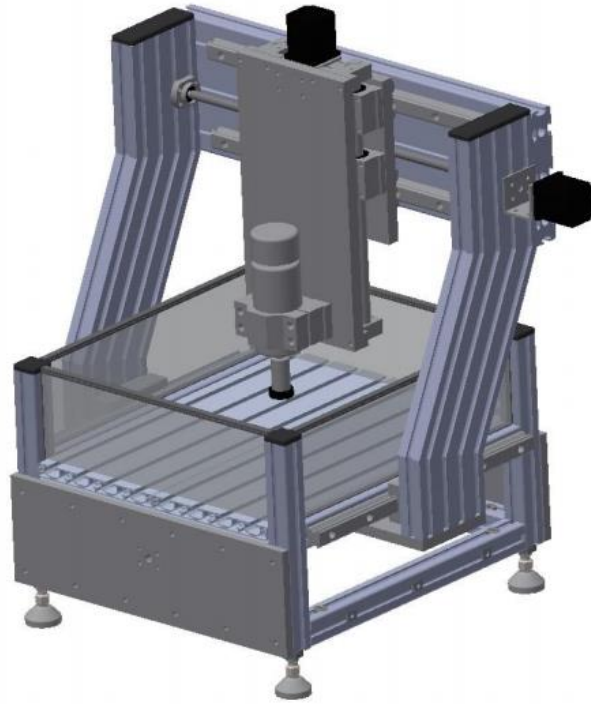
Vřeteno pro automatickou výměnu nástrojů se zásobníkem nástrojů je určeno pro stolní CNC frézku, která vznikla na základě diplomové práce Konstrukce malého CNC stroje pro model výrobního systému s koncepcí průmyslu 4.0. od Bc. Martina Ševice. [13]

Cílem této práce bylo navrhnout stolní CNC frézku pro model chytré továrny. Konstrukce byla uzpůsobena lehkobrobitelným materiálům jako umělé dřevo, plasty či hliník. Na začátku práce jsou popsány základní principy průmyslu 4.0, po nich následuje část, která se zabývá rešerší na téma stolní frézky. Na základě této rešerše jsou zvoleny parametry jako rychloposuv, maximální průměr frézky, přesnost stroje. Z těchto hodnot jsou provedeny výpočty, na základě kterých jsou volena lineární vedení a vřeteno frézky. Dále je proveden návrh frézky pomocí 3D CAD softwaru. Je zde detailně popsán postup výpočtů a konstrukce rámu z hliníkových profilů, výběr lineárních vedení a pohonů jednotlivých os. [13]

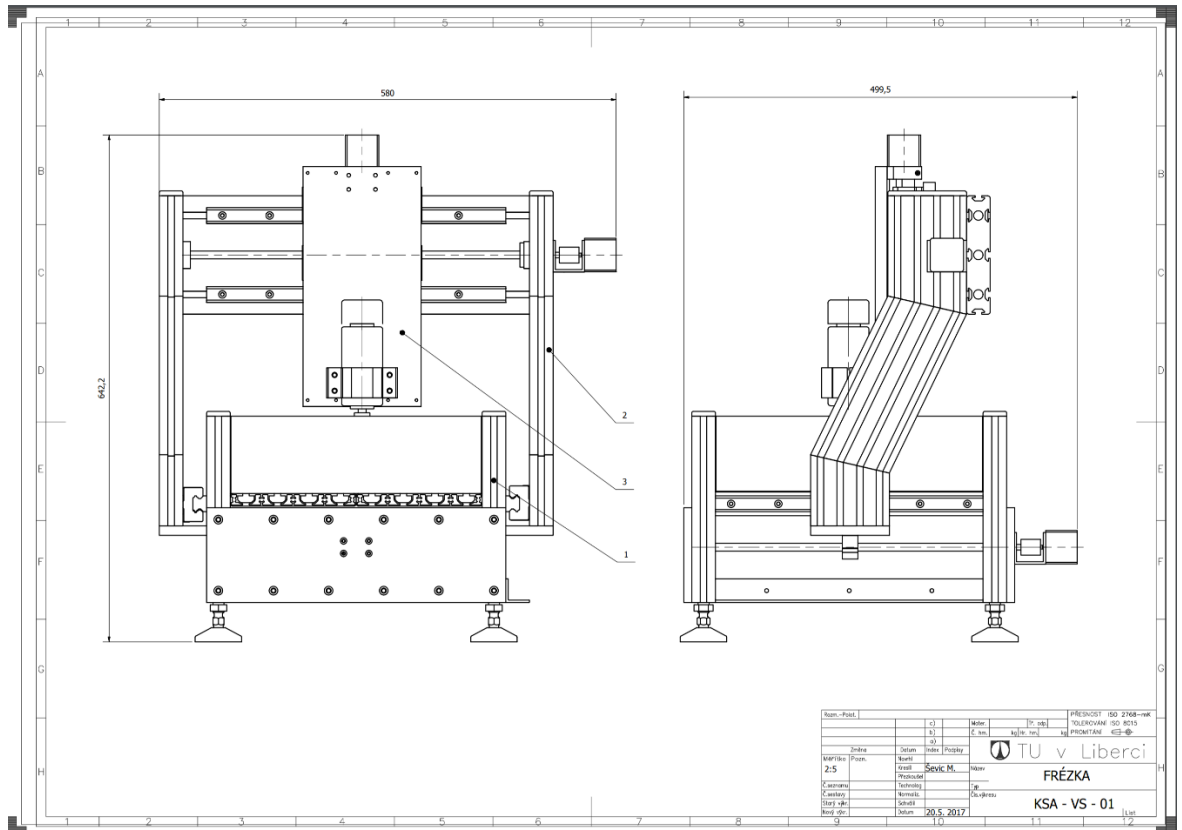
Mezi základní parametry patří:

- rychloposuv 2000 mm/min
- maximální průměr nástroje 7 mm
- přesnost polohování 0,1 mm
- výkon vřetene 400 W
- otáčky vřetene 3 000- 12 000 ot/min
- rozměry pracovního prostoru 220 x 210 x 130 mm
- rozměry stroje 580 x 499,5 x 642,2 mm
- pohon jednotlivých os pomocí krokových motorů SX17-1005VLQCEF
- řízení pomocí Arduino Mega 2560

Pohon všech os je realizován pomocí krokového motoru a trapézové tyče s trapézovou maticí. Vedení v osách X a Y je na prizmatickém vedení a v ose Z pomocí kruhových nepodepřených tyčí. Výsledná cena celé konstrukce se pohybovala okolo 33 000 Kč. [13]



Obr. 22 Celková sestava frézky [13]

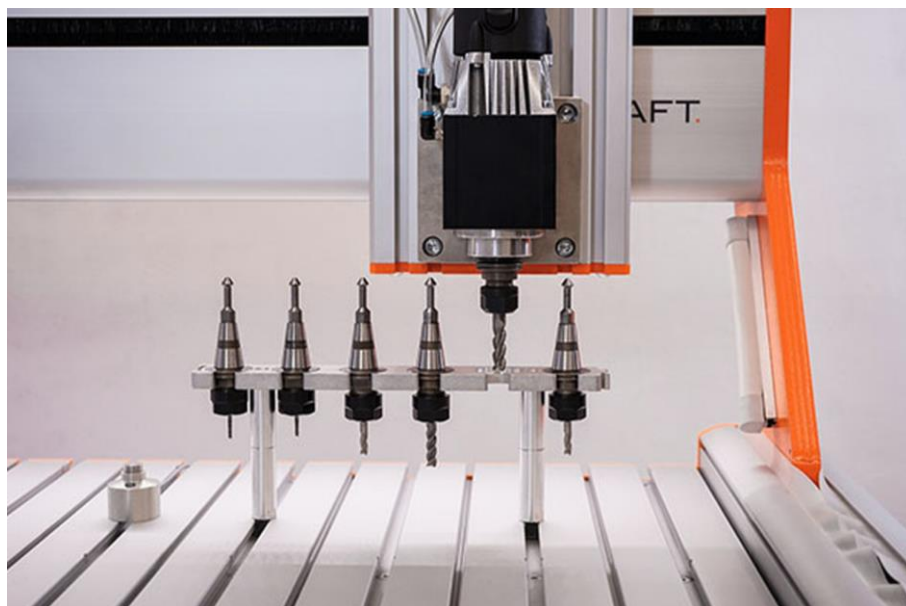


Obr. 23 Výkres sestavy stolní frézky [13]

## 4. Rešerše vřeten s AVN pro menší stroje

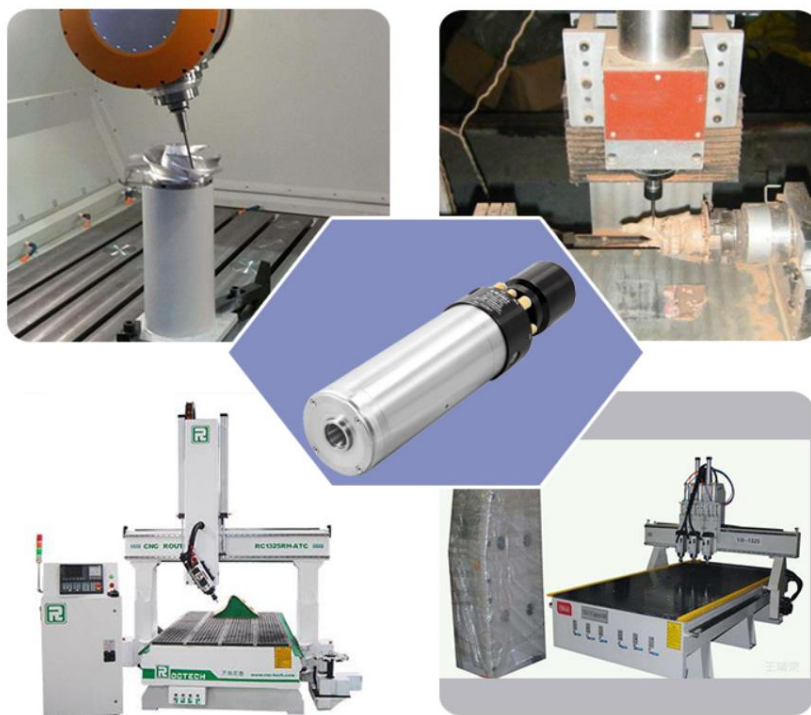
Rešerše se zabývá vřeteny a zásobníky, které velikostně a výkonově odpovídají frézce, na kterou je tato práce zaměřená. Vřeteno má výkon 400 W, na základě čehož bylo rozhodnuto, že využijeme nástrojový držák ISO 20.

Německá firma STEPCRAFT nabízí adaptér pro nástrojové držáky ISO 20, který lze přidělat na jejich vřetena o výkonu 800-1000 W. Upínání nástroje je zde realizováno pomocí stlačeného vzduchu. Cena tohoto adaptéru s příslušenstvím je 599 € a cena vřeten se dle typu pohybuje mezi 229 až 418 €. Výrobce prodává i celý komplet za 835 €. V nabídce také mají zásobník typu pick-up pro 6 nástrojů. Tato vřetena dle konstrukce odpovídají spíše hobby nebo občasnému využití. [14]



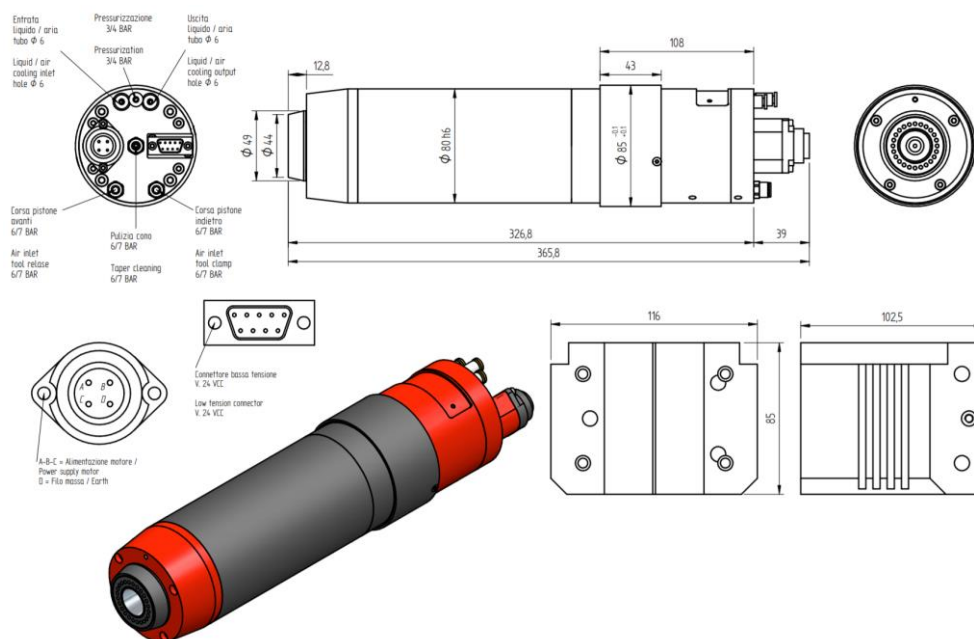
*Obr. 24 Vřeteno s AVN a zásobník nástrojů od společnosti STEPCRAFT [14]*

Další společností, která nabízí vřeteno pro ISO 20 s AVN je čínská firma MORET, která se zabývá výrobou vřeten pro obrábění dřeva, kovů, kamenů, tvorbu PCB, vrtaček pro dentisty a micro vřeten. V nabídce pro ISO držáky mají vřeteno o výkonu 3,7 kW, které je již chlazeno vodou. Jeho cena je 1860 \$. Oproti firmě Stepcraft se jedná se již o profesionální průmyslové vřeteno, u něhož výrobce udává házivost 0,001 mm. Otáčky tohoto vřetene mohou dosahovat až 40 000 ot/min. [15]



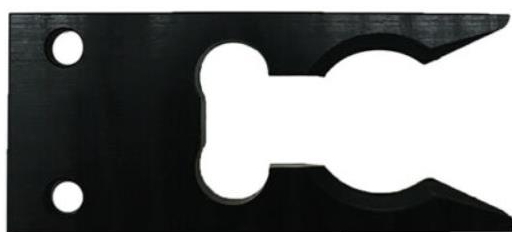
Obr. 25 Vřeteno od firmy Moret a jeho využití [15]

Italská firma Elte nabízí širokou škálu vřeten pro ISO 20 nástrojové držáky. Nabízí vřetena s výkonem od 0,75 do 1,4 kW, dále si zákazník může vybrat mezi verzí chlazenou vzduchem či kapalinou, a jestli bude vřeteno v kruhovém tubusu nebo v čtyřhranném těle. Opět se jedná o profesionální vřetena pro průmyslové využití. Výrobce na svých stránkách neudává cenu. [16]



Obr. 26 Tubusové vřeteno firmy Elte [16]

Kromě firmy Stepcraft nebyl nalezen jiný výrobce, který by nabízel i zásobníky na nástrojový držák ISO 20. Lze ale koupit plastové držáky různých tvarů na jednotlivé nástroje, z kterých se dá snadno sestavit pick-up zásobník. Cena takového držáku se pohybuje na webu ebay.com od 300 do 2000 Kč za kus. [17]



Obr. 27 Držáky pro ISO 20 [17]

## 5. Návrh vřetene s AVN

Před samotným návrhem vřetene je nutné znát, za jakých podmínek bude vřeteno použito, a proto je zapotřebí spočítat řezné podmínky. Řezné podmínky vychází z omezení konstrukce frézky, které byly dány v diplomové práci [13], jež se konstrukcí zabývala.

### 5.1. Řezné podmínky

Maximální řezné podmínky jsou stanoveny pro obrábění slitin hliníku nástrojem o maximálním průměru 7 mm a hloubkou záběru 2 mm. Veškeré parametry potřebné k výpočtu jsou shrnuty v následující tabulce: [13]

Měrný řezný odpor	$K_{c11}$	700 MPa
Nárůst měrné řezné rychlosti	$m_c$	0,25
Průměr nástroje	$D$	7 mm
Počet zubů	$z$	2
Posuv na zub	$s_z$	0,08 mm
Hloubka záběru	$a_p$	2 mm
Šířka záběru	$a_e$	7 mm
Řezná rychlost	$v_c$	100 m/min
Nástrojový úhel čela	$\gamma_0$	0°
Úhel nastavení ostří	$\kappa_r$	90°

Ze zadaných hodnot se spočítají:

- otáčky vřetene

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 100}{\pi \cdot 7} = 4547 \frac{ot}{min} \quad (5.1)$$

- rychlost posuvu při frézování

$$v_f = s_z \cdot z \cdot n = 0,08 \cdot 2 \cdot 4547 = 727,57 \frac{m}{min} \quad (5.2)$$

- střední tloušťka třísky při frézování

$$h_m = s_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} = 0,08 \cdot \sqrt{\frac{7}{7}} = 0,08 \text{ mm} \quad (5.3)$$

- řezný odpor

$$k_c = k_{c11} \cdot s_z^{-m_c} = 700 \cdot 0,08^{-0,25} = 1316,25 \text{ MPa} \quad (5.4)$$

- potřebný výkon

$$P = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_f \cdot k_c}{60 \cdot 10^6} = \frac{2 \cdot 7 \cdot 727,57 \cdot 1316,21}{60 \cdot 10^6} = 0,223 \text{ kW} \quad (5.5)$$

- řezná síla na zub

$$F_c = k_c \cdot a_p \cdot s_z = 1316,21 \cdot 2 \cdot 0,08 = 210,59 \text{ N} \quad (5.6)$$

- kroutící moment

$$M_k = F_c \cdot \frac{D}{2 \cdot 1000} = 210,59 \cdot \frac{7}{2 \cdot 1000} = 0,74 \text{ Nm} \quad (5.7)$$

Použité elektrovřeteno na frézce má výkon 400 W, výrobcem udaný maximální kroutící moment 0,5 Nm a otáčky řízené v rozmezí 3000–12000 ot/min. Z výpočtu vyplývá, že výkon vřetene je dostatečný, ale nedosahuje potřebného kroutícího momentu. Aby mohl být využit elektromotor z tohoto vřetene, je nutné ho zpřevodovat do pomala a proto bude v následujících výpočtech počítáno s převodem  $i = 2$ . Takto se získají otáčky v rozsahu 1500 – 6000 ot/min a kroutící moment 1 Nm.



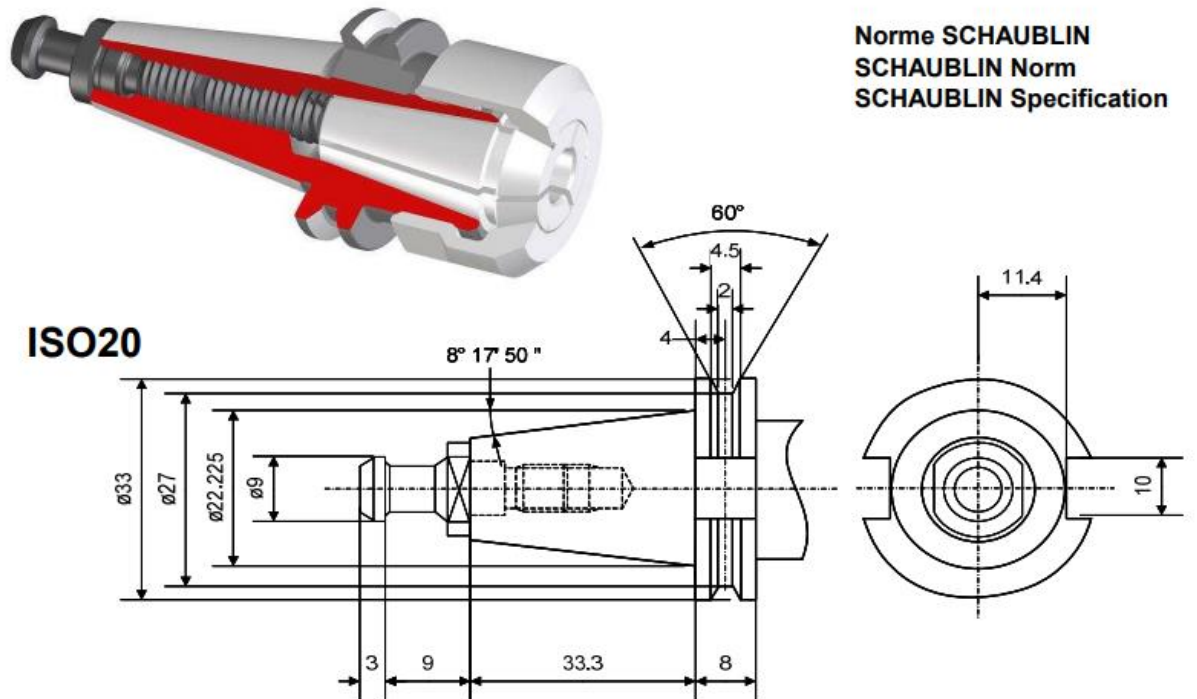
*Obr. 28 Použité vřeteno s PWM regulací [13]*

## 5.2. Upínací mechanismus

Jak bylo znázorněno na Obr. 20, v praxi se používají dva typy upínání ISO kuželů. Většina vřeten pro nástrojový držák ISO, který bude použit, využívá kleštinový upínač. V návrhu tohoto vřetene bude tedy použit kleštinový upínač.

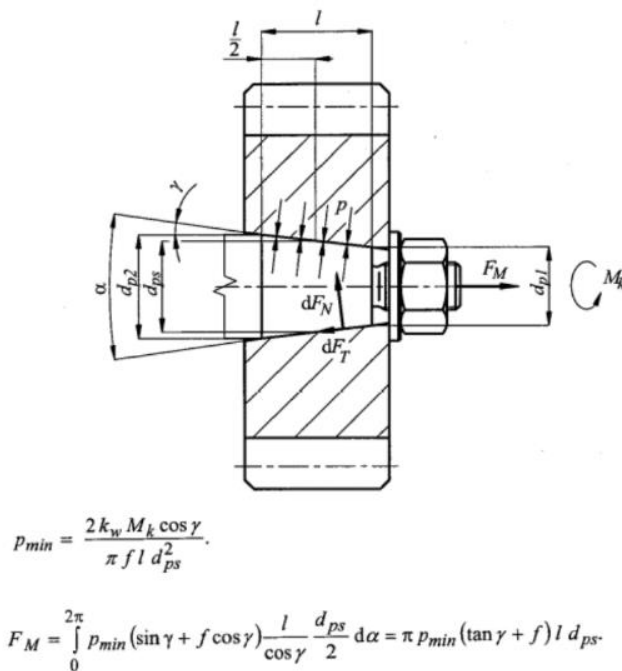
Jelikož norma ČSN ISO 9270-1, která udává rozměry a tolerance pro nástrojové držáky, obsahuje pouze velikosti 30 – 60, rozměry pro ISO 20 nástrojový držák budou převzaty od švýcarského výrobce Schaublin, jež se zabývá výrobou upínačů a přesných ložisek.





Obr. 29 Rozměry ISO 20 nástrojového držáku [18]

Jelikož vřeteno nebude mít zpětnou vazbu o poloze (natočení), nemohou se k přenosu kroučícího momentu použít drážky pro kameny na nástrojovém držáku. Veškerý výkon se bude přenášet třecí silou na kuželové ploše. Pro tento přenos je nutné spočítat axiální sílu. K výpočtu bude použit vzorec na výpočet svěrného spoje s kuželovou stykovou plochou.



Obr. 30 Výpočet svěrného spoje s kuželovou stykovou plochou [9]

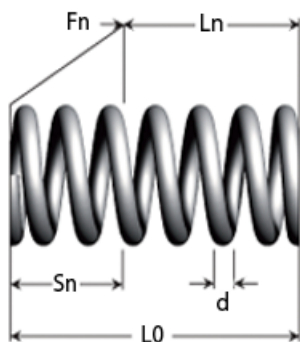
Parametry potřebné pro výpočet:

$d_1$	= 20	mm
$d_2$	= 12,5	mm
$l$	= 30	mm
$\gamma$	= 8,2972	°
$f$	= 0,05	-
$k_w$	= 1,5	-
$M_k$	= 1	Nm
$d_{ps}$	= 16,25	mm

$$p_{min} = \frac{2 \cdot k_w \cdot M_k \cdot \cos \gamma}{\pi \cdot f \cdot l \cdot d_{ps}^2} = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot \cos(8,2972)}{\pi \cdot 0,05 \cdot 0,03 \cdot 0,01625^2} = 2,39 \text{ MPa} \quad (5.8)$$

$$F_M = \pi \cdot p_{min} \cdot (\tan \gamma + f) \cdot l \cdot d_{ps} = \pi \cdot 2,39 \cdot 10^6 \cdot (\tan(8,2972) + 0,05) \cdot 0,03 \cdot 0,01625 = 716 \text{ N} \quad (5.9)$$

Na základě tohoto výpočtu byla vybrána pružina, jejíž maximální síla je 1068,92 N a tuhost pružiny je 59,23 N/mm. Aby byla vyvinuta síla 716 N, pružina se musí předeprnout.



<b>d</b> - Průměr drátu (mm)	4,00
<b>De</b> - Vnější průměr (mm)	24,00
<b>Di</b> - Vnitřní průměr (mm)	16,00
<b>L0</b> - Délka bez zatížení (mm)	49,00
<b>Ln</b> - Max. délka při zatížení (mm)	31,00
<b>Sn</b> - Maximální zdvih (mm)	18,00
<b>Fn</b> - Maximální zatížení při Ln (N)	1068,92
<b>R</b> - Tuhost pružiny (N/mm)	59,23

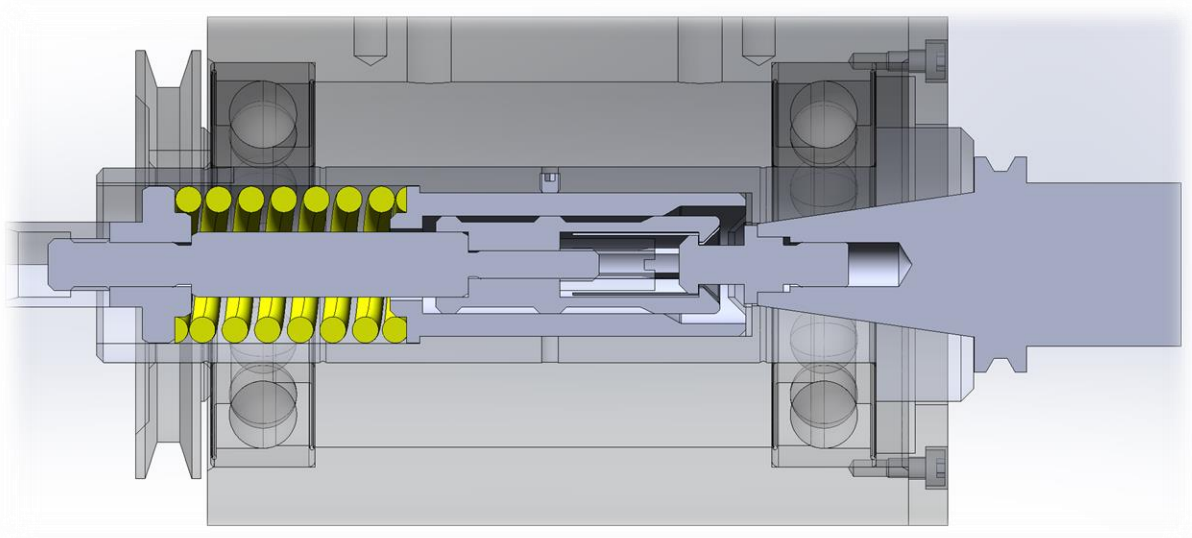
Obr. 31 Pružina a její parametry [19]

$$y = \frac{F_M}{R} = \frac{716}{59,23} = 12,09 \text{ mm} \quad (5.10)$$

Aby byla vyvozena dostatečná síla k přenosu kroutícího momentu na nástroj, musí být pružina stlačena o 12,09 mm. Při uvolnění nástroje z vřetene musí být pružina stlačena ještě o další 3 mm. Výsledná síla působící na pružiny k uvolnění nástroje bude:

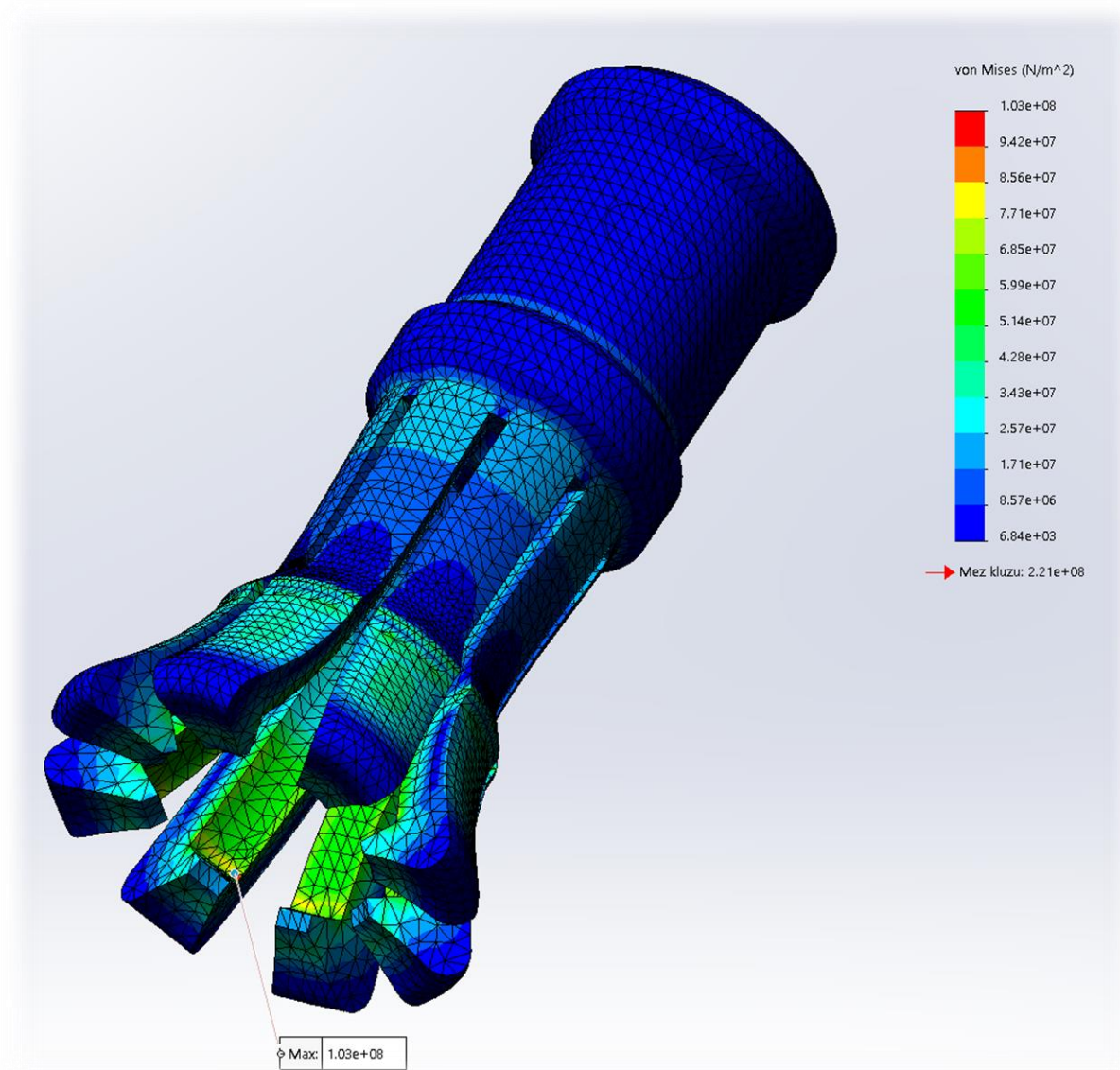
$$F_{M \text{ MAX}} = (y + 3) \cdot R = (12,09 + 3) \cdot 59,23 = 893,7 \text{ N} \quad (5.11)$$

Vypočtená síla  $F_{M \text{ MAX}}$  bude potřeba k výpočtu uvolňovacího mechanismu.



Obr. 32 Upínací část vřetene s nástrojovým držákem

Upínací kleština bude vzhledem ke svým malým rozměrům a tenké tloušťce jednoznačně nejvíce namáhanou částí celého vřetene. Pro kontrolu napětí byl vytvořen simulační model MKP. Při tvorbě modelu bylo zadáno zatížení (vypočtených 716 N) jako celková síla působící na osazení, které je v kontaktu s čepem nástrojového držáku. Dále byl brán v potaz kontakt mezi pouzdem kleštiny a kleštinou, kde pouzdro kleštiny bylo nastaveno jako tuhé. Tento kontakt zároveň zaručuje sevření kleštiny, vtažení nástroje a zabraňuje jejímu otevření.

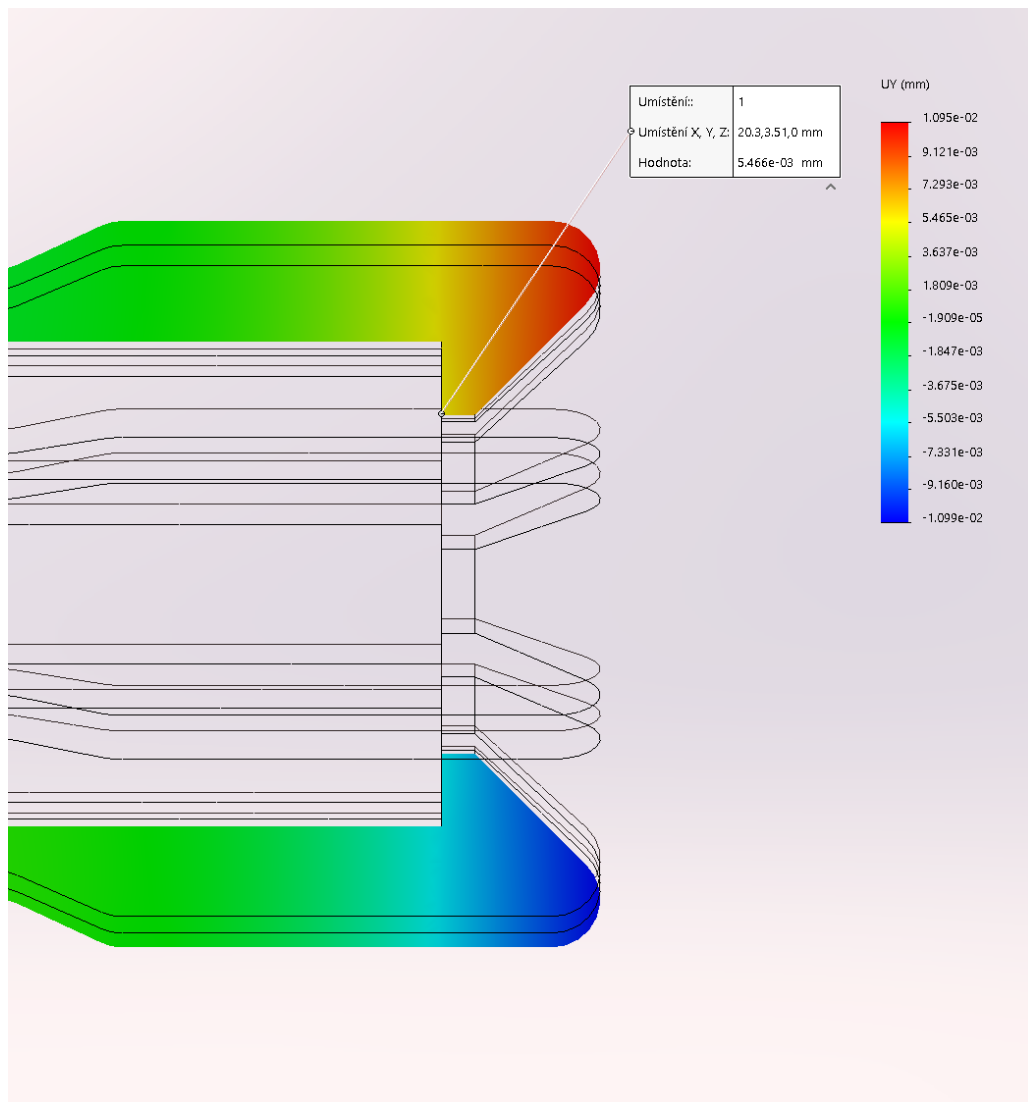


Obr. 33 Výpočet napětí kleštiny pomocí MKP

Po simulaci vyšlo největší napětí 103 MPa právě na hraně v osazení. Jelikož zde není plynulý přechod, došlo zde ke koncentraci napětí, tudíž se dá předpokládat, že reálné napětí bude nižší než vypočtené.

Další důležitou informací je deformace kleštiny, aby nedošlo k uvolnění nástroje. Jelikož se jedná o rotačně symetrický díl, lze předpokládat, že každá část kleštiny se bude deformovat stejně. Proto se deformace vyšetří v řezu a bude se sledovat posunutí pouze v rovině řezu. V osazení je maximální deformace  $5,46 \cdot 10^{-3}$  mm. Aby došlo ke ztrátě kontaktu mezi kleštinou a čepem nástrojového držáku, musela by deformace být minimálně 0,4 mm.

Na základě výpočtů byl pro kleštinu zvolen materiál S355J2. Tato ocel má pro výrobky do tloušťky stěny 16 mm udávanou mez kluzu 355 MPa.



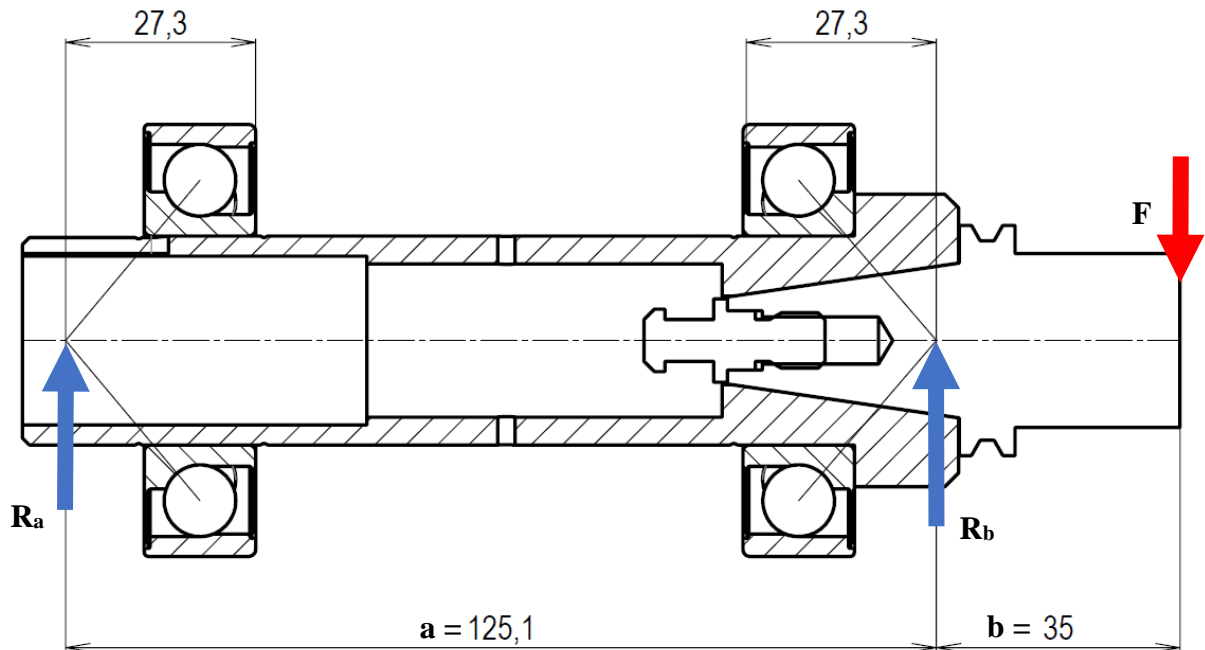
Obr. 34 Výpočet deformace kleštiny pomocí MKP

### 5.3. Ložiska

Kvůli malému zástavbovému prostoru zde byla zvolena kuličková ložiska s kosoúhlým stykem. Tato ložiska mají i výhodu v tom, že působením axiální síly lze vymezit vůle mezi kroužky a valivými elementy, nastavit předpětí a dosáhnout tak vyšší přesnosti obrábění. Ideální by bylo použít vysoce přesná ložiska, ale vzhledem k jejich vysoké ceně musel být nalezen levnější kompromis. Jelikož vřeteno nebude mazáno aktivně, vybíralo se pouze z ložisek, které mají oboustranné těsnění a jsou předem naplněna tukem. Dalším kritériem výběru byl co největší úhel kontaktu tak, aby se virtuální reakce posunuly co nejbližší k bodu obrábění. Na základě těchto parametrů bylo vybráno kosoúhlé ložisko 7206 BE-2RZP. Kosoúhlá ložiska se montují v páru a v tomto případě budou namontována do „O“.

### 5.3.1. Kontrola životnosti

U ložisek musíme zkontrolovat jejich životnost, která je dána jejich dynamickou únosností a zatížením na jednotlivá ložiska. Jelikož není stanovena maximální délka nástroje, bude řezná síla ( $F = 211 \text{ N}$ ) umístěna na konec nástrojového držáku.



Obr. 35 Schéma výpočtu reakcí v ložiskách

$$R_a + R_b = F \quad (5.12)$$

$$R_b \cdot a = F \cdot (a + b) \quad (5.13)$$

$$R_b = \frac{F \cdot (a + b)}{a} = \frac{211 \cdot (125,11 + 35)}{125,1} = 270 \text{ N} \quad (5.14)$$

$$R_a = F - R_b = 211 - 270 = -59 \text{ N} \quad (5.15)$$

Po určení sil na jednotlivá ložiska, lze spočítat jejich životnost dle rovnice (2.2). Jelikož jsou obě ložiska stejná, stačí zkontrolovat pouze více zatěžované ložisko. Dynamická únosnost ložiska je  $C = 22\,500 \text{ N}$ , otáčky vřetene jsou převzaty z výpočtu řezných podmínek. V tomto případě ekvivalentní zatížení  $P = R_b$ , protože není počítáno s axiálními silami.

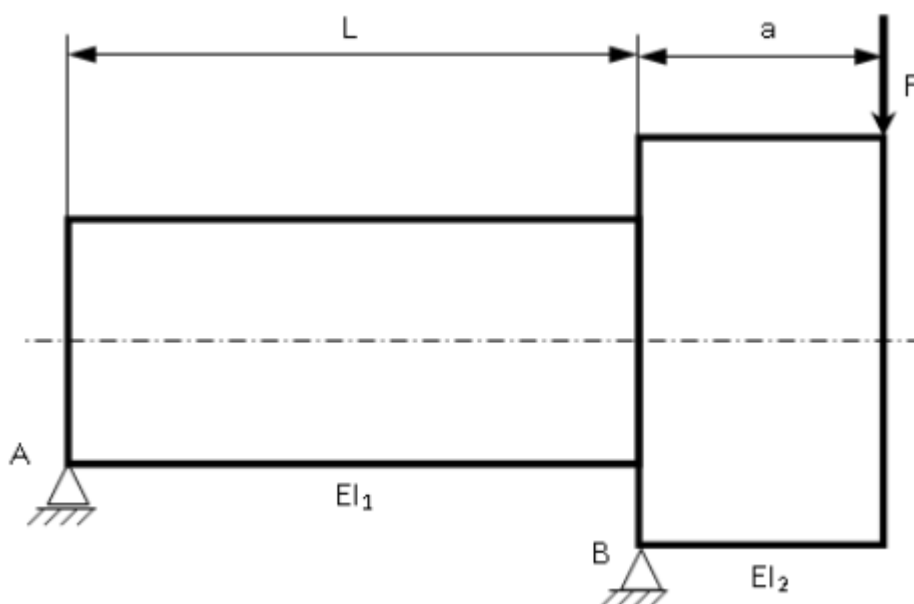
$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{22500}{370}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 4547} = 2,1 \cdot 10^6 \text{ hod} \quad (5.16)$$

Sice je výpočet zjednodušen, protože zde není počítáno s axiálními silami, které při obrábění mohou vznikat, a není známa délka nástroje, ale únosnost ložisek je oproti zatěžujícím silám tak velká, že životnost ložisek bude více než dostačující.

### 5.3.2. Ověření optimální vzdálenosti ložisek.

Aby se docílilo co největší přesnosti obrábění, je nutné zvolit správnou vzdálenost mezi ložisky. S větší vzdáleností ložisek se budou zmenšovat síly v ložiskách a tím i jejich deformace, ale naroste průhyb vřetene. Proto je nutné zvolit optimální vzdálenost. Celková deformace je tedy dána součtem deformace vřetene a deformací ložisek.

Výpočet je rozdělen na dvě části. V první části se počítá průhyb vřetene a ložiska se považují za tuhá. V druhé části se počítá deformace ložisek a vřeteno je považováno za tuhé. Jelikož je vřeteno poměrně tvarově složité a k výpočtu je potřeba parametrické vyjádření průhybové čáry, vytvoří se výpočtový zjednodušený model.



Obr. 36 Výpočtový model vřetene [20]

Nejprve se musí určit kvadratické momenty výpočtového modelu. V první části se vypočte kvadratický moment v ohybu pomocí vnějšího průměru  $d_1 = 30$  mm a vnitřního otvoru  $D = 24,2$  mm. Jelikož je reakce předního ložiska skoro na hraně vřetene, bude se ve výpočtu počítat i s nástrojovým držákem, který bude vždy přítomen ve vřetení. Proto kvadratický moment v ohybu druhé části bude vypočten z menšího průměru nástrojového držáku  $d_2 = 22$  mm. Toto zjednodušení lze udělat, protože tuhost části dva má menší vliv na výpočet ideální vzdálenosti ložisek než tuhost části jedna.

$$I_1 = \frac{\pi \cdot (d_1^4 - D^4)}{64} = \frac{\pi \cdot (30^4 - 24,2^4)}{64} = 22\,913 \text{ mm}^4 \quad (5.17)$$

$$I_2 = \frac{\pi \cdot d_2^4}{64} = \frac{\pi \cdot 22^4}{64} = 11\,493 \text{ mm}^4 \quad (5.18)$$



Obr. 37 Průhyb vřetene zatíženého silou  $F$  za předpokladu, že ložiska jsou tuhá [20]

Nyní lze určit deformaci vřetene v závislosti na různých ložiskových vzdálenostech  $L$  pomocí rovnice. (5.19)

$$y_N = \frac{F \cdot a^2 \cdot L}{3 \cdot E \cdot I_1} + \frac{F \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot I_2} \quad (5.19)$$

V druhé části výpočtu je potřeba spočítat deformace jednotlivých ložisek a jejich vliv na výsledný průhyb. Ve výpočtu se vřeteno považuje za dokonale tuhé a bere se v potaz pouze deformace ložisek. Výsledná deformace se určí z podobnosti trojúhelníků.



Obr. 38 Průhyb vřetene za předpokladu, že ložiska jsou poddajná a vřeteno tuhé [20]

$$y_P = \frac{(y_A + y_B) \cdot (a + L)}{L} - y_a \quad (5.20)$$

Pružné deformace kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem se určí podle rovnice. (5.21)

$$y_{\text{ložiska}} = \frac{44 \cdot 10^{-5}}{\cos \alpha} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q^2}{D_w}} \quad (5.21)$$

Kde úhel  $\alpha = 40^\circ$  je úhel styku ložiska,  $D_w = 10,3 \text{ mm}$  je průměr valivého elementu a  $Q$  je síla na valivý element, která se spočte dle rovnice (5.22).



$$Q = \frac{5 \cdot F_r}{i \cdot z \cdot \cos \alpha} \quad (5.22)$$

$F_r$  je zatížení ložiska v radiálním směru,  $i = 1$  je počet řad valivých tělísek a  $z = 12$  je počet valivých tělísek v jedné řadě.

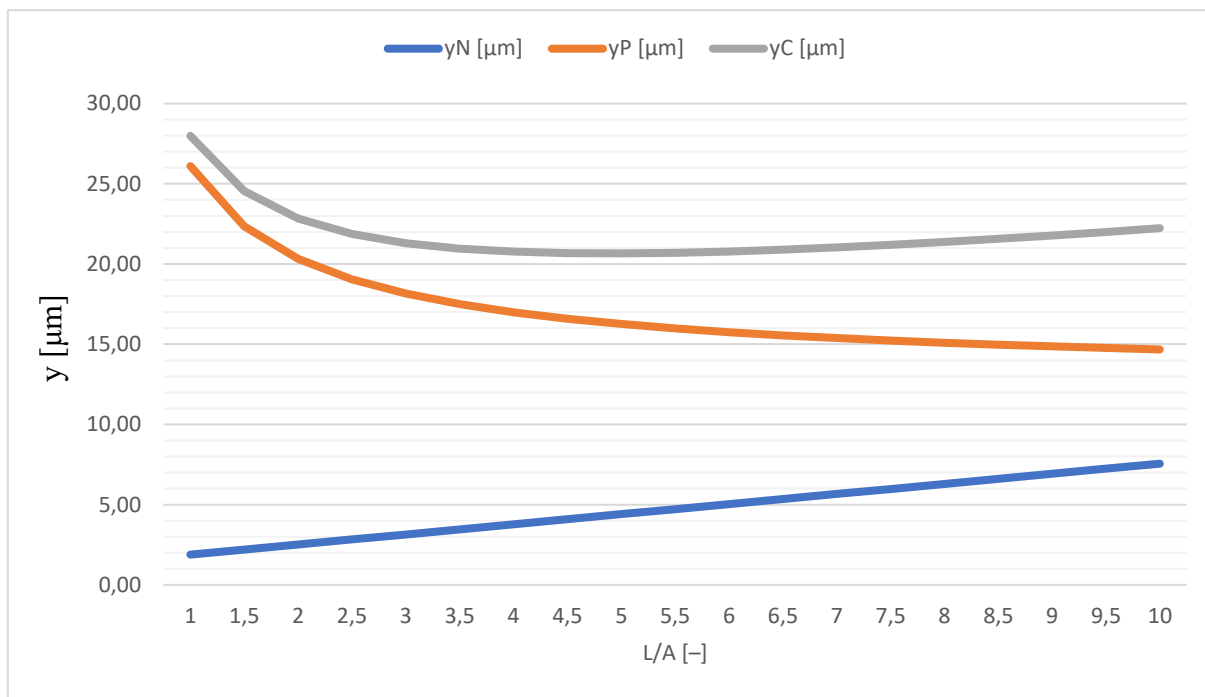
Optimální vzdálenost ložisek vřetene je, když součet deformace ložisek a vřetene je nejmenší. Toto lze určit graficky v závislosti na hledané vzdálenosti ložisek  $L$  nebo poměru  $L/a$ . [20]

$$y_C = y_N + y_P \quad (5.23)$$

Z výše uvedených vzorců a hodnot je stanovena tabulka a graf, kde se sleduje deformace vřetene, ložisek a jejich součet.

Tabulka 1 Hodnoty deformace ložisek a vřetene, jejich součet v závislosti na vzdálenosti ložisek

L/a [-]	L [mm]	$y_N$ [ $\mu\text{m}$ ]	$y_A$ [ $\mu\text{m}$ ]	$y_B$ [ $\mu\text{m}$ ]	$y_P$ [ $\mu\text{m}$ ]	$y_C$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	35,0	1,88	6,25	9,93	26,10	27,99
1,5	52,5	2,20	4,77	8,79	22,35	24,55
2	70,0	2,51	3,94	8,19	20,33	22,84
2,5	87,5	2,83	3,39	7,83	19,05	21,87
3	105,0	3,14	3,01	7,57	18,16	21,30
3,5	122,5	3,46	2,71	7,39	17,50	20,96
4	140,0	3,77	2,48	7,26	16,99	20,77
4,5	157,5	4,09	2,29	7,15	16,59	20,68
5	175,0	4,40	2,14	7,06	16,26	20,66
5,5	192,5	4,72	2,01	6,99	15,99	20,70
6	210,0	5,03	1,89	6,93	15,75	20,79
6,5	227,5	5,35	1,80	6,88	15,55	20,90
7	245,0	5,66	1,71	6,84	15,38	21,04
7,5	262,5	5,98	1,63	6,80	15,23	21,20
8	280,0	6,29	1,56	6,76	15,09	21,38
8,5	297,5	6,61	1,50	6,73	14,97	21,58
9	315,0	6,92	1,45	6,71	14,86	21,78
9,5	332,5	7,24	1,39	6,68	14,76	22,00
10	350,0	7,55	1,35	6,66	14,67	22,23



Obr. 39 Závislost deformace vřetene na vzdálenosti ložisek

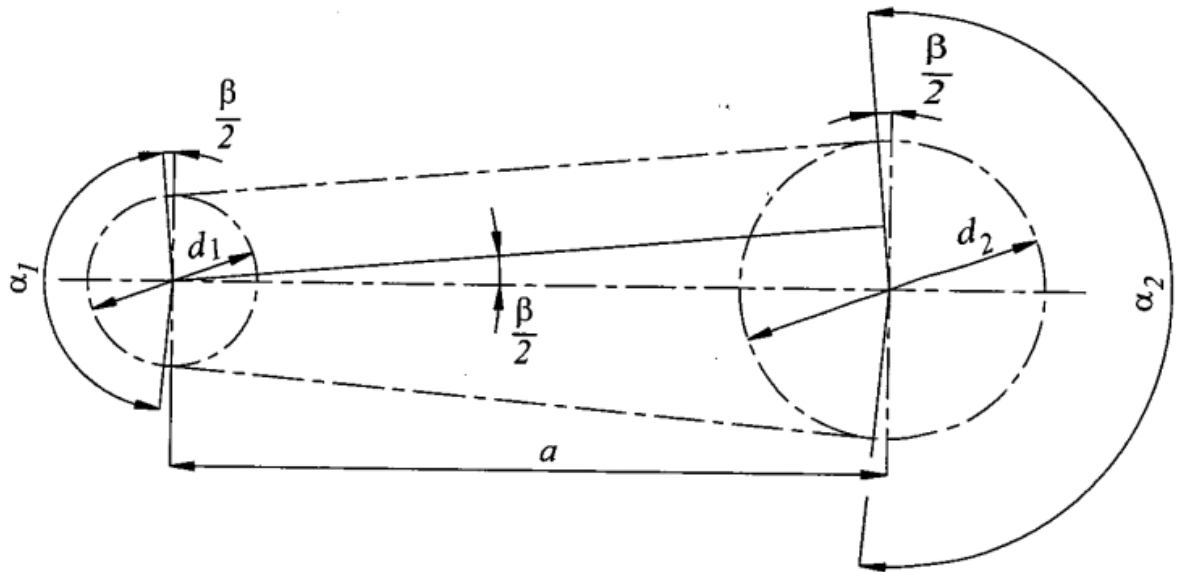
Z vypočtených hodnot je patrné, že ideální vzdálenost ložisek  $L$  je 3,5 – 6,5násobek vzdálenosti  $a$ , čemuž odpovídá  $L = 122,5 - 227,5$  mm. Vřeteno má vzdálenost ložisek 125,1 mm, takže se nachází ve vypočteném intervalu.

## 5.4. Návrh pohonu

Jak bylo uvedeno v kapitole zabývající se výpočtem řezných podmínek, bude využit původní elektromotor, který se nacházel na frézce. Elektromotor má výkon 400 W, otáčky regulovatelné v rozsahu 6000 – 12000 ot/min a kroutící moment 1 Nm. Výkon z motoru na vřeteno bude přenášen pomocí klínového řemenu, který zajistí převod  $i=2$ .

### 5.4.1. Výpočet klínového řemenu

Kvůli malému zástavbovému prostoru byl vybrán řemen s co nejmenší možnou řemenicí a schopností přenést výkon z elektromotoru na vřeteno. Tuto podmínku splňoval klínový řemen od firmy STRONGBELT s profilem 6/Y a minimálním průměrem řemenice 28 mm. V konstrukci byly tedy zvoleny řemenice o jmenovitém průměru 30 mm a 60 mm. Předběžná osová vzdálenost byla zvolena 75 mm. Tato vzdálenost bude moci být upravena pomocí stavěcích šroubů tak, aby bylo možné zaručit napnutí řemene pro jeho správnou funkčnost. Výkon, který může malá řemenice přenášet při 6000 ot/min, výrobce udává 0,41 kW. Z průměrů řemenic a osové vzdálenosti je nyní nutné určit délku řemene.



Obr. 40 Geometrie řemenového převodu [21]

$$\sin \frac{\beta}{2} = \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot a} = \frac{60 - 30}{2 \cdot 75} \quad (5.24)$$

$$\beta = 23^\circ = 0,403 \text{ rad}$$

$$L = \pi \cdot \frac{d_1 + d_2}{2} + \frac{d_2 - d_1}{2} \cdot \beta + 2 \cdot a \cdot \cos \frac{\beta}{2}$$

$$L = \pi \cdot \frac{30 + 60}{2} + \frac{60 - 30}{2} \cdot 0,403 + 2 \cdot 75 \cdot \cos \frac{0,403}{2} \quad (5.25)$$

$$= \mathbf{294,3 \text{ mm}}$$

Vypočtenou délku řemene je nutné přepočítat na vnitřní délku, kterou udává výrobce. Vnitřní délku řemene získáme, když od vypočtené délky odečteme 15 mm daných výrobcem.

$$L_i = L - 15 = 294,3 - 15 = \mathbf{279,3 \text{ mm}} \quad (5.26)$$

Na základě výpočtu byl použit řemen o vnitřní délce 280 mm

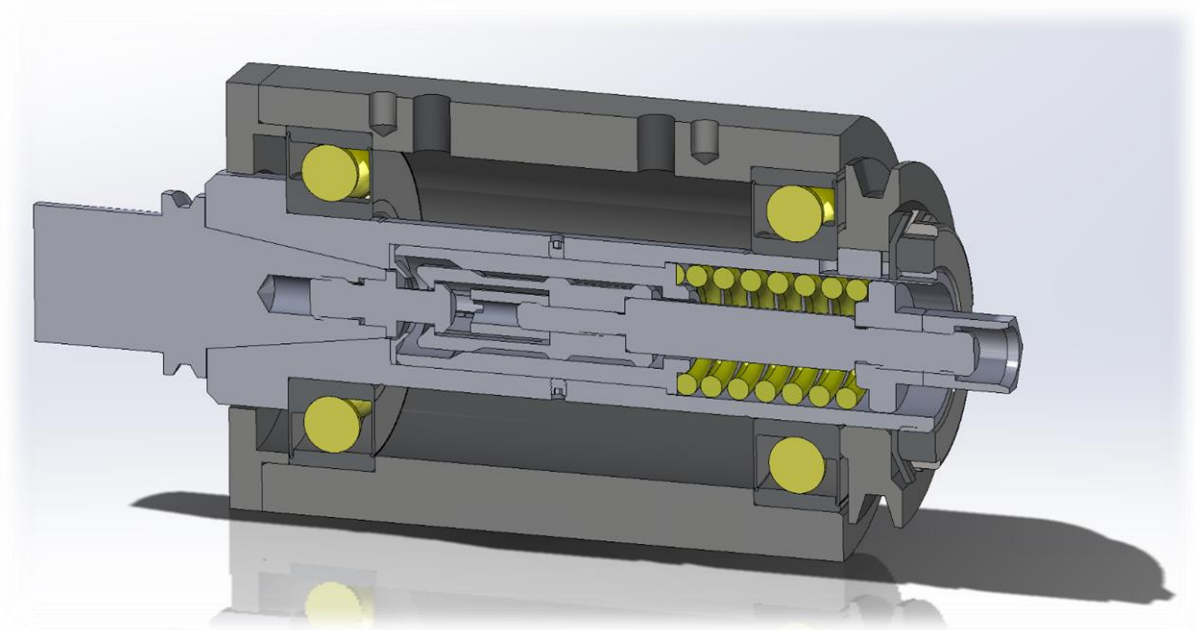
#### 5.4.2. Výpočet spojení perem

Větší řemenice, která bude umístěna na vřetenu, bude přenášet výkon pomocí perového spoje. Jelikož se na hřídeli nachází drážka pro MB podložku, bude využita i pro pero. Drážka má šířku 5 mm, proto bylo použito pero ČSN 022562 o rozměrech 5x5x8. U pera bude provedena kontrola na dovolený kontaktní tlak a výpočet smykového napětí.

$$p = \frac{4 \cdot M_k}{h \cdot l_p \cdot d} = \frac{4 \cdot 2000}{5 \cdot 3 \cdot 30} = 17,8 \text{ MPa} \quad (5.27)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot M_k}{d \cdot b \cdot l_p} = \frac{2 \cdot 2000}{30 \cdot 5 \cdot 3} = 8,9 \text{ MPa} \quad (5.28)$$

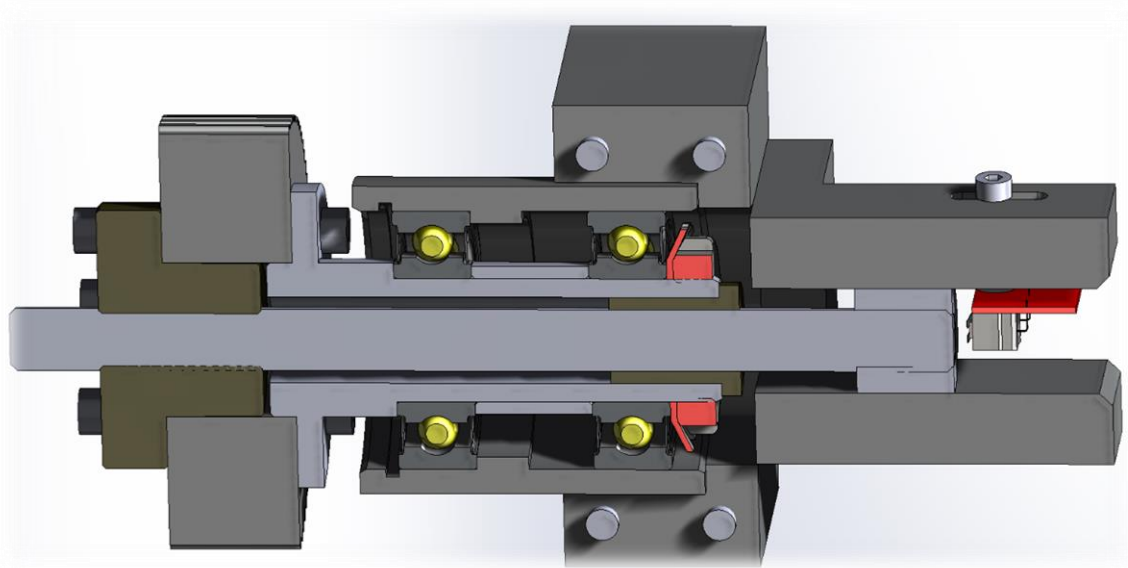
Dovolený tlak  $p_D$  pro neposuvný ocelový náboj je 120 MPa a dovolené napětí ve smyku je 30 MPa. I když se jedná o nestandardní použití tohoto rozměru pera na hřídel o průměru 30 mm, obě podmínky jsou splněny.



Obr. 41 Řez vřetenem

## 5.5. Stlačovací mechanismus

Aby mohla proběhnout výměna nástroje ve vřetenu, je nutné stlačit upínací pružinu tak, aby se kleštiny rozevřely a uvolnily nástroj. Ve většině průmyslových řešení je využito stlačeného vzduchu, ale stolní frézky ne vždy mají přístup ke stlačenému vzduchu, proto bude celý mechanismus čistě elektrický.

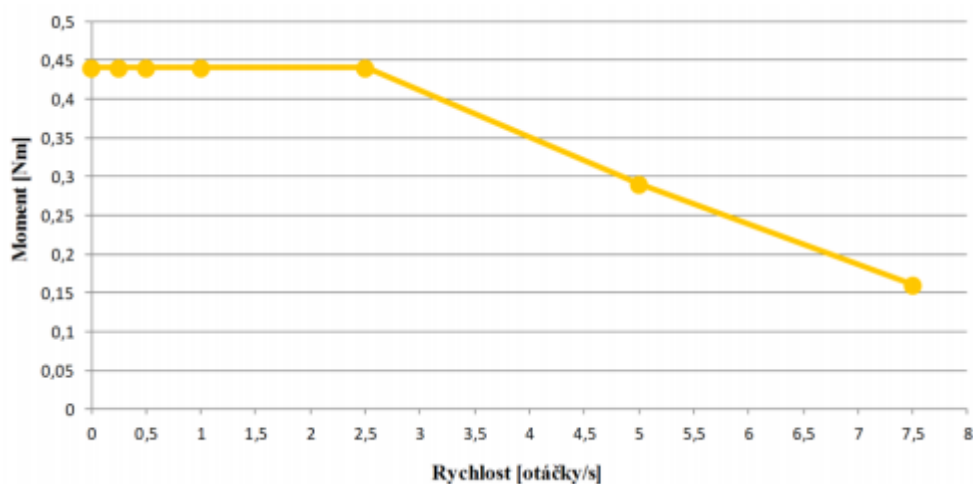


Obr. 42 Řez stlačovacím mechanismem

Mechanismus je založen na krokovém motoru, který přes ozubený řemen pohání trapézovou matici s trapézovou tyčí, jež má zablokovanou rotaci. Tím dochází k axiálnímu posuvu do vřetene, kde trapézová tyč stlačí upínací pružinu.

### 5.5.1. Návrh pohonu

Pro stlačování byla vybrána trapézová tyč o průměru 10 mm a stoupáním 2 mm/ot, k pohonu bude použit krokový motor SX17-1005LQCEF. Jedná se o stejný krokový motor, jaký je aplikován k pohonu jednotlivých os frézky.

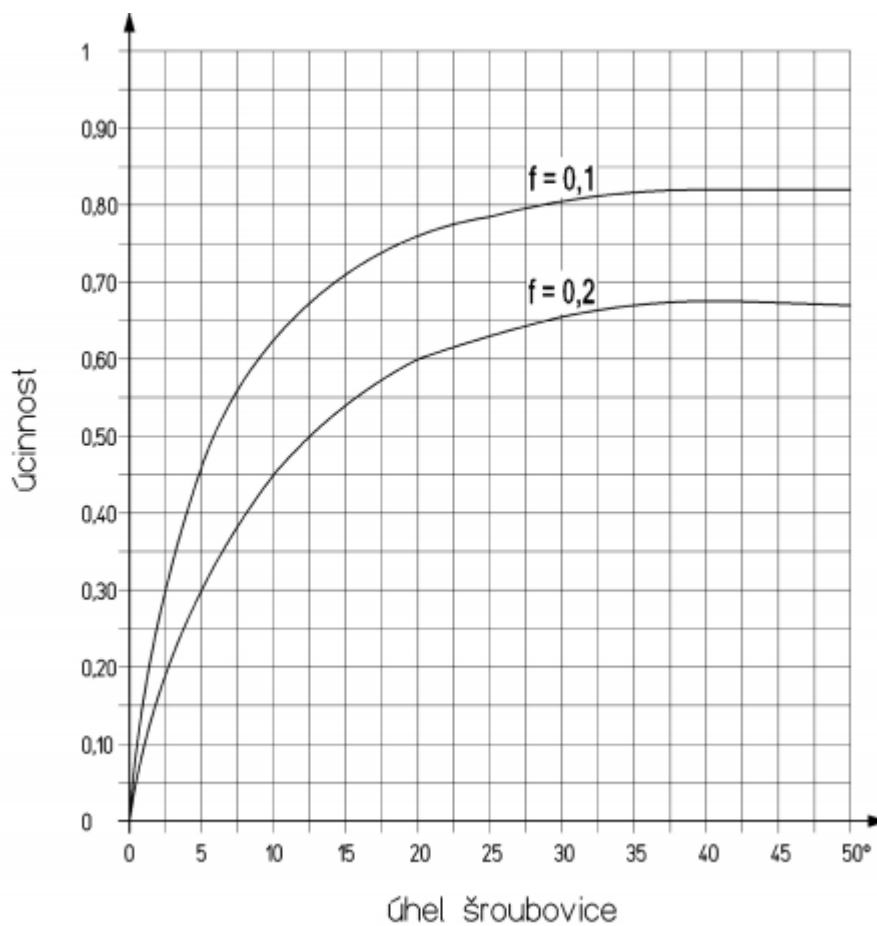


Obr. 43 Momentová charakteristika krokového motoru SX17-1005LQCEF [13]

Z momentové charakteristiky je patrné, že motor má maximální kroutící moment 0,43 Nm. Je nutné stanovit potřebný kroutící moment na stlačení pružiny a z toho spočítat převod mezi motorem a trapézovou maticí.

$$M_k = \frac{F \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} = \frac{893,7 \cdot 2}{2000 \cdot \pi \cdot 0,26} = 1,1 \text{ Nm} \quad (5.29)$$

Kde F je axiální síla působící od stlačené pružiny, P je stoupání trapézové tyče a  $\eta$  je účinnost, která je určena z grafu výrobce. Úhel šroubovice je  $4^{\circ}02'$  a uvažuje se horší koeficient tření  $f=0,2$ .



Obr. 44 Účinnost trapézového pohybového šroubu [22]

Při pohonu elektromotory, bez možnosti přetížení, se tato hodnota násobí koeficientem 1,5 pro získání jmenovitého momentu.

$$M_{k \max} = M_k \cdot 1,5 = 1,1 \cdot 1,5 = 1,65 \text{ Nm} \quad (5.30)$$

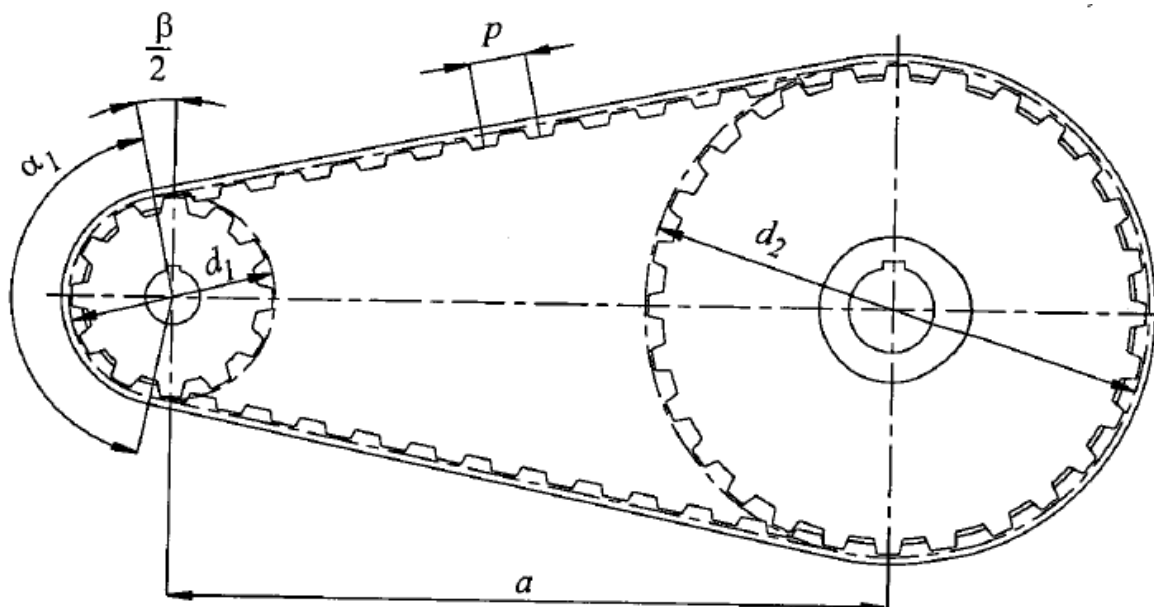
Z vypočteného momentu lze určit potřebný převod ozubeným řemenem.

$$i = \frac{M_{k \max}}{M_{\text{motoru}}} = \frac{1,65}{0,43} = 3,84 \quad (5.31)$$

Jelikož se ve výpočtu nepočítalo s třením, volený převodový poměr bude vyšší, aby se zajistila bezpečnost chodu. S ohledem na zástavbový prostor byl zvolen ozubený řemen HTD 3M a řemenice s počtem zubů  $z_1 = 16$  a  $z_2 = 72$ . Výsledný převodový poměr  $i$  tedy bude 4,5.

### 5.5.2. Výpočet ozubeného řemenu

Pro stanovení délky řemene, je nutné znát roztečné kružnice řemenic a jejich osovou vzdálenost. Malá řemenice s počtem zubů 16 má roztečný průměr  $d_1 = 15,28$  mm a velká řemenice s počtem zubů 72 má roztečný průměr  $d_2 = 68,75$  mm. Osová vzdálenost  $a$  byla předběžně určena na 60 mm.



Obr. 45 Geometrie řemenového převodu s tvarovou vazbou [21]

$$\sin \frac{\beta}{2} = \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot a} = \frac{68,75 - 15,28}{2 \cdot 60} \quad (5.32)$$

$$\beta = 53^\circ = 0,924 \text{ rad}$$

$$L = \pi \cdot \frac{d_1 + d_2}{2} + \frac{d_2 - d_1}{2} \cdot \beta + 2 \cdot a \cdot \cos \frac{\beta}{2}$$

$$L = \pi \cdot \frac{15,28 + 68,75}{2} + \frac{68,75 - 15,28}{2} \cdot 0,924 + 2 \cdot 60 \cdot \cos \frac{0,924}{2} = \mathbf{264,05 \text{ mm}}$$
(5.33)

Na základě výpočtů byl vybrán řemen o roztečné délce 264 mm. Pro dosažení bezvůlového chodu, bude menší řemenice s motorem posuvná, aby se řemen mohl dostatečně napnout.

### 5.5.3. Kontrola ložisek

Rotující trapézová matice s ozubenou řemenicí je uložena ve dvou kuličkových ložiskách SKF 6004-2RSL. Axiálně pevné ložisko bude namáháno velkou axiální silou, proto se provede kontrola na maximální axiální zatížení. Kontrola životnosti nemusí být provedena, protože otáčky hřídele jsou velice malé, takže lze uvažovat, že dochází pouze ke statickému namáhání.

Maximální axiální zatížení ložiska lze podle výrobce spočítat pomocí rovnice. (5.34)

$$F_{a \max} = 2 \cdot 0,0023 \cdot D^{1,7} = 2 \cdot 0,0023 \cdot 42^{1,7} = \mathbf{1,32 \text{ kN}}$$
(5.34)

Ložisko bude zatíženo axiální silou 893,7 N, tudíž ho lze pro tuto aplikaci použít.

## 5.6. Umístění na frézce a krytování

Aby bylo docíleno kolmosti vřetene na pracovní plochu, jsou vřeteno i upínací mechanismus skolíkovány na hliníkovou základní desku, která je součástí osy Z. K desce je upevněn také elektromotor, který pohání vřeteno. Polohu elektromotoru lze nastavit tak, aby došlo k napnutí klínového řemenu. Na desce je také krokový motor pohánějící stlačovací mechanismus. Polohu tohoto motoru lze nastavit pomocí šroubu tak, aby se napnul ozubený řemen.

Jelikož vřeteno obsahuje několik pohyblivých částí, které představují riziko pro obsluhu a také se musí zabránit vnikání třísek při obrábění, je nutné, aby vše bylo zakrytováno. Při navrhování krytu je nejprve nutné určit, jakou technologií bude kryt vyroben.

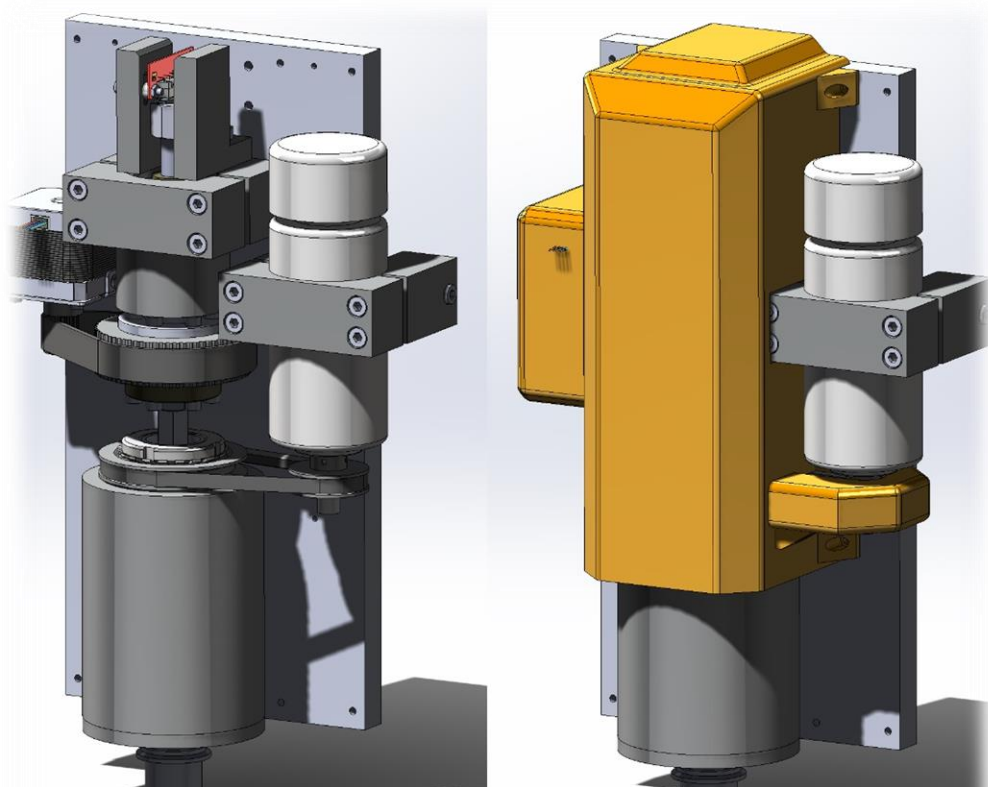
První variantou je vyfrézovat kryt z hliníkového kvádru. Takto vyfrézovaný kryt by měl velkou tuhost a mohl by přesně kopírovat tvar vřetene, protože bychom nebyli téměř nijak omezení jeho tvarem. Tato varianta by ale byla velice drahá, proto nebude použita.



Další možností je vyrobit kryt z plechových dílů, které by se vyřezaly na laseru a poté patřičně naohýbaly. Výroba by byla oproti frézovanému krytu značně levnější, ale také komplikovanější. Navíc bychom nedokázali tak dobře kopírovat tvar vřetene, což by mohlo zapříčinit zvětšení rozměrů. Také by při obrábění mezi jednotlivými plechovými díly mohly vznikat nepříjemné rezonance.

Třetí možností výroby krytu je použití technologie 3D tisku. Tato možnost využívá výhod obou předešlých. Kryt z 3D tiskárny může velice dobře kopírovat tvar vřetene bez zbytečného nabytí na objemu. Výroba takového krytu je při dnešní dostupnosti 3D tisku velice levná a plastový kryt je lehký. Z těchto důvodů bude použita právě tato technologie.

Hlavním úkolem krytu je zabránit vniknutí odletujících třísek do pohybujících se částí vřetene (řemeny, stlačovací mechanismus, motor), proto všechny tyto části musí být dostatečně zakrytovány. Kryt se bude skládat ze tří částí. Hlavní část, kde jsou připraveny otvory pro řemeny, kryje vřeteno a stlačovací mechanismus. Zároveň je v horní části mezer pro všechny potřebné kabely vedoucí k vřetenu. Kryt je připevněn k hlavní hliníkové desce pomocí čtyř šroubů. Další dva kryty slouží k zakrytování řemenů a krokového motoru. Hlavní elektromotor zakrytován nebude, protože musí být chlazen okolním vzduchem. Zakrytování by mohlo způsobit jeho přehřívání. Tyto dva vedlejší kryty budou přidělané k hlavnímu krytu.



Obr. 46 Nezakrytované (vlevo) a zakrytované (vpravo) vřeteno

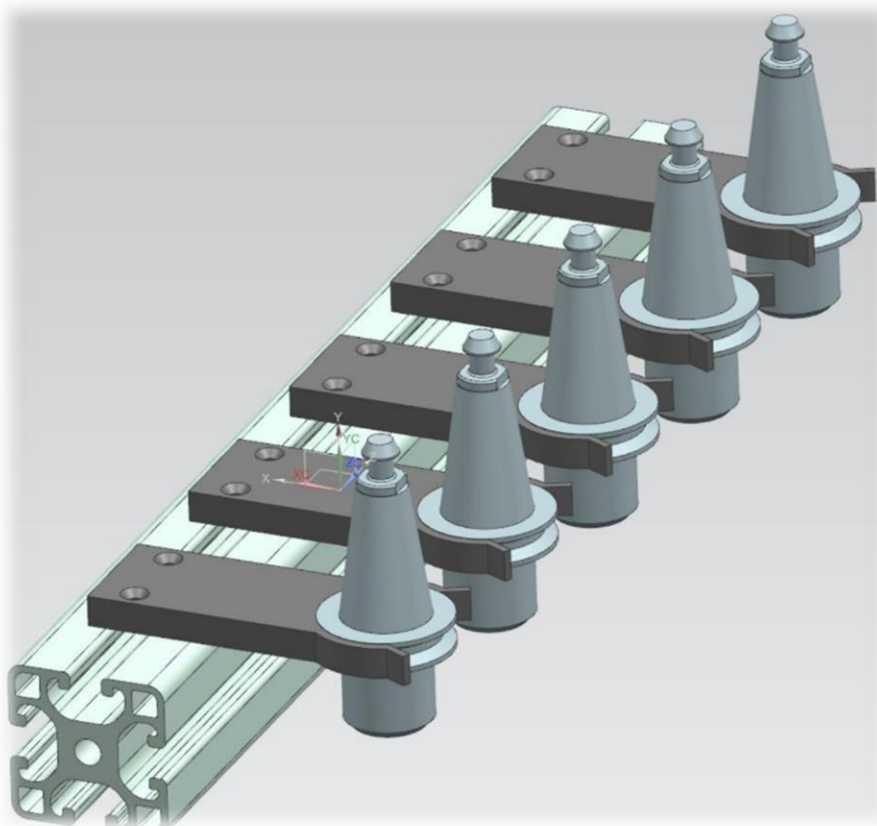
## 6. Návrh zásobníku nástrojů

Požadavky na zásobník byly takové, aby obsahoval minimálně čtyři pozice pro nástroje, co nejméně zvětšil půdorys frézky a byl co nejlevnější na výrobu.

Při návrhu zásobníku nástrojů, byly vytvořeny tři designové studie založené na různých konstrukčních řešeních. První návrh obsahoval vytvoření pevné lišty s nástroji, která by se nacházela v pracovním prostoru stroje. Druhé řešení představoval rotační zásobník s výklopnými nástroji a třetí variantou je výklopná lišta s nástroji.

### 6.1. Pevná zásobníková lišta

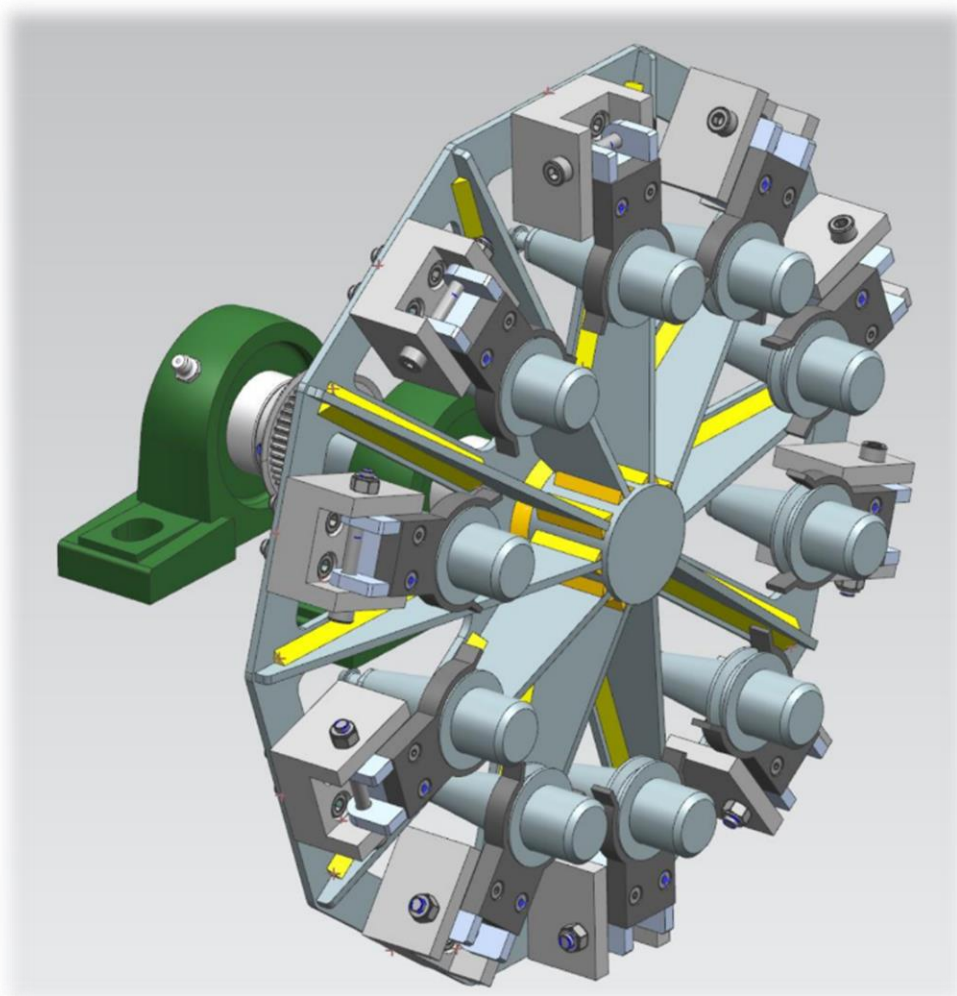
První variantou byl zásobník s pěti pozicemi pro nástroje, které byly umístěny v plastových držácích přidělaných na extrudovaný hliníkový profil. Tento profil by se poté připevnil k rámu tak, aby se nástroje nacházely v pracovním prostoru frézky. Toto řešení je konstrukčně velice jednoduché, protože neobsahuje žádné pohony. Cenově vyšlo nejlépe, avšak trvalým umístěním v pracovním prostoru by se velikost obrobitelných dílů zmenšila téměř na polovinu. Proto se toto řešení ukázalo jako nevhodné.



Obr. 47 Pevná zásobníková lišta

## 6.2. Rotační zásobník s výklopnými nástroji

Druhým návrhem byl rotační zásobník pro deset nástrojů, který by byl umístěn za frézku. Aby se co nejvíce zachoval půdorys frézky, byl by zásobník umístěn svisle a nástroje by se při výměně sklopily a aktuátorem by byly umístěny do pracovního prostoru. Nástroje by byly drženy ve vodorovné poloze pomocí zkrutných pružin. Pohon rotace by zajišťoval krokový motor, který by zásobník poháněl přes ozubený řemen. V konečné fázi se toto řešení jeví jak konstrukčně složité, tak i cenově nákladné.

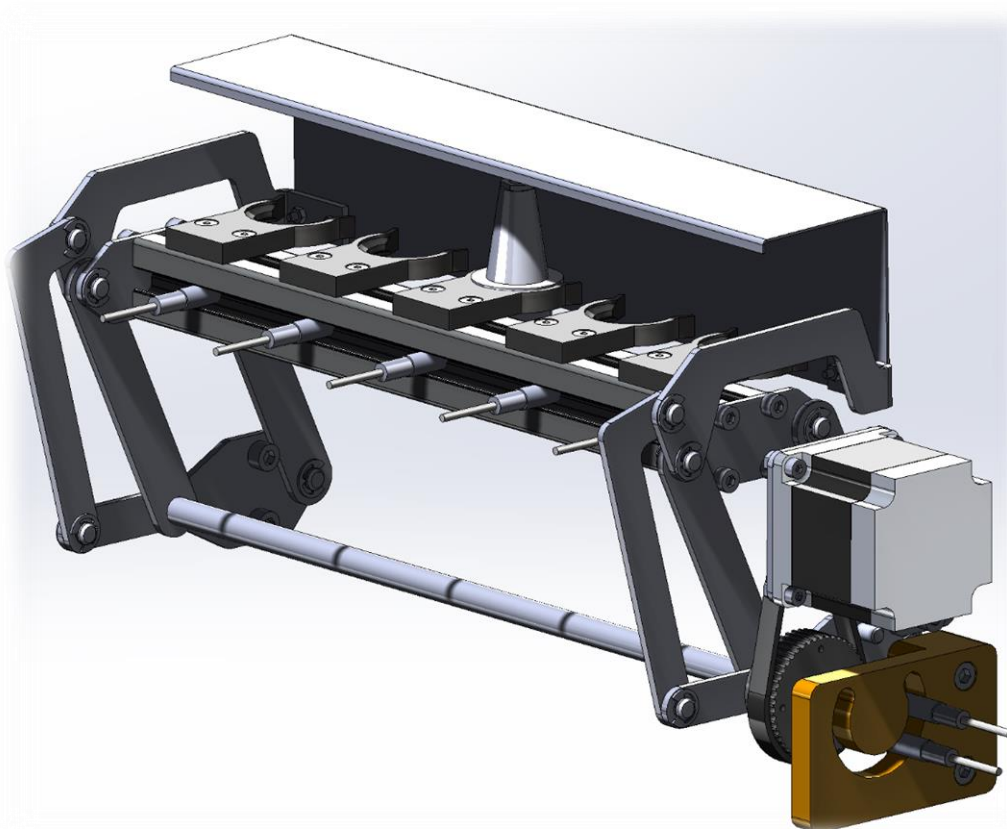


*Obr. 48 Rotační zásobník s výklopnými nástroji*

## 6.3. Výklopná zásobníková lišta

Třetí řešení využívá přednosti obou výše představených variant, a to nízká cena, jednoduchá konstrukce a umístění zásobníku mimo pracovní prostor. Jedná se o stejnou lištu s pěti nástroji jako u pevné varianty, ale bude instalována na mechanismu, který ji dokáže umístit a poté opět odstranit z pracovního prostoru. Toto řešení bylo vybráno jako optimální.

Umístování lišty do prostoru frézky bude zajišťovat čtyř-kloubový mechanismus v konstrukci paralelogramu. S tímto mechanismem bude svázán další čtyř-kloubový mechanismus, který bude zajišťovat odklápění krytu nástrojů. Kryt nástrojů je důležitý, protože na frézce není přístup ke stlačenému vzduchu, takže není možné každý nástroj před výměnou ofouknout od nečistot a zajistit tak správně upnutí nástroje.



*Obr. 49 Výklopný zásobník*

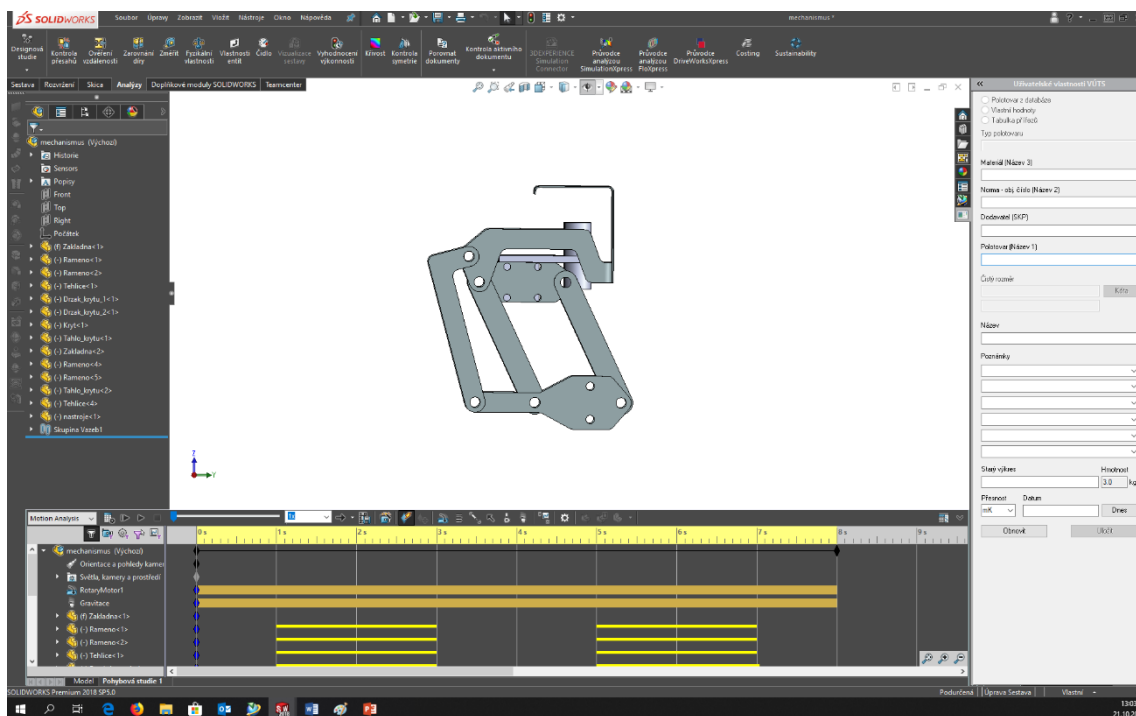
Aby byla konstrukce co nejjednodušší, jsou jednotlivé části mechanismů vypáleny z plechů o tloušťce 3 mm. Poté se vystruží přesné otvory, do kterých se vloží spojovací čepy. Kryt zásobníku je vyroben z nerezového plechu o tloušťce 1 mm. Lišta, na které jsou umístěny držáky nástrojů, je z hliníkového extrudovaného profilu. Držáky nástrojů se sice dají koupit, ale jejich cena je poměrně vysoká, proto budou vyrobeny pomocí 3D tisku.



*Obr. 50 3D tištěný držák na nástroje do zásobníku*

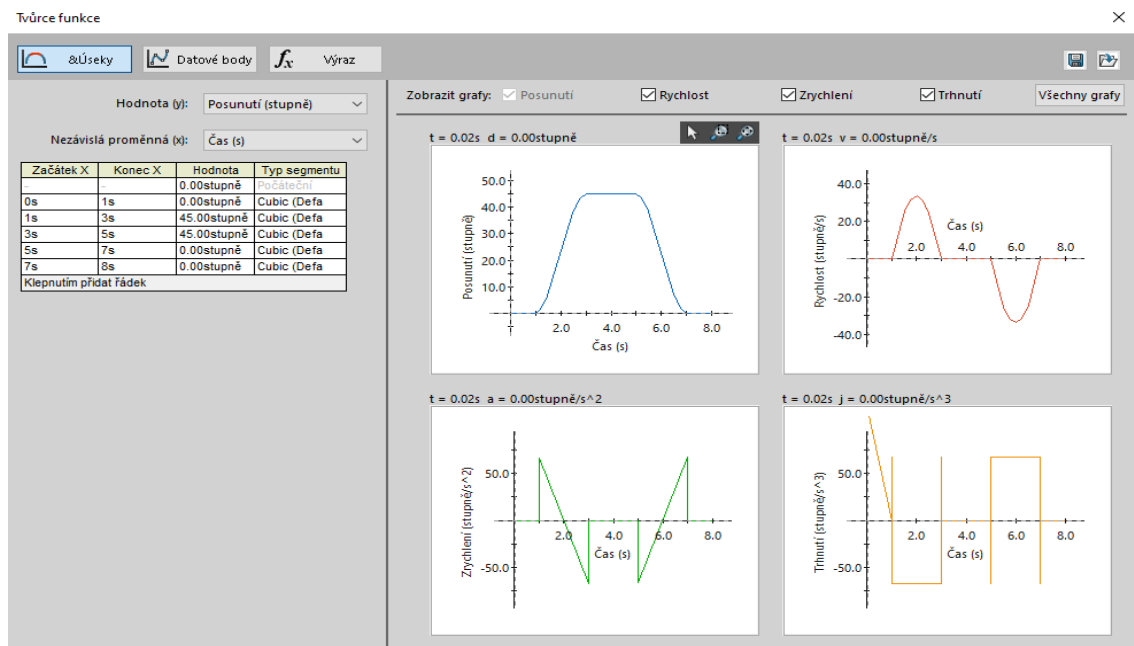
### 6.3.1. Návrh pohonu zásobníku

Poháněné rameno zásobníku se bude otáčet o  $45^\circ$ , zásobník musí být otevřen nebo zavřen do 2 sekund. Pro výpočet potřebného kroutícího momentu byl využit výpočetní modul Motion analysis v programu SOLIDWORKS. K výpočtu bylo zapotřebí zadat všem modelům správné fyzikální vlastnosti. Pro zjednodušení simulace byl odstraněn veškerý spojovací materiál (šrouby, čepy, pojistné kroužky). Jako zatěžující síla byla zvolena síla gravitační, třecí síly v čepích byly zanedbány.



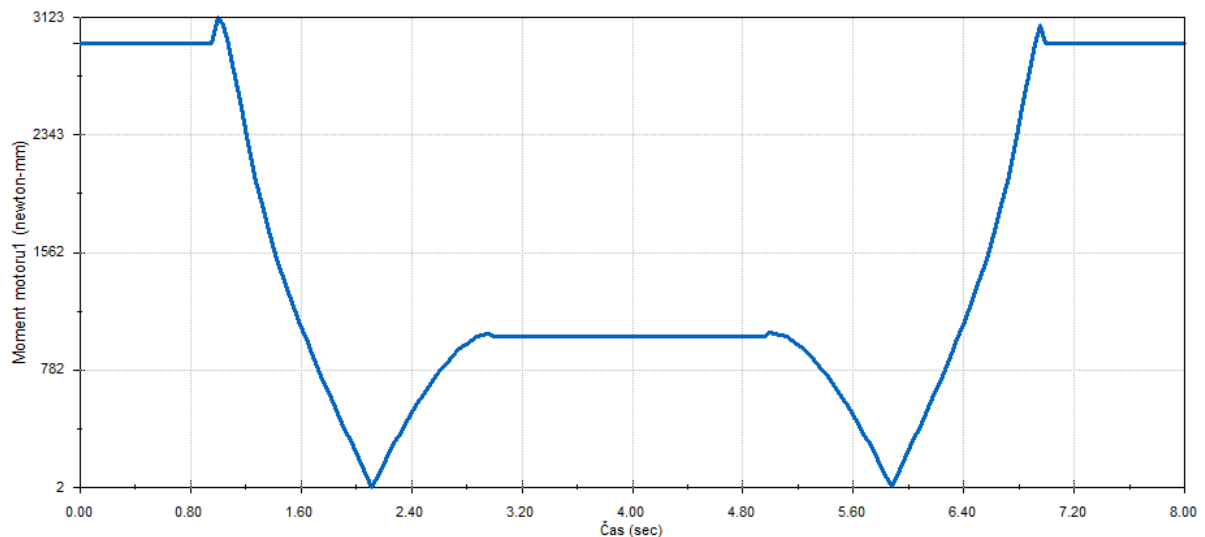
Obr. 51 Tvorba simulačního modelu

Po zadání vazeb mezi jednotlivými členy byl definován pohon, u kterého bude měřen kroutící moment. Jako definice pohonu byly zadány body, které definuje úhel natočení a čas. Poté se mezi těmito body nechala programem vygenerovat kubická křivka.



Obr. 52 Nastavení simulačního pohonu

Pro lepší přehlednost výsledků simulace začíná v jedné sekundě, poté se zásobník dvě sekundy otevírá, provede dvě sekundy výdrž v otevřeném stavu, dvě sekundy se pak zavírá a na konci je opět sekunda pro lepší přehlednost výsledků. Po spuštění simulace získáme průběh kroutícího momentu v čase.



Obr. 53 Průběh kroutícího momentu v čase dle simulace

Z grafu se dá vyčíst maximální kroutící moment 3,12 Nm. Také si lze všimnout, že v základní poloze je pohon namáhán statickým momentem 2,9 Nm. Jelikož graf demonstruje absolutní hodnoty kroutícího momentu, je zřejmé, že v průběhu vyklápění se kroutící moment snižuje, až nakonec začíná působit proti směru pohybu a brzdí zásobník. Ve vyklopeném stavu je statický moment pouze 1,1 Nm, ale přibudou zde síly působící během výměny nástrojů.

Při navrhování pohonu bude počítáno s maximálním kroutícím momentem 3,12 Nm, ale poté bude předimenzován, jelikož se ve výpočtu nepočítalo s třením. Pro pohon bude využit krokový motor s přírubou NEMA 23 s jmenovitým kroutícím momentem 1,3 Nm. Aby se dosáhlo požadovaného momentu na zásobníku, bude motor zpřevodován pomocí ozubeného řemenu.

$$i_{min} = \frac{M_{max}}{M_{jmen}} = \frac{3,12}{1,3} = 2,4 \quad (6.1)$$

Minimální spočtený převodový poměr je 2,4. Ve snaze zajistit bezproblémový pohyb, bude vytvořen převod s  $i = 4$

$$M = M_{jmen} \cdot i = 1,3 \cdot 4 = 5,2 \text{ Nm} \quad (6.2)$$

Takto se získá kroutící moment na zásobníku 5,2 Nm. Pohon tedy bude 1,6x naddimenzován.

### 6.3.2. Výpočet ozubeného řemene

Výpočet bude proveden stejně jako v kapitole 5.5.2. Opět bude použit ozubený řemen s profilem HTD 3M. Na zásobníku bude velká řemenice s počtem zubů  $z_2 = 48$  a roztečným průměrem  $d_2 = 45,08$  mm. Na motoru bude malá řemenice s počtem zubů  $z_1 = 12$  a roztečným průměrem  $d_1 = 10,70$  mm. Předběžná osová vzdálenost  $a = 70$  mm.

$$\sin \frac{\beta}{2} = \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot a} = \frac{45,08 - 10,7}{2 \cdot 70}$$

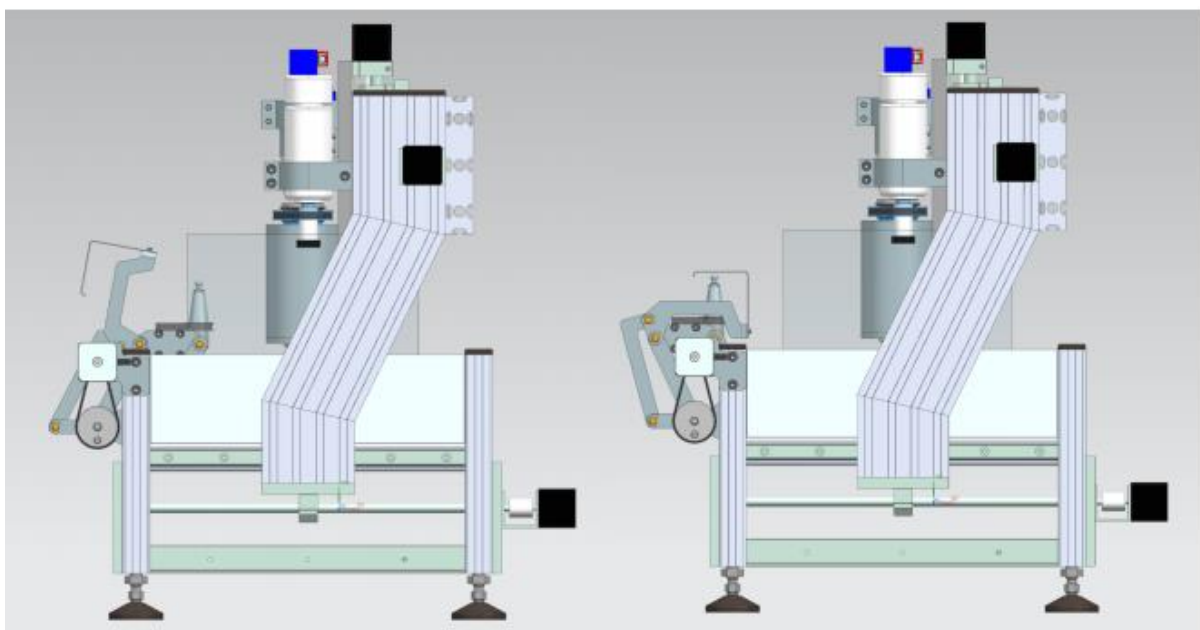
$$\beta = 33,3^\circ = 0,581 \text{ rad} \quad (6.3)$$

$$L = \pi \cdot \frac{d_1 + d_2}{2} + \frac{d_2 - d_1}{2} \cdot \beta + 2 \cdot a \cdot \cos \frac{\beta}{2}$$

$$L = \pi \cdot \frac{10,7 + 45,08}{2} + \frac{45,08 - 10,7}{2} \cdot 0,581 + 2 \cdot 70$$

$$\cdot \cos \frac{0,581}{2} = \mathbf{231,8 \text{ mm}} \quad (6.4)$$

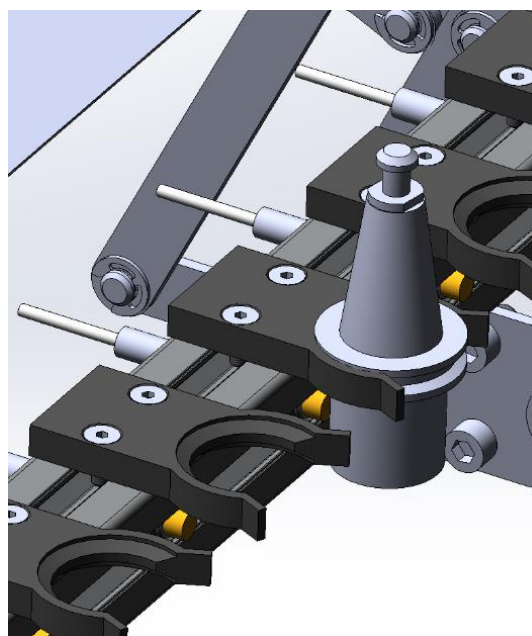
Na základě výpočtu byl vybrán řemen o roztečné délce 234 mm a aby se řemen mohl dostatečně napnout, bude menší řemenice s motorem posuvná, aby se řemen mohl dostatečně napnout.



Obr. 54 Umístění zásobníku na frézce se znázorněným pracovním prostorem frézky

### 6.3.3. Senzorika

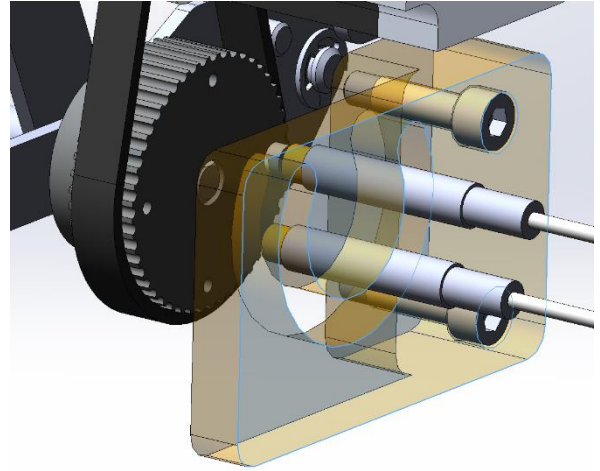
Pro řízení výměny nástrojů je důležité, aby řídicí systém měl přehled, které pozice v zásobníku jsou volné a které obsazené, jinak by mohlo dojít ke kolizi. Přítomnost nástrojů v zásobníku je snímána pomocí indukčních čidel, která jsou zabudována do extrudovaného profilu zásobníku.



Obr. 55 Snímače přítomnosti nástrojů



Další dvě indukční čidla jsou použita pro snímání polohy zásobníku otevřeno/zavřeno. Pro tento účel je v řemenici našroubován šroub, jehož hlavu indukční sondy detekují. Aby bylo možné přesně nastavit pozici čidel, jsou usazeny v kruhové drážce v 3D tištěném dílu, který je umístěn na rámu frézky.



*Obr. 56 Snímače pro polohu zásobníku*

## 7. Závěr

Diplomová práce byla zpracována na téma návrh automatické výměny nástrojů pro stolní CNC frézku. Práce je rozdělena do pěti kapitol. První část je teoretická a pojednává o automatické výměně nástrojů. Druhá kapitola se zabývá problematikou konstrukce vřeten obráběcích strojů. V třetí části je představena malá stolní CNC frézka, na kterou je konstrukce určena. Čtvrtá část obsahuje vlastní konstrukční řešení a poslední pátá část je věnována konstrukci zásobníku pro nástroje.

Cílem této práce bylo udělat rešerši na existující řešení v dané oblasti, definovat potřebné požadované parametry na konstrukci, provést potřebné výpočty a vytvořit konstrukční řešení, které se následně naimplementuje do stávající CNC frézky.

Výsledkem práce je 3D model a výkresová dokumentace vřetene pro nástrojové držáky se stopkou ISO 20. Vřeteno je poháněné elektromotorem a výměna nástrojů probíhá čistě pomocí elektřiny, takže není potřeba mít k frézce přiveden stlačený vzduch. Při návrhu vřetene byly provedeny simulace pomocí MKP a výpočet optimální vzdálenosti ložisek na základě zatížení a geometrie vřetene. Vřeteno má výkon 400 W, otáčky se dají řídit v rozsahu 3000 – 6000 ot/min s maximálním kroutícím momentem 1 Nm. Jsou zde představeny tři návrhy na konstrukci zásobníku nástrojů, pevná zásobníková lišta, rotační zásobník s výklopnými nástroji a výklopná zásobníková lišta. Na základě výhod a nevýhod byla vybrána výklopná zásobníková lišta, ke které byla vytvořena výkresová dokumentace. Zkonstruovaný zásobník je založen na dvou čtyřkloubých mechanismech, kdy jeden zajišťuje pohyb lišty s nástroji do pracovního prostoru frézky a druhý odklápění krytu. Zásobník pojme pět nástrojů. Návrh pohonu zásobníku byl vytvořen pomocí softwaru na simulace dynamiky pohonu.

Výsledná implementace do stroje bohužel v době odevzdání diplomové práce nebyla hotová, protože byla vyrobena asi jen polovina dílů. Finální montáž není možné zrealizovat, pokud některé díly chybí. Toto zpoždění bylo způsobeno složitostí výroby a uzavřením university v důsledku pandemie COVID-19.

## Bibliografie

1. **Marek, Jiří.** *Konstrukce CNC obráběcích strojů.* místo neznámé : MM průmyslové spektrum, 2006. ISSN 1212-2572.
2. **Škoda machine tool.** Škoda Machine Tool Příslušenství strojů. [Online] [Citace: 6. Únor 2020.] <https://skodamt.com/cs/produkty/prislusenstvi-stroju/vymeny-nastroju>.
3. **VÚTS a.s.** ATD 35-60. *VÚTS.* [Online] 3. Únor 2020. <https://www.vuts.cz/bubnovy-zasobnik-nastroju-obrabecich-stroju.html>.
4. **VÚTS a.s.,** Meandrový zásobník. Liberec : autor neznámý, 2020.
5. **prof. Ing. Peter Demeč, CSc.** Technická univerzita v Košiciach. *Systémy automatickej výmeny nástrojov.* [Online] [Citace: 6. únor 2020.] <https://forum.strojirenstvi.cz/download/file.php?id=13257>.
6. **Chromčík, Adam.** Automatická výměna nástrojů - držáky nástrojů. *Vysoké učení technické v Brně.* [Online] 2016. [Citace: 6. únor 2020.] [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=128056](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=128056).
7. **Sandvik Coromant.** Coromant Capto. *Sandvik Coromant.* [Online] [Citace: 6. únor 2020.] [https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromant\\_capto](https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromant_capto).
8. **Royal-spindles.** Motorized Spindles. *Royal-spindles.* [Online] [Citace: 14. únor 2020.] <http://www.royal-spindles.com/motorized-spindles.html>.
9. **Prof. Ing. Lubomír Pešík, CSc.** *Části strojů 1. díl.* Liberec : Technická Univerzita v Liberci, 2010. ISBN 978-80-7372-573-0.
10. **SKF.** SKF - Tolerances. [Online] [Citace: 17. Únor 2020.] <https://www.skf.com/id/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/general-bearing-knowledge/tolerances>.
11. **ZKL, a.s.** ZKL GROUP - Ložiska - všeobecné údaje. [Online] [Citace: 17. Únor 2020.] <http://www.zkl.cz/cs/pro-konstruktery/7-loziska-vseobecne-udaje#74>.
12. **E-konstruktor, Admin.** Labyrintové těsnění. *e-konstruktor.* [Online] 18. Květen 2014. [Citace: 11. Březen 2020.] <https://e-konstrukter.cz/novinka/labyrintove-tesneni>.

13. **Ševic, Bc. Martin.** *Diplomová práce - Konstrukce malého CNC stroje pro model výrobního systému s koncepcí Průmyslu 4.0.* Liberec : autor neznámý, 2017.
14. **STEPCRAFT.** STEPCRAFT systems. [Online] [Citace: 2. Duben 2020.] <https://shop.stepcraft-systems.com/>.
15. **Moret motor.** Moret motor. [Online] [Citace: 2. Duben 2020.] <https://www.moretmotors.com/>.
16. **Elte.** Elte - high speed precision spindles. [Online] [Citace: 4. Duben 2020.] <https://elte.eu/index.php/en/>.
17. **ebay.** ebay. [Online] [Citace: 4. Duben 2020.] <https://www.ebay.com/>.
18. **SCHAUBLIN.** SCHAUBLIN. [Online] Červenec 2019. [Citace: 30. Březen 2020.] <http://www.schaublin.ch/app/webroot/pdf/cat/5.pdf>.
19. **SODEMANN.** SODEMANN-PRUŽINY.CZ. [Online] [Citace: 25. Březen 2020.] <https://www.sodemann-pruziny.cz/13540>.
20. **Petr Keller, Petr Zelený.** Optimalizace uložení vřetena. *TKMOST.* [Online] 13. Květen 2014. [Citace: 16. Duben 2020.] <http://tkmost.kez.tul.cz/vystupy-projektu/inovace-vyuky-v-oblasti-specializovanych-predmetu/vyrobni-stroje-i>.
21. **Prof. Ing. Lubomír Pešík, CSc.** *Části strojů 2.díl.* Liberec : Technická Univerzita v Liberci, 2010. ISBN 978-80-7372-574-7.
22. **Matis.** Kritéria pro výběr trapézového šroubu. *MATIS.* [Online] [Citace: 21. Duben 2020.] [https://www.matis.cz/data/pdf/trapezove\\_srouby/tech\\_spec/Zasady\\_pro\\_navrh\\_trapezovych\\_sroubu.pdf](https://www.matis.cz/data/pdf/trapezove_srouby/tech_spec/Zasady_pro_navrh_trapezovych_sroubu.pdf).
23. **SAUTER.** sauter-feinmechanik. *Produktinformation PI 25.3.* [Online] 3. Únor 2020. [https://www.sauter-feinmechanik.com/fileadmin/templates/downloads/kataloge/PI-25.3\\_d\\_view.pdf](https://www.sauter-feinmechanik.com/fileadmin/templates/downloads/kataloge/PI-25.3_d_view.pdf).
24. **Mitcalc.** Mitcalc - volba valivého ložiska. [Online] [Citace: 16. Únor 2020.] [http://www.mitcalc.cz/doc/help/cz/c\\_bearing\\_choice.htm](http://www.mitcalc.cz/doc/help/cz/c_bearing_choice.htm).
25. **SKF.** Ložiska provedení E pro vysoké otáčky. *SKF.* [Online] [Citace: 11. Březen 2020.] <http://www.carb.info/cz/products/bearings-units-housings/super-precision->

bearings/angular-contact-ball-bearings/designs-and-variants/high-speed-E-design-bearings/index.html.

26. **BIG KAISER-Americas.** Pullstud Bolts. *Youtube*. [Online] BIG KAISER-Americas. [Citace: 16. Březen 2020.] <https://www.youtube.com/watch?v=-eCI6lUFqNk&t=116s>.

27. **RÖHM.** Tool clamping systems. [Online] [Citace: 16. Březen 2020.] <https://www.roehm.biz/en/service/downloads/tool-clamping-systems/>.

28. **ŠKODA machine tool.** Výměny nástrojů. [Online] [Citace: 25. Únor 2020.] <https://skodamt.com/cs/produkty/prislusenstvi-stroju/vymeny-nastroju>.

## Seznam příloh

### Výkresová dokumentace:

AVN-D-001 (BLOKÁTOR MATICE)  
AVN-D-002 (ČEP 6mm)  
AVN-D-003 (ČEP 9mm)  
AVN-D-004 (OBJÍMKA STLAČ. MECH.)  
AVN-D-005 (HŘÍDEL STLAČ. MECH.)  
AVN-D-006 (UPÍNACÍ KLEŠTINA)  
AVN-D-007 (MATICE PRUŽINY)  
AVN-D-008 (MATICE TÁHLA)  
AVN-D-009 (OBJÍMKA MOTORU)  
AVN-D-010 (POUZDRO TÁHLA)  
AVN-D-011 (ŘEMENICE X6 30mm)  
AVN-D-012 (ŘEMENICE X6 60mm)  
AVN-D-013 (ROZPĚRNÝ KROUŽEK)  
AVN-D-014 (TÁHLO KLEŠTINY)  
AVN-D-015 (TLAČNÁ MATICE)  
AVN-D-016 (TUBUS VŘETENE)  
AVN-D-017 (TUBUS STLAČ. MECH.)  
AVN-D-018 (TYČ POHON ZÁSOBNÍKU)  
AVN-D-019 (VÍČKO)  
AVN-D-020 (VŘETENO)  
AVN-D-021 (VYMEZOVACÍ KROUŽEK)  
AVN-D-022 (4 KL. MECH. – ZÁKLADNA)  
AVN-D-023 (4 KL. MECH. – TĚHLICE)  
AVN-D-024 (4 KL. MECH. – TÁHLO KRYTU)  
AVN-D-025 (4 KL. MECH. – RAMENO)  
AVN-D-026 (KRYCÍ PLECH)  
AVN-D-027 (DRŽÁK NEMA 23)  
AVN-D-028 (DRŽÁK NEMA 17)  
AVN-D-029 (DRŽÁK KRYTU P)  
AVN-D-030 (DRŽÁK KRYTU L)  
AVN-D-031 (HTD-3M 72 15 – UPRAVENÁ)  
AVN-D-032 (AL DESKA)  
AVN-D-033 (HTD-3M 15 15 – UPRAVENÁ)  
AVN-D-034 (NÁSTROJOVÁ LIŠTA)  
AVN-D-035 (HTD-3M 48 09 – UPRAVENÁ)  
AVN-D-037 (HTD-3M 12 09 – UPRAVENÁ)  
AVN-S-001 (VŘETENO)  
AVN-S-002 (STLAČOVACÍ MECH.)  
AVN-S-003 (VŘETENO S AVN ISO 20)  
AVN-S-004 (ZÁSOBNÍK NÁSTROJŮ)