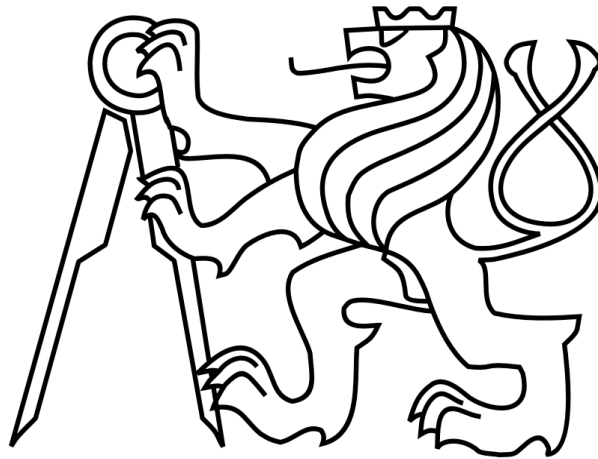


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

**System automatické výměny nástrojů pro frézovací centrum MCU 700**

2018

Jan Ptáček

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Ptáček** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **459605**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Systém automatické výměny nástrojů pro frézovací centrum MCU 700**

Název bakalářské práce anglicky:

**Automated Tool Change System for the MCU 700 Milling Center**

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Bude provedena studie konstrukčního uzlu pro automatickou výměnu nástroje na frézovacím centru MCU 700 s upínacím rozhraním HSK A63. Teoretická část práce bude obsahovat rešeršní shrnutí systému automatické výměny nástrojů a porovnání současného stavu automatické výměny nástrojů u různých výrobců obráběcích center. Návrhová část se bude zabývat studií pro výběr vhodných variant uspořádání automatické výměny nástrojů s možností zrychlení výměny nástroje, do stávajícího zástavbového prostoru MCU 700.; Osnova: a) rešerše systémů automatické výměny nástrojů; b) koncepční návrhy automatické výměny nástrojů; c) výběr vhodné varianty výměny nástrojů; d) návrhové a kontrolní výpočty navržené varianty. e) zpracování výkresové dokumentace; Rozsah grafické části: Výkres sestavy a výrobní výkresy vybraných dílů; Rozsah textové části: 40-60 stran;

Seznam doporučené literatury:

HOUŠA, Jaromír Bedřich RUDOLF. Výrobní stroje. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993, 243s. ISBN 80-01-00993-9; MAREK, Jiří Petr BLECHA. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010, 420s, MM speciál ISBN 978-80-254-7980-3; SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Editor Miloš Vlček. Překlad Martin Hartl. V Brně: VUTUM, 2010, xxv, 1159s. Překlady vysokoškolských učebnic ISBN 978-80-214-2629-0;

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Jiří Sova, ústav výrobních strojů a zařízení FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

**Ing. Roman Mohyla, KOVOSVIT MAS**


Datum zadání bakalářské práce: **12.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13.07.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2018**

  
Ing. Jiří Sova  
podpis vedoucí(ho) práce

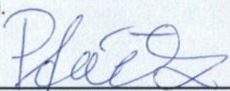
  
Ing. Petr Kolář, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

30.4.2018  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 13.7.2018

.....  
podpis

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Jiřímu Sovovi za cenné rady a připomínky při vypracování této práce.

Děkuji také Ing. Romanu Mohylovi z firmy Kovošvit Mas a.s, za rady a doporučení, které mi poskytl během vypracování této práce.

Především musím poděkovat svým rodičům a sestře za jejich bezmeznou trpělivost a podporu, kterou mi poskytli během bakalářského studia.

## **Anotace**

Jméno autora:	Jan Ptáček
Název BP:	System automatické výměny nástrojů pro frézovací centrum MCU 700
Rozsah práce:	57 str., 49 obr., 6 tab.
Akad.rok vyhotovení:	2017/2018
Škola:	ČVUT v Praze-Fakulta strojní
Ústav:	Ú 12135 - Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí BP.	Ing. Jiří Sova
Konzultant:	Ing. Roman Mohyla-Kovosvit MAS, a.s.
Zadavatel:	Kovosvit MAS, a.s
Využití:	Automatická výměna nástrojů pro MCU 700
Klíčová slova:	Automatická výměna nástrojů, AVN, frézovací obráběcí centrum, multifunkční obráběcí centrum, Kovosvit, MCU 700
Anotace:	Bakalářská práce pojednává o konstrukčních prvcích zasahujících do automatické výměny nástroje. Součástí práce je návrh konstrukčního uzlu pro automatickou výměnu nástroje stroje MCU 700 Kovosvit MAS s možností zrychlení výměny nástroje.

## **Annotation**

**Author:** Jan Ptáček

**Title:** Automated tool change systém for the MCU 700milling center

**Extent:** 57 pg., 49 fig., 6 tab.

**Academic year:** 2017/2018

**University:** CTU in Prague-Faculty of Mechanical Engineering

**Department:** Department of Production Machines and Equipment

**Supervisor:** Ing. Jiří Sova

**Consultant:** Ing. Roman Mohyla-Kovosvit MAS, a.s.

**Theme submitter:** Kovosvit MAS, a.s.

**Keywords:** Automated tool change, ATC, milling machine, multifunctional machine tool, Kovosvit, MCU 700

**Annotation:** The bachelor thesis deals with study of structural elements that take part in automated tool change. Part of this thesis is design of tool changer for the milling center MCU 700 Kovosvit MAS with possibility of accelerating tool change.

# Obsah

Seznam použitých veličin .....	9
1. Úvod .....	11
2. Cíle práce.....	11
3. Rešerše .....	12
3.1. Automatická výměna nástrojů .....	12
3.2. Produktivita práce.....	12
3.3. Požadavky nezbytné pro správnou a funkční výměnu nástrojů .....	13
3.4. Typy výměn AVN .....	14
3.4.1. Pick-up výměna .....	14
3.4.2. Zásobník-ruka manipulátoru-vřeteno výměna .....	15
3.4.3. Zásobník-dopravník-ruka manipulátor-vřeteno výměna .....	16
3.5. Zásobníky nástrojů .....	17
3.5.1. Nosné zásobníky.....	17
3.5.2. Skladovací zásobníky.....	19
3.5.3. Hvězdicový zásobník .....	19
3.5.4. Bubnový zásobník.....	20
3.5.5. Řetězové zásobníky .....	20
3.5.6. Centrální zásobníky .....	21
3.6. Upínací rozhraní .....	22
3.6.1. Upínání držáků ve vřeteni .....	22
3.6.2. Kuželové držáky.....	24
3.6.3. Držák s válcovou stopkou.....	25
3.7. Výměna nástrojů u vybraných strojů .....	26
3.8. Popis stroje MCU 700.....	27
3.8.1. Výměna nástrojů MCU 700 .....	31
4. Návrh variant konstrukčního uzlu AVN .....	32
4.1. Varianta 1 – Vnitřní buben .....	33
4.2. Varianta 2 - Robotické ruce.....	34
4.3. Varianta 3 – Tlačný prvek.....	35
4.4. Varianta 4 – Buben.....	36
4.5. Varianta 5 – Řetězový zásobník-manipulátor .....	37

4.6.	Volba varianty pro další konstrukční řešení.....	38
5.	Návrh konstrukce .....	39
5.1.	Popis konstrukce .....	40
5.2.	Umístění manipulátoru ve stroji .....	42
5.3.	Zásobník .....	43
5.4.	Výměna nástroj-nástroj navrhovaného manipulátoru .....	44
5.5.	Návrhové a kontrolní výpočty .....	46
5.5.1.	Připojení hřídele převodovky k ruce manipulátoru .....	46
5.5.2.	Pohon osy C.....	46
5.5.3.	Kontrola výstupní hřídele převodovky na ohyb a krut.....	48
5.5.4.	Lineární vedení .....	49
6.	Závěr.....	51
7.	Seznamy .....	52
7.1.	Použitá literatura.....	52
7.2.	Seznam použitých softwaru .....	56
7.3.	Textové a grafické přílohy .....	56
7.4.	Výkresová dokumentace.....	56
7.5.	Elektronické přílohy (CD).....	57



## Seznam použitých veličin

Označení	Název	Jednotka
$\alpha$	Úhlové zrychlení	$\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$
$\sigma$	Napětí	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$
$\sigma_e$	Mezní napětí	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$
$\sigma_D$	Dovolené napětí	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$
$\sigma_{\max}$	Maximální napětí	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$
$\tau$	Smykové napětí	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$
$\tau_D$	Dovolené smykové napětí	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$
$\tau_{\text{MAX}}$	Maximální smykové napětí	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$
$\tau_{\text{MEZ}}$	Mezní smykové napětí	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$
$\varphi$	Úhel otočení	°
$\omega$	Úhlová rychlost	$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$
a	Délka ruky manipulátoru	mm
b	Šířka ruky manipulátoru	mm
F	Síla	N
g	Tíhové zrychlení	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
I	Moment setrvačnosti	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$
$I_C$	Celkový moment setrvačnosti	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$
$I_N$	Moment setrvačnosti nástroje	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$
$I_R$	Moment setrvačnosti ruky manipulátoru	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$
i	Převodový poměr	-
k	Bezpečnost	-
$M_k$	Krouticí moment	Nm
$M_{KN}$	Jmenovitý krouticí moment	Nm
$m_N$	Hmotnost nástroje	kg
$M_o$	Ohybový moment	Nm

$m_R$	Hmotnost ruky manipulátoru	kg
$R$	Poloměr nástroje	mm
$t$	Čas	s
$t_c$	Celkový čas	s
$t_h$	Hlavní strojní čas	s
$t_k$	Klidový čas	s
$t_s$	Seřizovací čas	s
$t_v$	Vedlejší strojní čas	s
$W_o$	Průřezový modul v ohybu	mm <sup>3</sup>
$W_K$	Průřezový modul v kroucení	mm <sup>3</sup>

# 1. Úvod

Převážná většina strojních výrobků v dnešní době je dokončována třískovým obráběním a pro jejich výrobu je nutné použít více než jeden nástroj, což nás přivádí k tématu této bakalářské práce, kterým je automatická výměna nástroje (AVN). Před dobou počítačů a automatizace byli nástroje vyměňovány ručně, což mělo značná úskalí. Dlouhé a nepravidelné časy výměny nástroje a hlavně zde působil lidský faktor – zručnost obsluhy, únava. S vývojem počítačů došlo i k vývoji obráběcích strojů, nejprve NC a pak CNC, kde je dnes AVN nepostradatelným konstrukčně-technologickým prvkem. Automatická výměna nástroje a automatická výměna obrobku jsou základním kamenem ve stavbě obráběcích strojů i nově vzniklého oboru Průmysl 4.0.

## 2. Cíle práce

Zadáním práce je konstrukce uzlu pro automatickou výměnu nástroje s upínacím rozhraním HSK A63. Konstrukční uzel by měl splňovat požadavky určené zadavatelem: maximální hmotnost nástroje 10kg, maximální průměr nástroje 130 mm, zrychlení času výměny nástroje nástroj-nástroj, současný čas výměny nástroje nástroj-nástroj se pohybuje od 3 do 5 sekund.

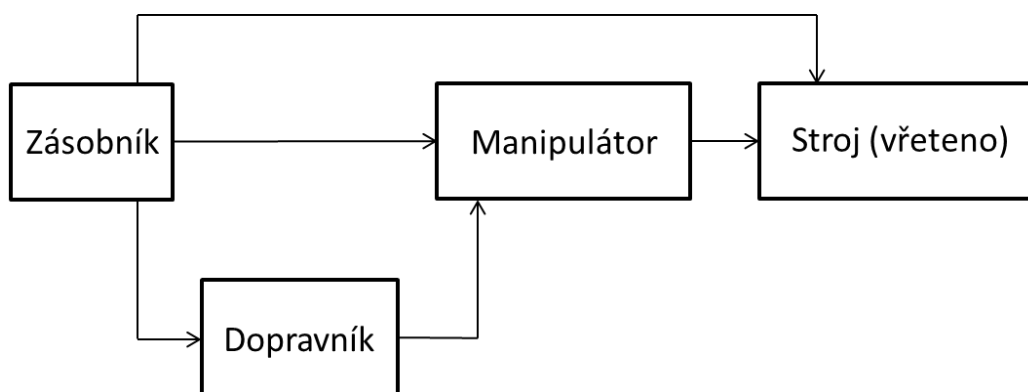
Hlavními body návrhu a konstrukce jsou:

- Seznámit se s konstrukčními prvky zasahující do procesu výměny nástrojů
- Zjistit stav řešené problematiky u několika dalších výrobců obráběcích strojů
- Zjistit stav řešené problematiky na MCU 700
- Vypracovat několik variant pro AVN na MCU 700
- Navrhnu konstrukční uzlu pro AVN na MCU 700

## 3. Rešerše

### 3.1. Automatická výměna nástrojů

Automatická výměna nástrojů (AVN) je koordinace několika konstrukčních uzlů pro bezchybnou manipulaci a skladování nástrojových jednotek. Zaručuje kontinuální provoz a zvýšenou produktivitu obráběcího procesu zkrácením vedlejšího strojního času. Optimalizuje využití obráběcího stroje při technologických operacích, dle níž nastavujeme nástrojovou výbavu. Bez nutnosti lidského zásahu do strojního cyklu se zařazuje do nepostradatelných funkčních prvků moderních obráběcích strojů v 21. století.[1]



Obr. 1 Diagram AVN

### 3.2. Produktivita práce

Zvyšování produktivity obráběcího procesu stroje je podmíněno zkracováním výrobních časů. Celkový, kusový čas  $t_c$  je čas nezbytný k uskutečnění operací, které jsou definované pro obrobek. Čas  $t_h$  pro všechny operace, kdy se ubírá tříska se nazývá hlavní strojní čas. Vedlejší strojní čas  $t_v$  je čas, kdy stroj nepracuje (výměna nástroje, ustavení a upnutí obrobku). Čas pro přípravu programu a nástrojů se jmenuje čas seřizovací  $t_s$ . Opravy a klid probíhají během klidového času  $t_k$ . [2]

$$t_c = t_h + t_v + t_s + t_k \quad (3.1)$$

#### Časy pro výměnu nástrojů

- *tool to tool (t-t)* – při tomto vedlejším strojním čase se nástroj z vřetena uloží do zásobníku, další požadovaný nástroj ze zásobníku je upnut do prázdného vřetene
- *chip to chip (c-c)* – vedlejší strojní čas, při kterém se nástroj pohybuje z místa řezu do polohy pro výměnu nástroje, v této poloze proběhne výměna nástrojů nástroj se vrací do místa řezu [3]

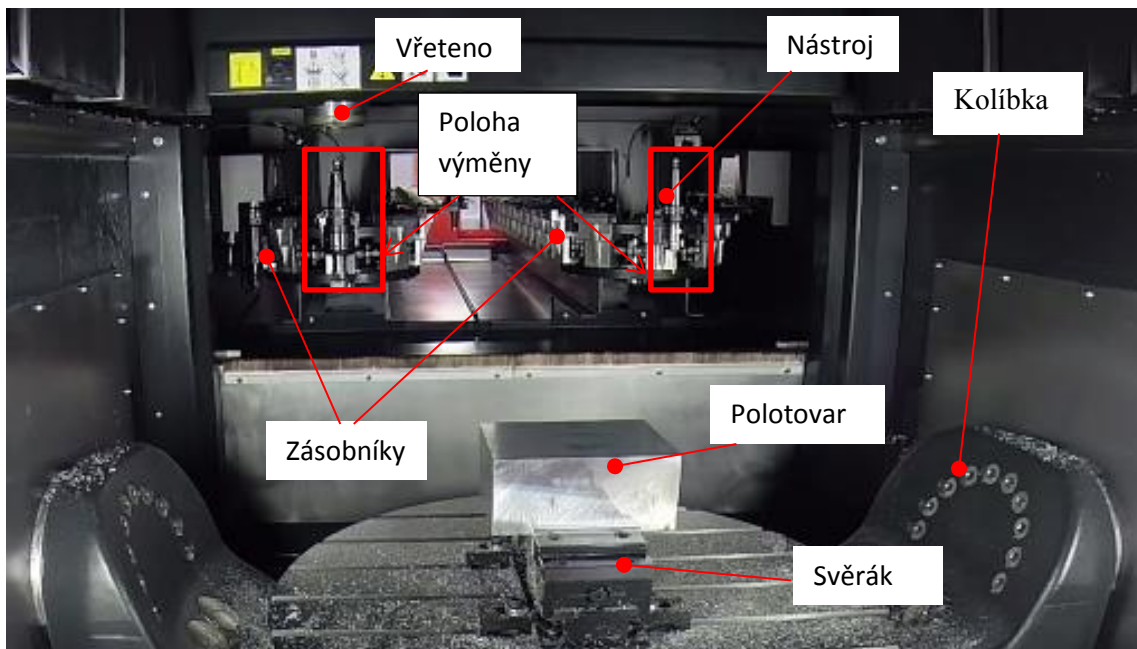
### **3.3. Požadavky nezbytné pro správnou a funkční výměnu nástrojů**

- Výměna nástroje musí proběhnout v co nejkratším časovém intervalu
- Zásobník nástrojů musí mít dostatečnou kapacitu a být nenáročný plochu
- Nepracující nástroje by neměly omezovat pracovní prostor stroje
- Nepracující nástroje musí být zakryty, aby neohrožovaly obsluhu či obráběcí stroj
- Požaduje se vysoká spolehlivost a životnost
- Vřeteno, které nese nástroj během odebírání třísky, musí mít vysokou tuhost šetrné k dosedací ploše
- Jednoduchost konstrukčního uzlu pro AVN je předností
- Konstrukční uzel pro AVN musí být odolný vůči znečištění – třísky, chladicí emulze atd. [4]

### 3.4. Typy výměn AVN

#### 3.4.1. Pick-up výměna

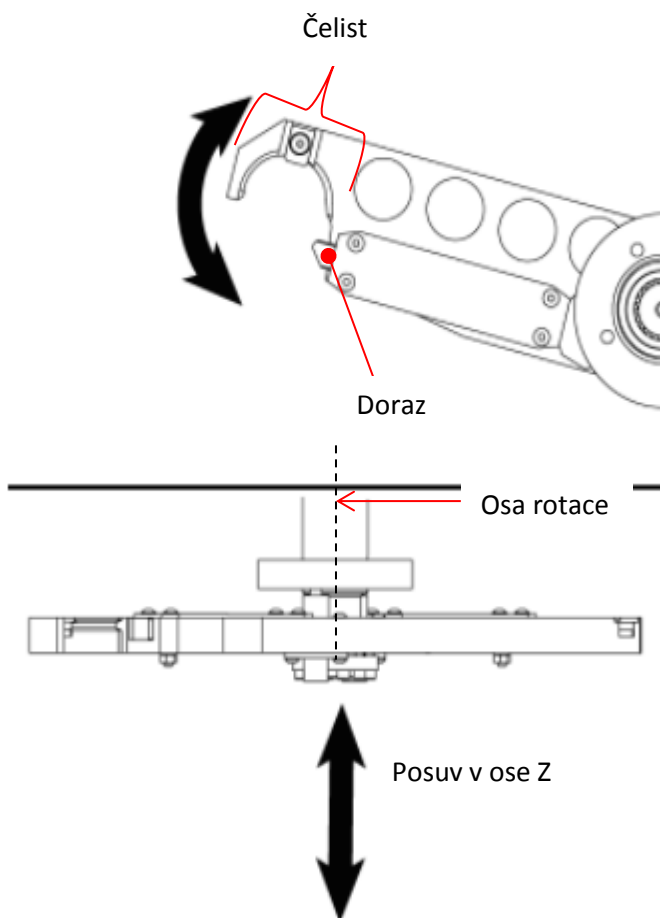
Přímá výměna nástroje je jednou z nejjednodušších výměn nástroje, do které nevstupuje žádný další manipulační prvek či dopravník. Nástroj je přímo odebírán ze zásobníku nástrojů vřetenem či smýkadlem. Uspořádání stroje musí umožnit přiblížení zásobníku ke stroji či vice versa. Zásobníky musí být instalovány v skladovacím prostoru, což je možné u svislých frézovacích obráběcích center. Princip spočívá v tom, že vřeteno najede do definované polohy pro výměnu nástroje (Obr. 2), poté umístí použitý nástroj do prázdného místa zásobníku, zásobník udělá definovaný pohyb, kterým se dostane požadovaného nástroje. Vřeteno žádaný nástroj uchopí a odjíždí do pracovní polohy. Posuv pro odkládání a odebírání uskutečňuje vřeteno vlastními posuvnými mechanismy. Výhodou je rychlý čas výměny (do 5 sekund). Zásobník bývá zakrytý od pracovního prostoru[1].



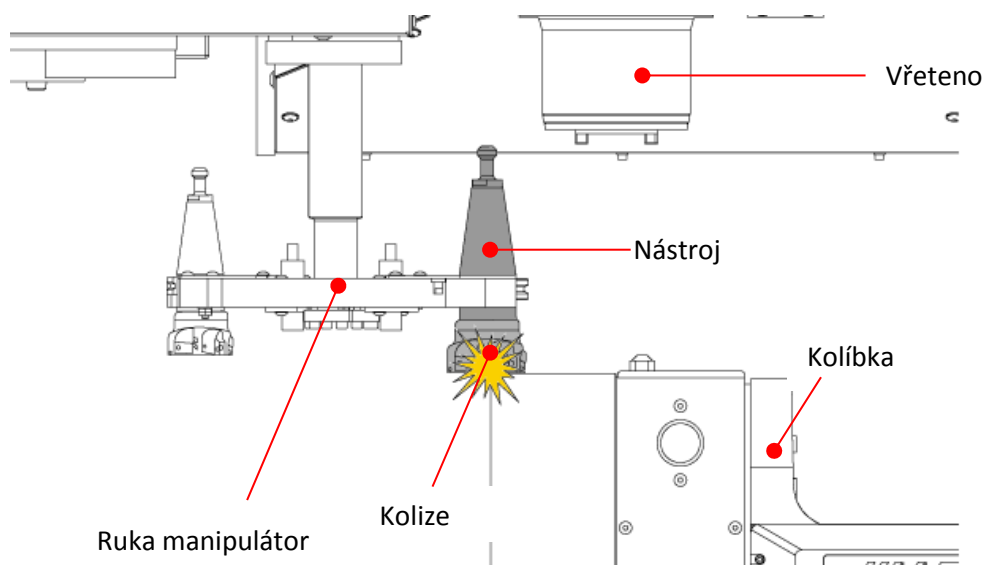
Obr. 2 Výměna nástroje pick-up s řetězovým zásobníkem [35]

### 3.4.2. Zásobník-ruka manipulátoru-vřetenem výměna

▼ Při této výměně nelze uskutečnit výměnu přímo. Ruka manipulátoru manipuluje nástroji mezi zásobníkem nástrojů a vřetenem. Jedná se většinou o rameno s 2 čelisti. Rameno je umístěno tak, aby jeho osa rotace byla přesně uprostřed, čelisti mají úhlovou rozteč 180 stupňů. Pro rychlejší výměnu se může poupravit úhlová rozteč mezi čelisti či samotný počet čelistí. V ruce manipulátoru jsou instalovány dorazy k udržení nástroje v čelistech (Obr. 3). V konstrukčních řešeních rukou manipulátorů jsou používány rovinné či prostorové vačky pro dosažení velké přesnosti umístění. Jako pohon manipulátoru se používá hydraulické či elektrické pohony[1]. U této výměny je důležitá kinematika (Obr. 4).



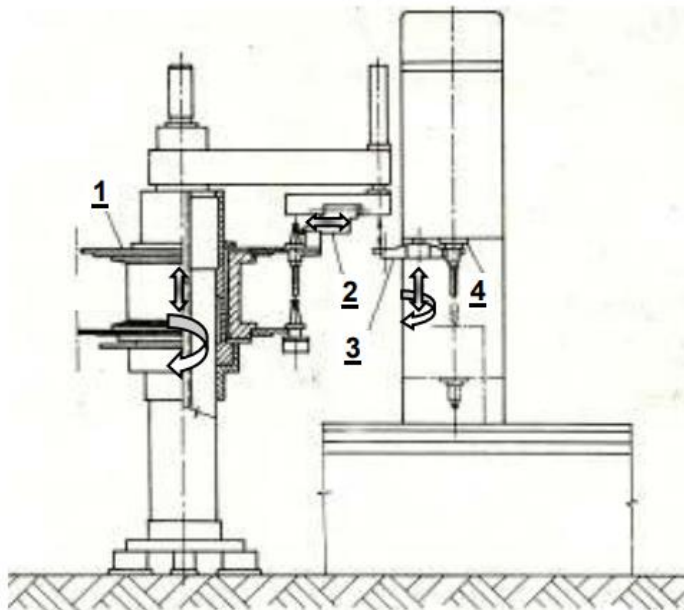
Obr. 3 Manipulátor nástrojů Haas [26]



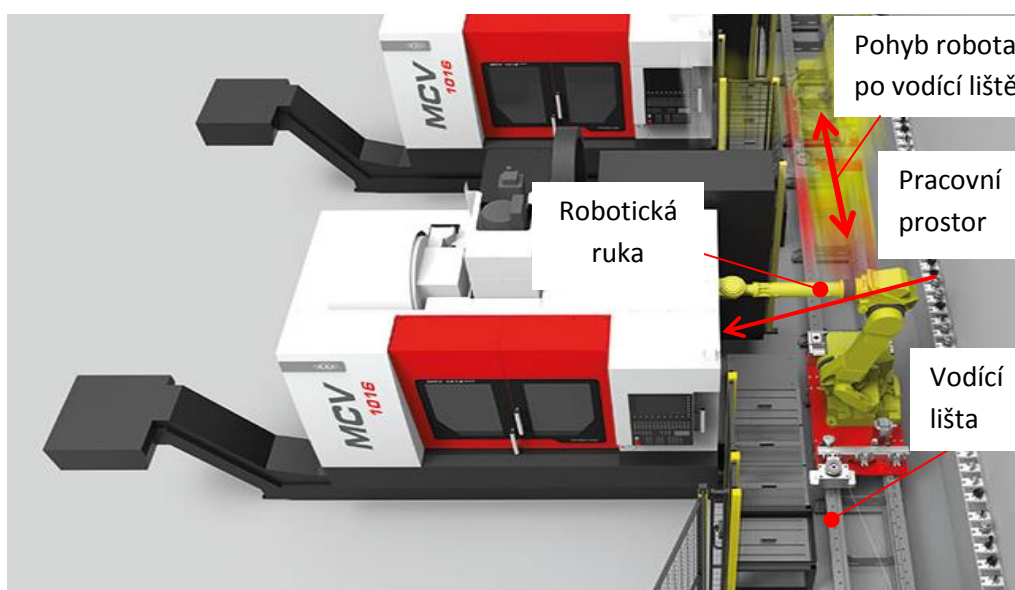
Obr. 4 Kritérium pro konstrukci, nehoda vlivem špatné kinematiky [27]

### 3.4.3. Zásobník-dopravník-ruka manipulátor-vřeteno výměna

Řešení s dopravníkem a rukou manipulátoru je vhodné pro sériovou výrobu. Princip je zobrazen na (Obr. 5). Výměna probíhá tak, že zásobník **1** najede do polohy požadovaného nástroje, následně ho dopravník **2** přesune nástroj na místo, kde bude nástroj uchopen rukou manipulátoru **3** a předán vřetenu **4**. Jako dopravník může být využívána i robotická ruka (Obr. 6). Nevýhodou je větší zastavěná plocha, cena jak návrhu linky, tak dopravníku. Výhodou je, že linka může pracovat samostatně bez lidského zásahu do pracovních operací linky [1], [28].



Obr. 5 Schéma výměny zásobník-dopravník-ruka manipulátor-vřeteno výměna [28]

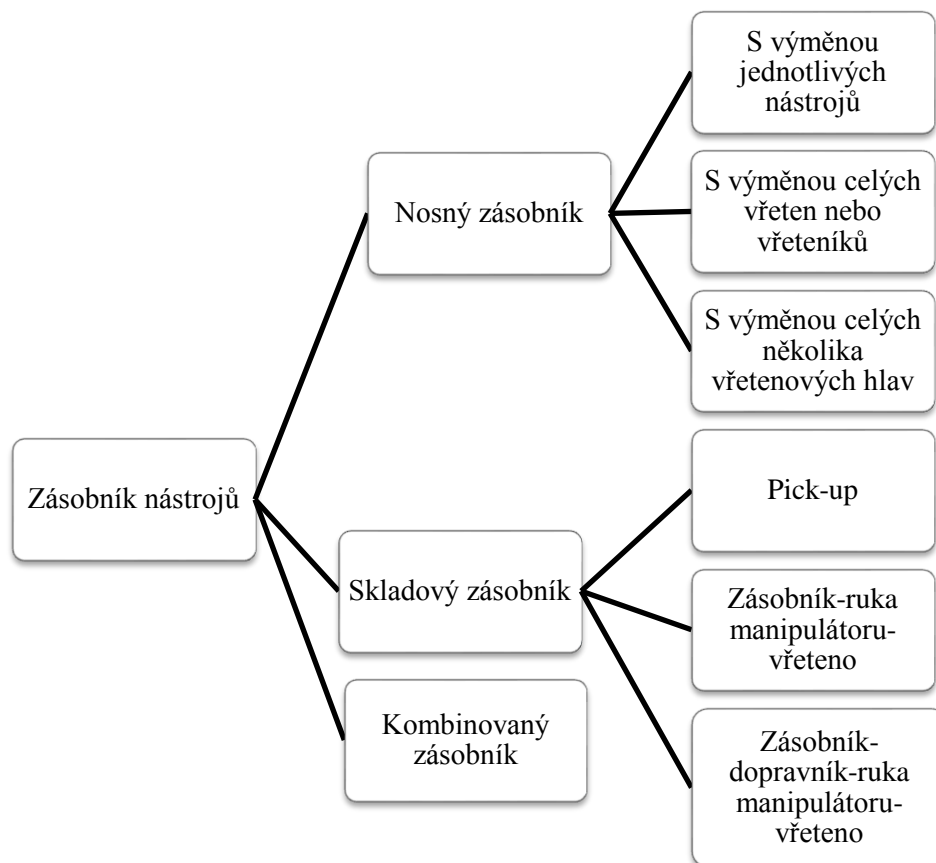


Obr. 6 Linka s centrálním zásobníkem [29]



### 3.5. Zásobníky nástrojů

Na konstrukci zásobníků jsou kladeny vysoké nároky, v jejich návrhu se musí zohlednit typ stroje, pro který je zásobník určen, např. nástroje pro soustružnické operace. Další kritériem je hmotnost, velikost nástroje, čas výměny nástroje a způsob upínání ve stroji [1]. Přehled variant zásobníků nástrojů a jejich vztahu k AVN je ukázán na (Obr. 7). Vybrané podmnožiny variant zásobníků představím v následujících podkapitolách.



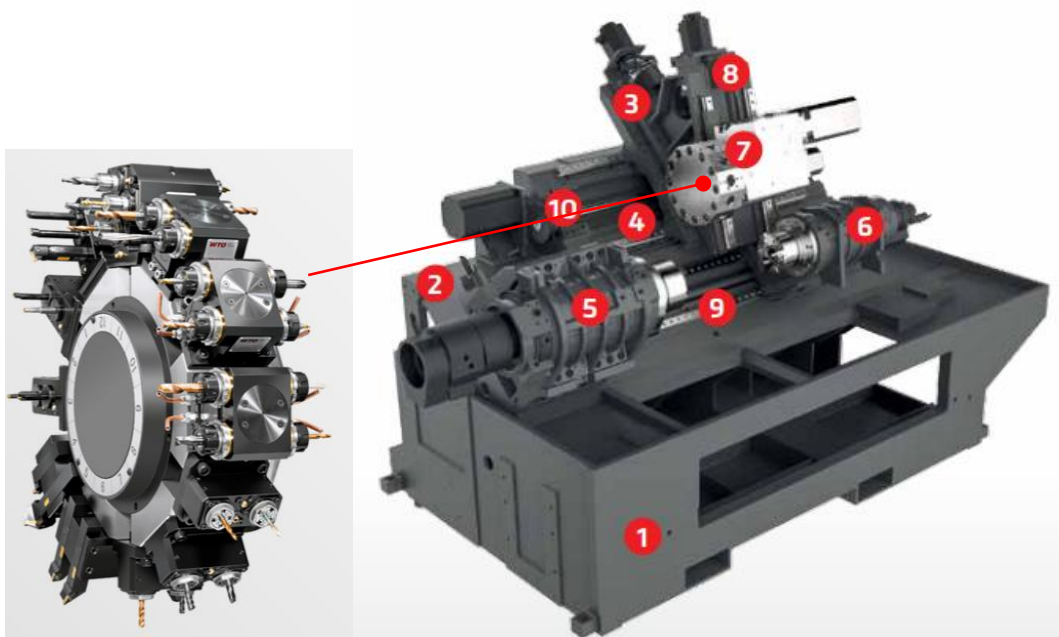
Obr. 7 Typy zásobníků vzhledem k AVN [4],[5]

#### 3.5.1. Nosné zásobníky

Systém nosných zásobníků charakterizuje přenos řezných sil, které vznikají při styku nástroje s polotovarem během obráběcí operace. Z této situace vyplývá vysoký požadavek na tuhost zásobníku a k němu připojených konstrukčních uzlů. Nosné zásobníky jsou typické pro soustružnické automaty a multifunkční obráběcí centra. Omezená kapacita nástrojů(4-8 nástrojů, max.12) [6]. je příznačná pro toto konstrukční řešení. Umístění zásobníku na stroji nám omezuje parametry používaných nástrojů, nesmí docházet ke kolizi se strojem samotným či obráběnou součástmi. Manipulátor ani dopravník nástrojů není potřebný, což je značnou výhodou systému. Výhodou je rychlý čas výměny, nevýhodou je již zmíněný malý počet nástrojů. [1].

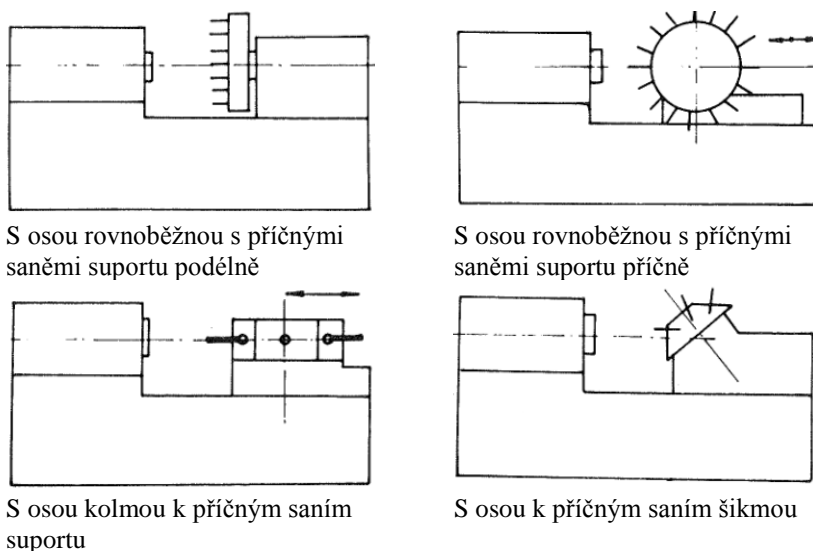
Nejčastějšími představiteli této skupiny jsou nožové a revolverové hlavy (Obr. 8) soustruhů s vodorovnou či svislou osou otáčení (Obr. 9) [7]. Obrobek koná hlavní řezný pohyb [4]. Nedostatek místa pro více nástrojů vyřešili někteří výrobci (WTO, Sauter) zavedením stavebnicové struktury revolverových hlav s možností několikařadého postavení nástrojů (Obr. 8). Dělení podle polohy osy hlavy vzhledem k rovině příčných saní suportu mohou vyskytovat v různých provedeních (Obr. 10) [7].

*Definice : Revolver- hlava stroje, jejímž hlavním úkolem je nést nástroje v definované úhlové rozteči a otáčít se okolo své osy do různých předem definovaných pozic*



Obr. 8 Několika řadá revolverová hlava WTO [8]

Obr. 9 Kostra soustruhu řady SP KMAS [36]



S osou rovnoběžnou s příčnými saněmi suportu podélně

S osou rovnoběžnou s příčnými saněmi suportu příčně

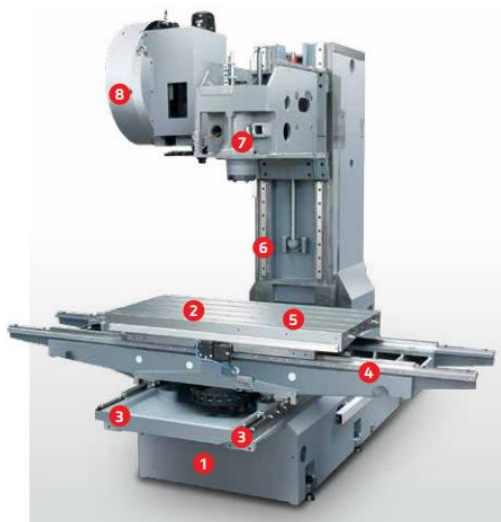
S osou kolmou k příčným saním suportu

S osou k příčným saním šikmou

Obr. 10 Dělení revolverových hlav podle poloh os hlavy k rovině příčných saní [7]

### 3.5.2. Skladovací zásobníky

Skladovací zásobníky jsou určeny pro spolehlivé uložení a blízkosti nástrojů, také zajišťuje dopravu požadovaného nástroje do polohy určené pro výměnu nástroje (Obr. 11). Je pro ně typické, že nepřenáší řezné síly. Manipulátor dostane nástrojovou jednotku do místa výměny nástroje, popřípadě sám stroj si odebere jednotku ze zásobníku [1].



Obr. 11 MCV 754 skladovací zásobník pozice 8 [37]

### 3.5.3. Hvězdicový zásobník

Hlavním znakem hvězdicového zásobníku je, že osa nástroje je kolmá nebo nakloněná k ose otáčení zásobníku (Obr. 12) vytvářející paprskovou orientaci nástrojů od osy rotace. Výhodou je velký prostor pro čelisti ruky manipulátoru či pro vřeteno. Nevýhodou je velká půdorysná plocha, neboť větší počet nástrojů znamená větší průměr zásobníku. Není vhodný pro dlouhé nástroje či nástroje velkého průměru, u kterých by mohlo dojít ke kolizi nástrojů s obrobkem či strojem [1], [9].



Obr. 12 Hvězdicový zásobník DMG MORI a jeho zabudování do stroje [10], [38]

### 3.5.4. Bubnový zásobník

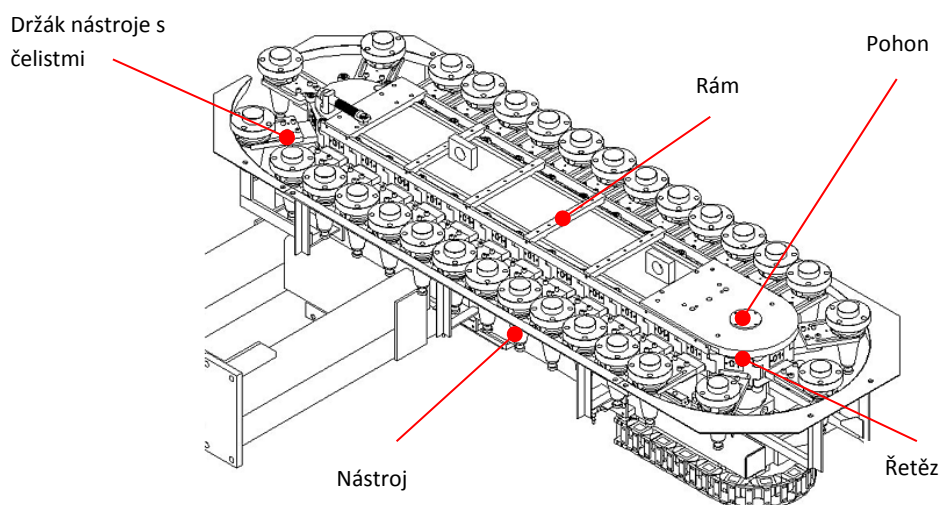
Bubnový zásobník je převážně určen pro tzv. pick up výměnu (max. 30 až 40 nástrojů). Zásobník je specifický tím, že osa nástroje je rovnoběžná s osou rotace zásobníku (Obr. 13). Zvýšení kapacity můžeme dosáhnout umístěním více zásobníků nad sebe, nezvětšuje se nám půdorysná plocha. Pro zjednodušení se dají kapsy pro nástroje vyklápět o 90 stupňů. Bubny můžeme mezi sebou měnit jako palety, které se po doběhnutí operace mohou vyměnit a uložit do skladu [1].



Obr. 13 Bubnový zásobník s 28 pozicemi [11]

### 3.5.5. Řetězové zásobníky

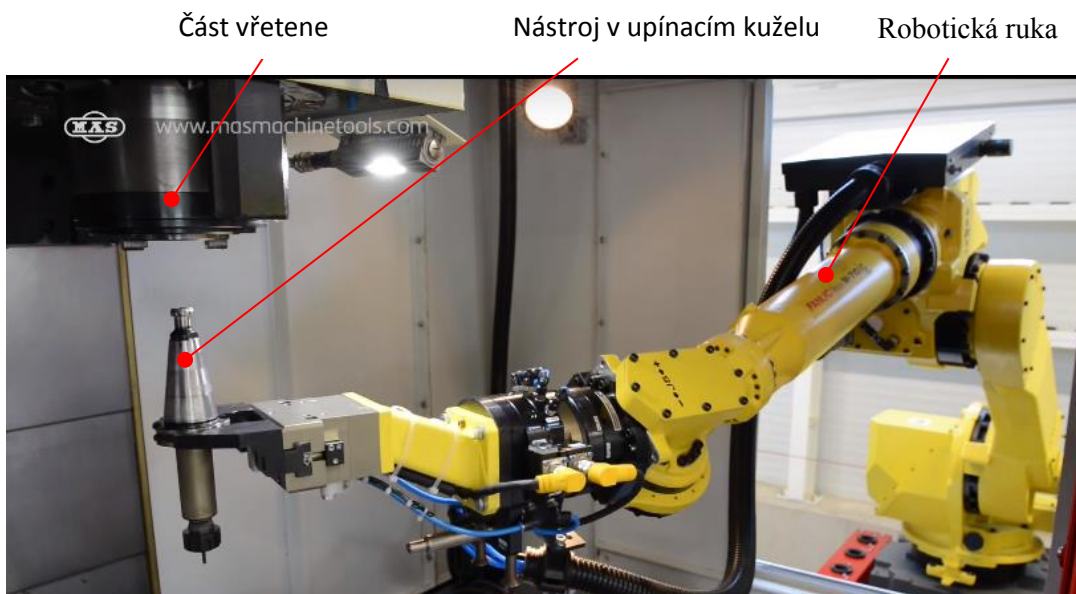
Řetězové zásobníky jsou další zásobníky ze skupiny skladovacích zásobníků. Mohou mít kapacitu 40-100 nástrojů nebo i větší, pokud dojde ke zdvojení či ztrojení řetězu. Výhodou tohoto systému variabilita jeho umístění na stroji, osa rotace řetězu může být vodorovná (Obr. 14) nebo svislá. Pro upevnění nástrojů v zásobníku se používají kapsy nebo čelisti, které mohou být pevné či vyklápěcí [1].



Obr. 14 Řetězový zásobník [12]

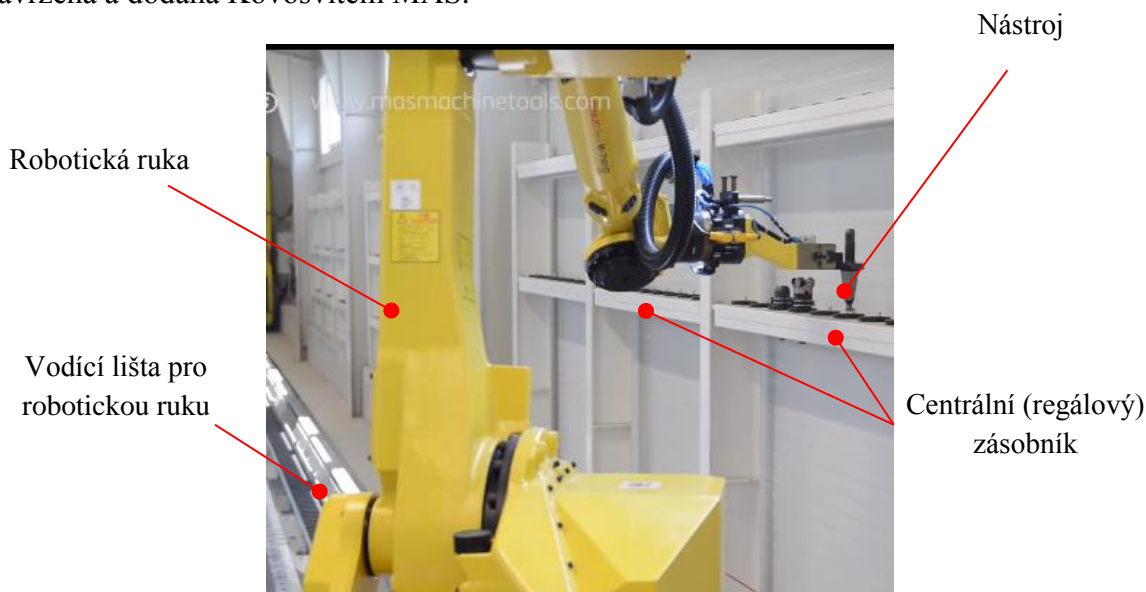
### 3.5.6. Centrální zásobníky

Centrální zásobníky jsou zásobníky pro 250 a více nástrojů. Jsou umístěny mimo výrobní prostory a jsou určeny pro uskladnění nástrojů převážně pro více strojů. Nejedná se o pouhý sklad nástrojů, ale o autonomní pracoviště, které má na starost více než skladování nástrojů. Během času přesunu mohou být nástroje kontrolovány (např. geometrie, opotřebení nástroje). Manipulace nástroje či nástrojových sad (bubny, hvězdice etc.) může být zcela automatizována (robotická ruka). V manipulačním prostoru není povolen pohyb osob [1].



Obr. 15 - Robotická ruka vytahuje nástroj ze vřetene v pracovním prostoru (JK Nástroje) [13]

Série těchto dvou fotografií (Obr. 15 a 16) je ukázkou automatizované linky šesti MCV 1000 MAS firmy JK Nástroje, kde robotická ruka jezdí po lineárním vedení a přenáší nástroje z centrálního (regálového) zásobníku do stoje a zpět. Tato celá linka byla navržena a dodána Kovošvitem MAS.



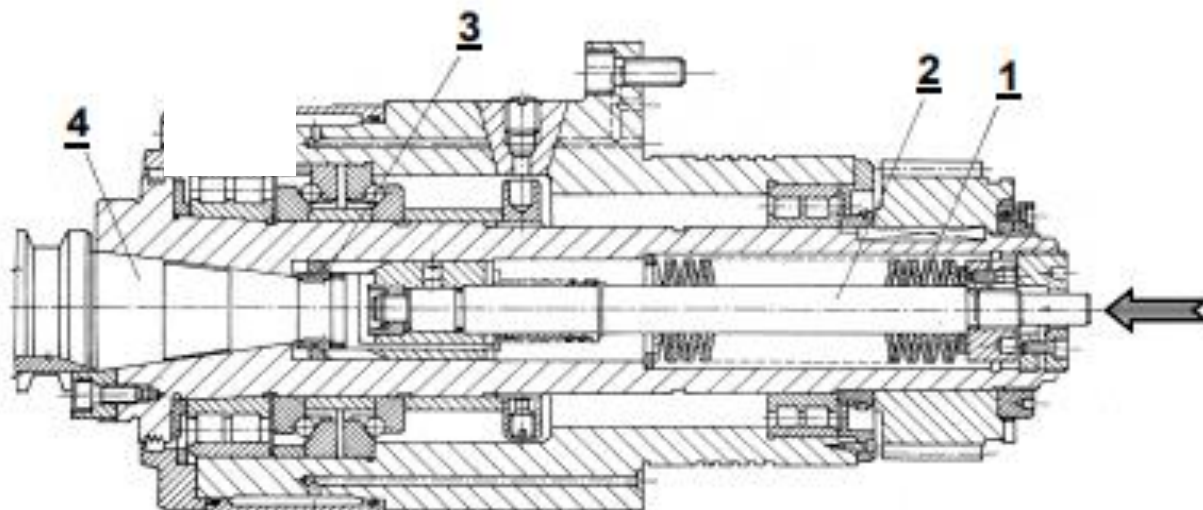
Obr. 16 Robotická ruka umísťuje nástroj do centrálního zásobníku (JK Nástroje) [13]

### 3.6. Upínací rozhraní

Vřeteno s nástrojem (nástroj + upínací držák) jsou srdcem i duší každého frézovacího stroje, právě od nich se odvíjí kvalita obráběných ploch. Proto se u tohoto konstrukčního uzlu musí dbát na vysokou propracovanost v jejich vývojových návrzích a dále na bezchybnou výrobu. Během obrábění jsou nástrojová jednotka a vřeteno vystaveny velkým ohybovým momentům, radiálním a axiálním silám. Vliv na tuhost této soustavy má velikost upínací síly a velikost dosedacích ploch upínacího držáku na vřeteno. Proto se v posledních 25 letech vývojáři zaměřili i na držáky nástrojů a jejich upínání, vyvinuli různé upínací systémy vhodné pro jednotlivé výrobní procesy. [1].

#### 3.6.1. Upínání držáků ve vřeteni

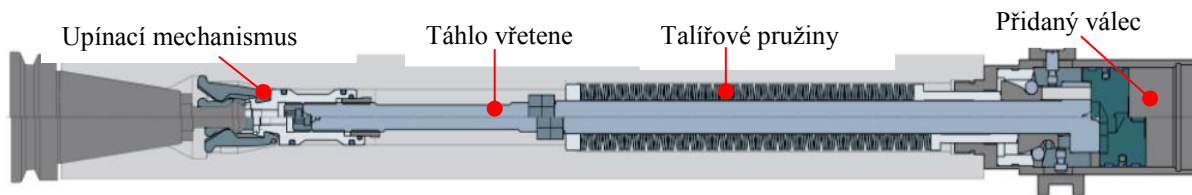
Upínání nástroje ve vřeteni je jedno z nejdůležitějších strojních operací ve strojírenství, dosedací plochy jak držáku nástroje, tak vřetena musí být té nejvyšší kvality, protože od nich se odvíjí další technologické možnosti stroje ( přesnost opětovného najetí, házení apod.)



Obr. 17 Upínání držáku pomocí pružinového mechanismu [14]

Držák nástroje je upnut ve vřeteni rychloupínací jednotkou (Obr 17). Nástroj drží v upnuté poloze pomocí tažných talířových pružin **1**, tah se přenáší pomocí táhla **2** kuličkového uzávěru **3** na držák nástroje **4**. Držák se uvolní pohybem pístu přímočarého hydromotoru ve směru šipky na pravý konec táhla, načež dojde k uvolnění uzávěru [14].

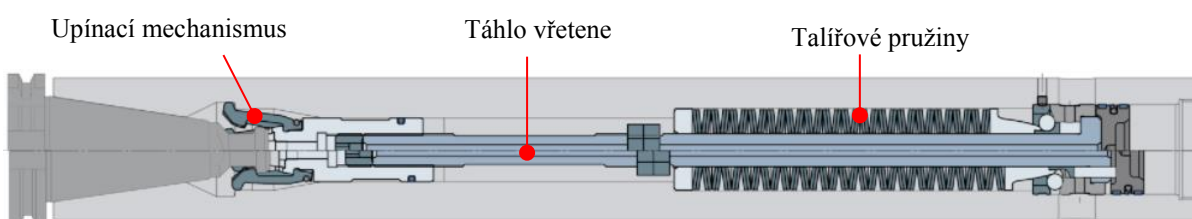
## ES OTT JAKOB



Obr. 18 Inside spindle drawbar [15]

S vnitřním táhlem vřetene, přídavný mechanismus zvětšuje upínací sílu. Mechanismus zvětšující sílu je umístěn v přidaném válci za vřetenovou hřídelí (Obr. 18). Toto provedení je vhodné pro stroje s otáčkami do 10 000 rpm [15].

## IS OTT JAKOB



Obr. 19 Spindle integrated drawbar [16]

Celé silové táhlo je zabudované do vřetenového hřídele. Uchopovací zařízení s předepjatými pružinami a vtahovacím čepem upevňují nástroj do vřetene. Speciální mechanismus zvětšuje sílu pružin, která je přenášena na táhlo vřetene. Současně se uzamyká upínací mechanismus. Tento celý mechanismus je vidět na (Obr. 19). Vhodné pro 10000 rpm a větší [16].

## Super- Lock HSK Röhml

Rotační jednotka  
pro přívod  
chladicího média

Upínací a  
uvolňovací  
jednotka

Krátká a rotačně  
symetrická  
jednotka  
s perfektním  
vyvážením

Upínací soustava HSK pro  
maximální rychlost a  
s krátkou délkou výměny  
nástroje



Obr. 20 Vřeteno Röhml [17]

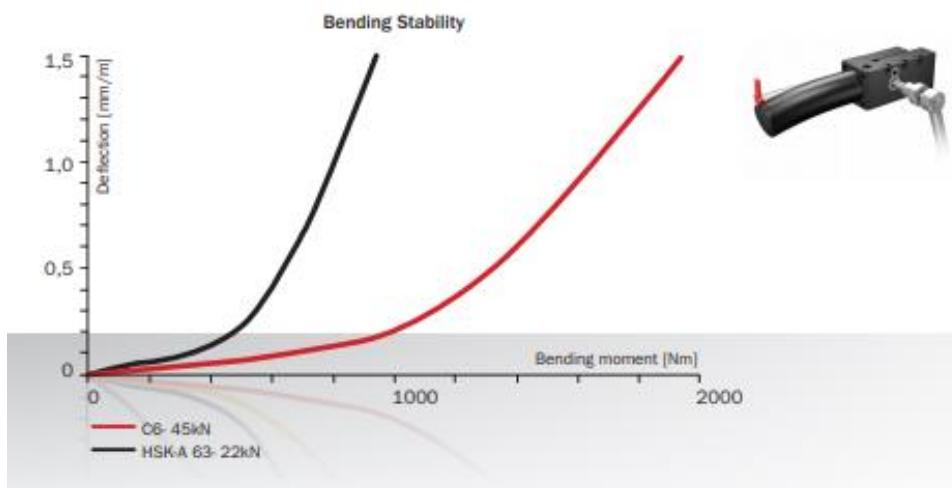
Pro vysoce výkonné obrábění (HPC) společnost Röhml vyvinula vřeteno Super- Lock (Obr. 20), které je o 50 procent kratší oproti konvenčním upínacím systémům s pružinami, čímž se mu zvyšuje tuhost upínacího systému. Nižší síly jsou přenášeny do tohoto vřetena než do vřetena s pružinovým mechanismem. Super-Lock pro HSK kužele potřebuje jinou dutinu vřetene [17].

### 3.6.2. Kuželové držáky

Držáky nástrojů	HSK A63	Capto C6	ISO/SK 40
max. otáčky (ot/min)	25 000	50 000	12 000
upínací síla (N)	18 000	36 000	12 000
obvodové házení (mm)	0,003	0,003	0,003
radiální tuhost (Nm <sup>2</sup> /mm)	3 600	NA	670
dyn. tuhost v ohybu (10e5 N/m)	5,12	4,51	NA
orientační cena (Kč, bez DPH)	2 800-7 000	4 200-10 000	1 500-6 000

Tab. 1 Srovnání kuželových držáku HSK A63, Capto C6 a ISO 40 [18], [19], [20]

Z (Tab. 1) lze pozorovat, že kužel ISO 40 (Obr. 22) je určen pro vřetena s nižšími otáčkami, HSK A63 (Obr. 22) je konstruován pro vřetena s maximálními otáčkami do 25 000 ot<sup>-1</sup>, Capto C6 (Obr. 22) lze používat až do 50 000 ot<sup>-1</sup>. Lze říci, že s rostoucími otáčkami je potřeba navýšit i upínací sílu. Obvodové házení je u všech porovnávaných kuželů stejné. Radiální tuhost HSK A63 dosahuje téměř pětkrát vyšších hodnot než u ISO 40. HSK A63 má vyšší dynamickou tuhost než Capto C6, což je výhodné u operací s vyšším posuvem a řeznou rychlostí. Na (Obr. 21) je ukázáno, že HSK A63 dosahuje lepší ohybové stability než Capto C6.



Obr. 21 Ohybová stabilita pro C6 a HSK A63 [21]

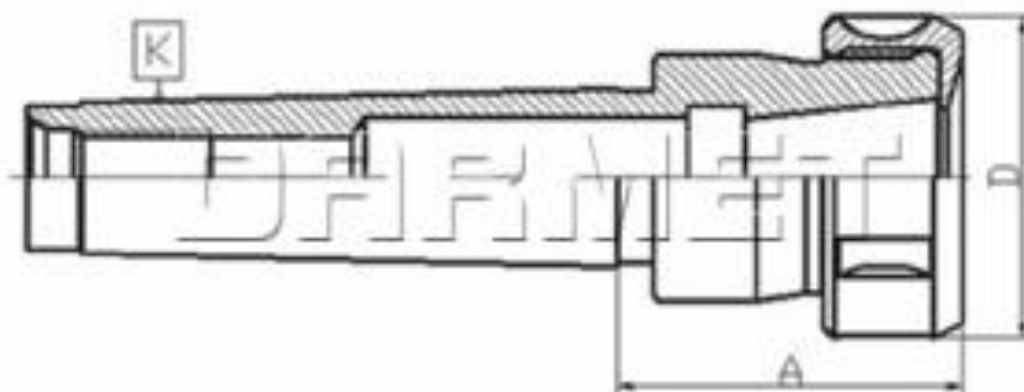


Obr. 22 Ukázka upínacích kuželů a jejich namáhání [22], [23], [24]



### 3.6.3. Držák s válcovou stopkou

Výhodou řešení držáku s válcovou stopkou je snadná údržba a vysoká přesnost upínání (radiální házení do 0,004mm). Polohování vřetena proto není nutné. Samotný držák je lehčí a tím pádem i levnější než kuželový, ale upínací zařízení je složitější než upínacích zařízení, tím pádem drahé na výrobu. Musí být dva samostatné upínací a ovládací mechanismy, jeden pro upínací kleštinu a druhý pro uzamykací zařízení, které brání vytažení nástroje při působení řezných sil [4]. Technickou skicu držáku s válcovou stopkou lze vidět na (Obr. 23).



Obr. 23 Držák s válcovou stopkou [25]

### 3.7. Výměna nástrojů u vybraných strojů

V (Tab. 2) bylo srovnáno několik obráběcích center, které jsou velikostí pracovního prostoru podobné MCU 700 a jsou v nabídce na českém trhu i zahraničním trhu. Z (Tab. 2) je patrné, že valná většina strojů má zabudován bubnový zásobník nástrojů. Výměna nástrojů je prováděna buď na přímo (pick-up) a nebo z-rm-v (zásobník-ruka manipulátoru-vřeteno). Zásobníky nástrojů jsou kapacitně dimenzovány od 30 až do 64 nástrojů nástrojů jsou udávány u strojů, kde lze přidat do stroje další zásobník, ať už řetěz nebo buben. Časy výměn jsou buď udávány výrobcem jako c-c (chip to chip-tříška-tříška) nebo t-t (tool to tool-nástroj-nástroj). Hurco a Hermle mají stejné časy výměny nástroje, i když mají rozdílné typy výměn nástrojů, z čehož lze vyvodit, že čas výměny nástroje závisí též na rychlosti pohybu zásobníku a rychloposuvu vřetene.

**Tabulka obráběcích strojů a jejich typu výměn**

Stroj	Typ stroje	Zásobník	Výměna	Kusy	Čas výměny (s)	Prac. prostor x-y-z	Ot. vřetene (rpm)
MAS MCU 700	5-osé	řetězový	pick-up	32/64	7(c-c)	700-820-550	18 000
HAAS UMC-750ss	5-osé	bubnový	z-rm-v	40	3,2(c-c)	762-508-508	15 000
DMG MORI DMU 50	5-osé	řetězový	z-rm-v	30/60	X	650-520-475	15 000
HURCO VMX 24H	3-osé	X	z-rm-v	40	4,5(c-c)	762-508-520	18 000
ZPS MCV 1210	5-osé	X	pick-up	30	3,5(t-t)	1000-800-600	18 000
HERMLE C42	5-osé	bubnový	pick-up	42	4,5(c-c)	800-800-550	18 000
EMCO MAXXMILL 750	5-osé	bubnový	X	30/60	4(c-c)	750-610-500	15 000

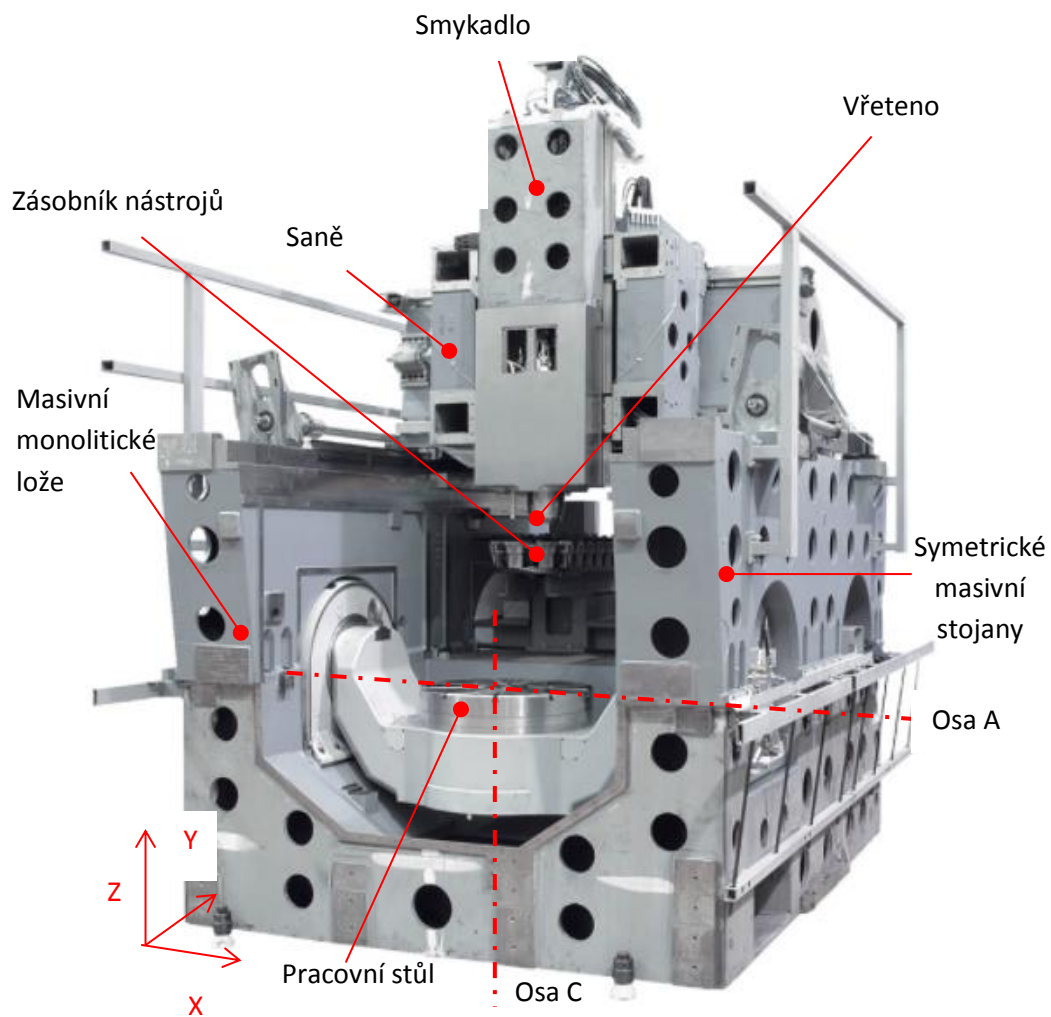
Tab. 2 Tabulka obráběcích strojů a jejich typu výměn [34],[39],[40],[41],[42]

### 3.8. Popis stroje MCU 700

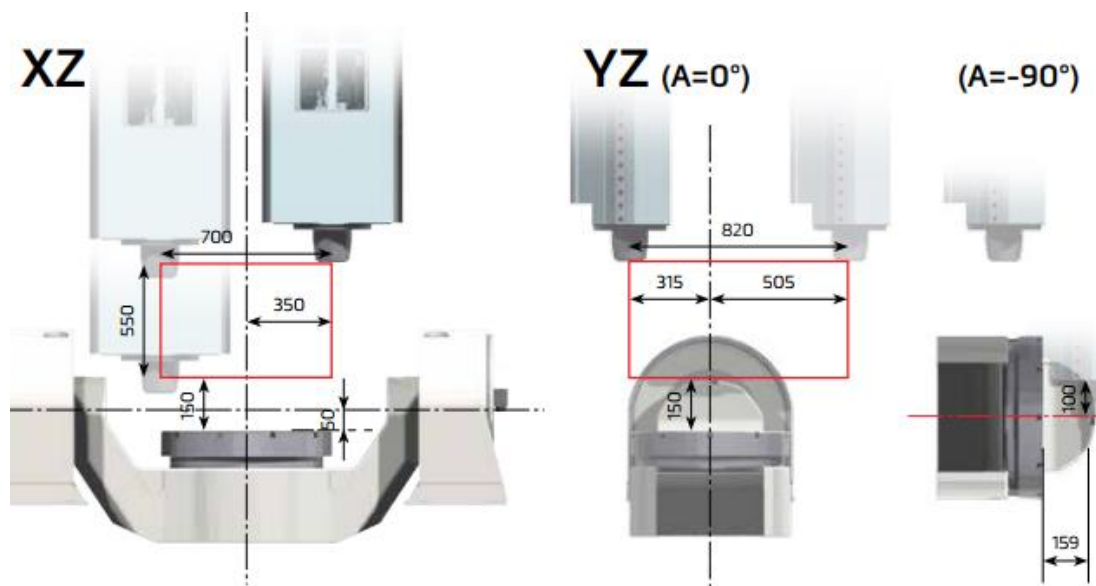


Obr. 24 MCU 700 K-MAS [30]

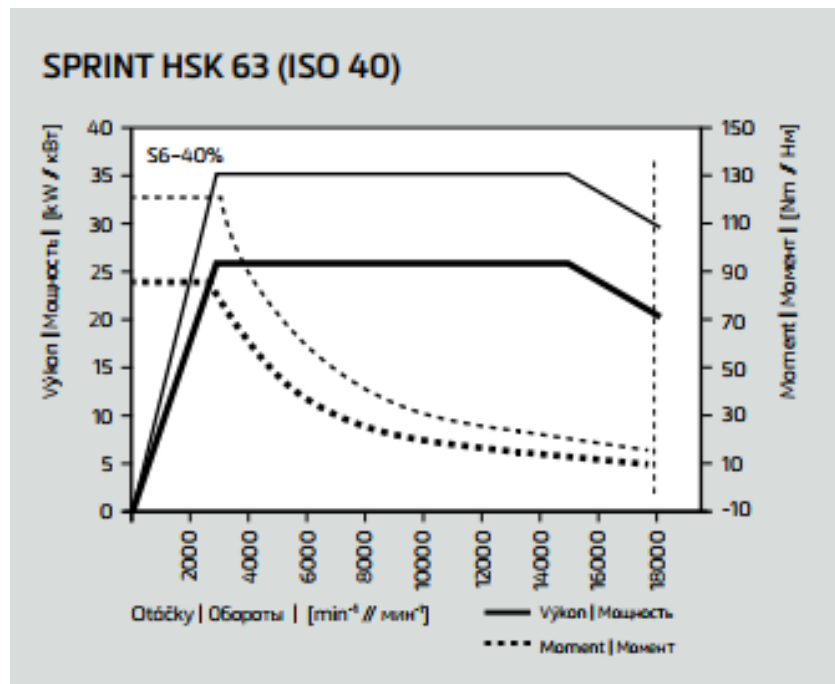
Jedná se o multifunkční pětiosé vertikální obráběcí centrum MCU 700 V-5X s konstrukcí horní gantry. Je nejmenší multifunkční centrum z portfolia Kovosvit MAS. Společnost Kovosvit dodává MCU ve dvou základních variantách, kdy jedno MCU 700V-5X není schopno soustružit. Nosné prvky stroje jsou vyrobeny z litiny přímo v Kovosvit MAS. Dosedací plochy litinové základny jsou ručně zaškrabávány (přesnost do 0,003 mm v rovinnosti, Ra 0,4 v třetí třídě jakosti- pro dosažení největší jakosti těchto ploch. Tyto plochy jsou následně přesně slícovány, což hraje velkou roli v přesnosti najíždění stroje. Jako pohony rotačních os se používají přímé pohony s digitálními prstencovými servomotory bez převodovek. Všechny pohony jsou zároveň průtokově chlazeny vodou z vlastní chladničky, toto přináší tepelnou stabilitu. Má tři osy s přímým odměřováním, osa y je zdvojená, což přispívá k větší přesnosti stroje (Obr. 25). Otočně-sklopný stůl je ukotven na obou stranách stroje, a to přispívá k zvýšení tuhosti kolíčky. Pracovní prostor stroje má rozměry 700x820x550 mm (x:y:z) (Obr. 26), kolíčka se může natáčet okolo osy A až o 150 stupňů, je vybavena přímým odměřováním. Maximální hmotnost obrobku je 850 kg a jeho maximální průměr je 1000 mm. Vřeteno má vlastní integrovaný pohon (build-in) a může být silové nebo vysoko-otáčkové s plynulou regulací otáček. Nástrojový kužel, který se dá dosadit do vřetene je HSK A-63 nebo ISO 40 [31], [32], [33].



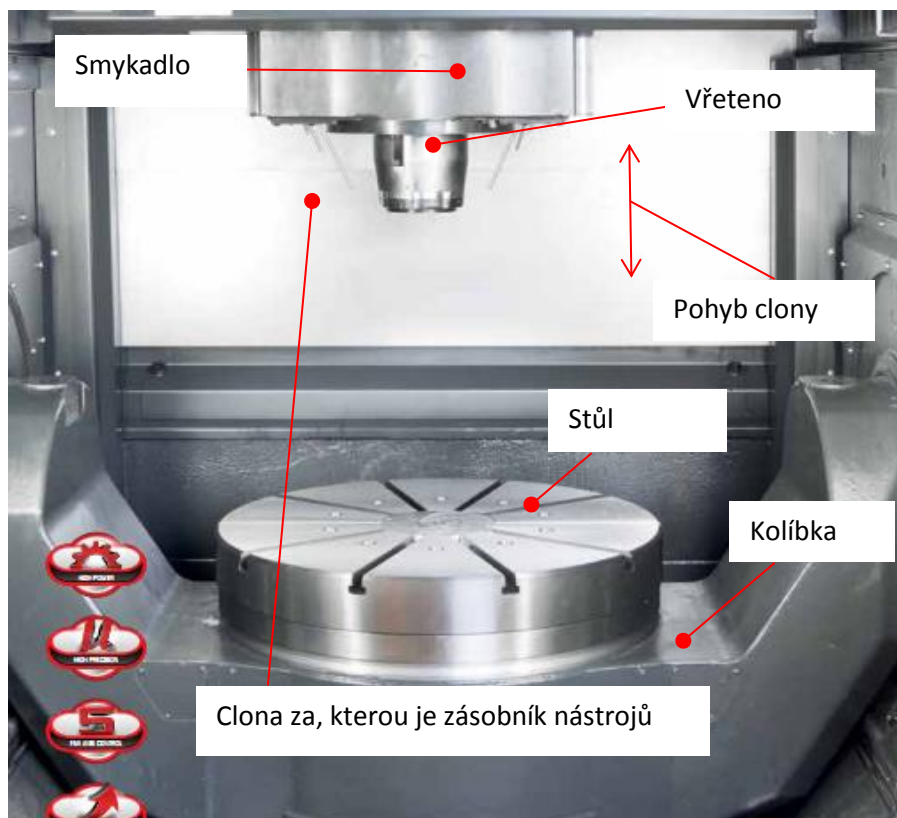
Obr. 25 MCU 700 bez krytování [34]



Obr. 26 Pracovní prostor stroje [34]



Obr. 27 Výkonová charakteristika vřetena [34]



Obr. 28 Pracovní prostor [34]

<b>Technická data stroje</b>		Hodnoty
Lineární osy	Pojezd v X (mm)	700
	Pojezd v Y (mm)	820
	Pojezd v Z (mm)	550
	Rychloposuv X,Y,Z (mm/min)	60 000
	Zrychlení X,Y,Z (mm/s <sup>2</sup> )	6 500
	Programovatelný krok (mm)	0,001
Pracovní stoly	Velikost upínací plochy stolu (mm)	630/800
	Maximální průměr obrobku (mm)	1 000
	Maximální zatížení stolu (kg)	850
	Maximální výška obrobku (mm)	500
	Výška stolu nad podlahou (mm)	920
Přesnost ČSN ISO 230-2	Stavění souřadnic (mm)	0,004
	Najetí (mm)	0,007
Přesnost VDI/DGQ3441	Stavění souřadnic (mm)	0,004
	Najetí (mm)	0,007
Přesnost JSI B 6336	Vyhodnocení po dráze (mm)	±0,003
	Opakované najetí (mm)	±0,002
Řídicí systém	Sinumerik 840D	Heidenhain iTNC 640

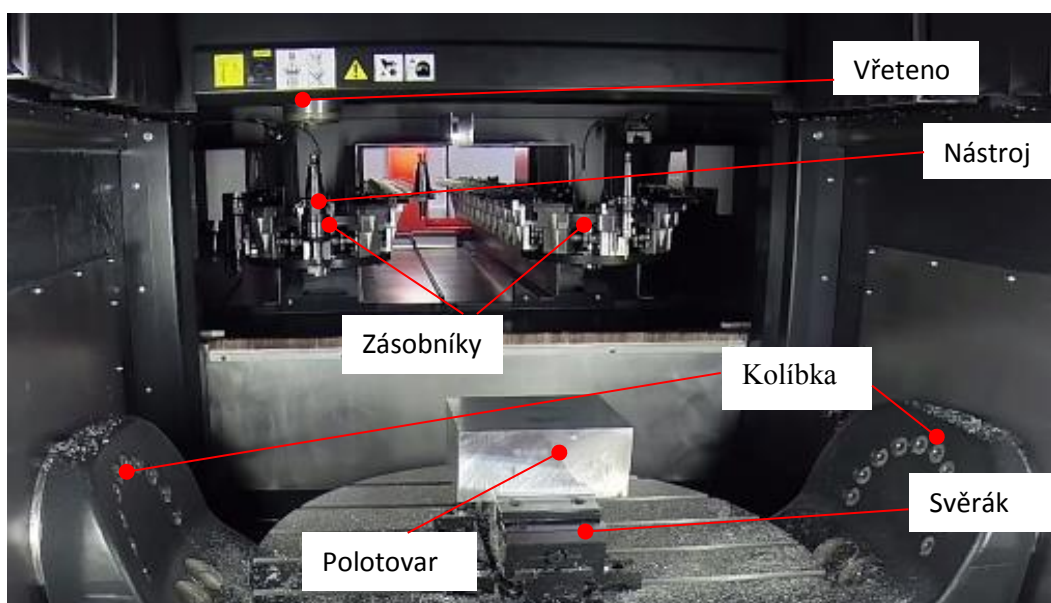
Tab. 3 technická data MCU 700 [34]

<b>Technická data vřeten a zásobníků</b>				
Standart	Power	Speed	Sprint	Rapid
Vřeteneno pro soustružnické operace s hydraulickou brzdou	Ne	Ne	Ano	Ano
Kužel vřetene	ISO50	HSK 63	HSK 63	HSK 63
Rozsah otáček (ot/min)	20-10 000	20 – 12 000	20- 18 000	20-24 000
Výkon pohonu vřetene S1/S6 (kW)	20/26	32/48	25/35	19/27
Kroutící moment (Nm)	800	2 000	2 800	3 600
Vzdálenost čela vřetene od otočně sklopného stolu MIN/MAX (mm)	110-660	150-700	150-700	150-700
Způsobv výměny nástrojů	Napichovací			
Nástrojový držák	ISO 7388/1 50	DIN 69893	DIN 69893	DIN 69893
Maximální počet nástrojů	24/48	32/64	32/64	32/64
Maximální průměr nástroje (mm)	130	80/130	80/130	80/130
Maximální délka nástroje (mm)	265	320	320	320
Maximální hmotnost nástroje (kg)	10	10	10	10
Čas výměny nástroje-nástroj/nástroj-tříska/tříska	3/7	3/7	3/7	3/7

Tab. 4 technická data vřeten a zásobníků [34]

### 3.8.1. Výměna nástrojů MCU 700

Výměna nástroje v MCU 700 je prováděná systémem pick-up (napřímo). Zásobník nástrojů je umístěn vedle pracovního prostoru, od kterého je oddělen clonou. Vřeteno najede do definované polohy pro výměnu, poté položí použitý nástroj do prázdného místa zásobníku, zásobník udělá definovaný pohyb, kterým se dostane na pozici požadovaného nástroje. Vřeteno jej uchopí a odjíždí do pracovní polohy. Chip to chip čas dosahuje 7 sekund a pro tool to tool 3 sekund (pokud jsou nástroje v zásobníku vedle sebe). Na stroji MCU 700 je použit řetězový zásobník (Obr. 29), osa rotace zásobníku je rovnoběžná s osou rotace vřetene MCU 700 a dodává se buď s jedním řetězovým zásobníkem (32 nástrojů) nebo se dvěma zásobníky (64 nástrojů) a druhý zásobník lze zabudovat i do stroje pořízeného s jedním zásobníkem [34].



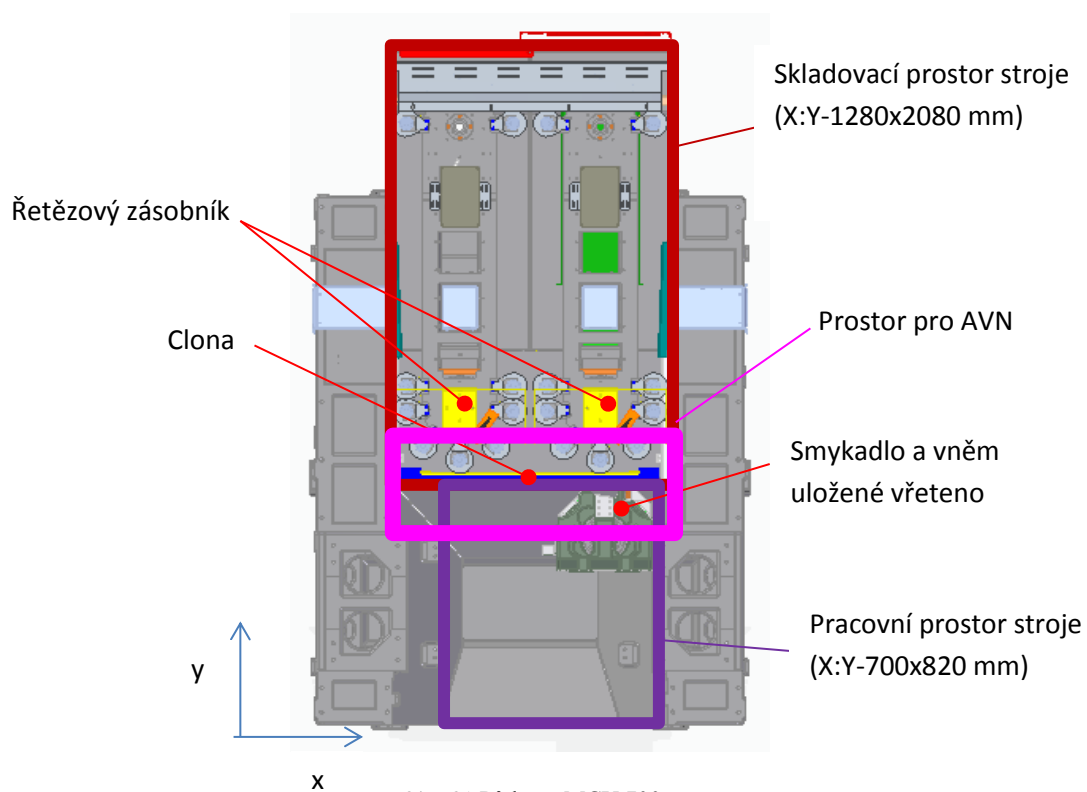
Obr. 29 Pracovní prostor MCU 700 při výměně nástroje [35]



Obr. 30 Pracovní prostor MCU 700 již s vyměněným nástrojem [35]

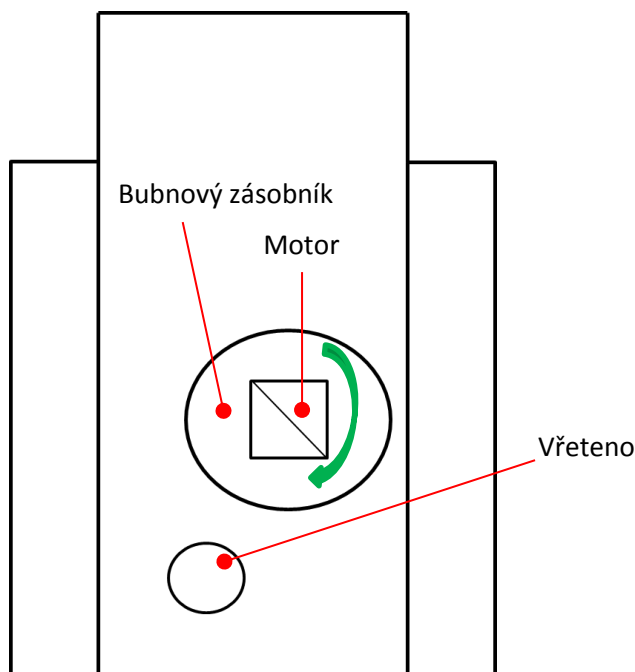
## 4. Návrh variant konstrukčního uzlu AVN

V předešlých kapitolách byly popsány konstrukční uzly zasahující do AVN. Jako hlavní parametry hodnocení návrhů byly vybrány následující parametry: porovnání zmenšení/udržení velikosti pracovního prostoru stroje, druh výměny nástroje, typ zásobníku nástrojů, kapacita zásobníku nástrojů a počet pohonů zapojených do výměny nástroje. Výběr těchto kritérií byl zvolen na základě funkčních parametrů daného stroje, které jsou nezbytné pro zachování konstrukce stroje bez výrazných úprav. Varianty byly zasazeny do půdorysu MCU 700 (Obr.31).





#### 4.1. Varianta 1 – Vnitřní buben

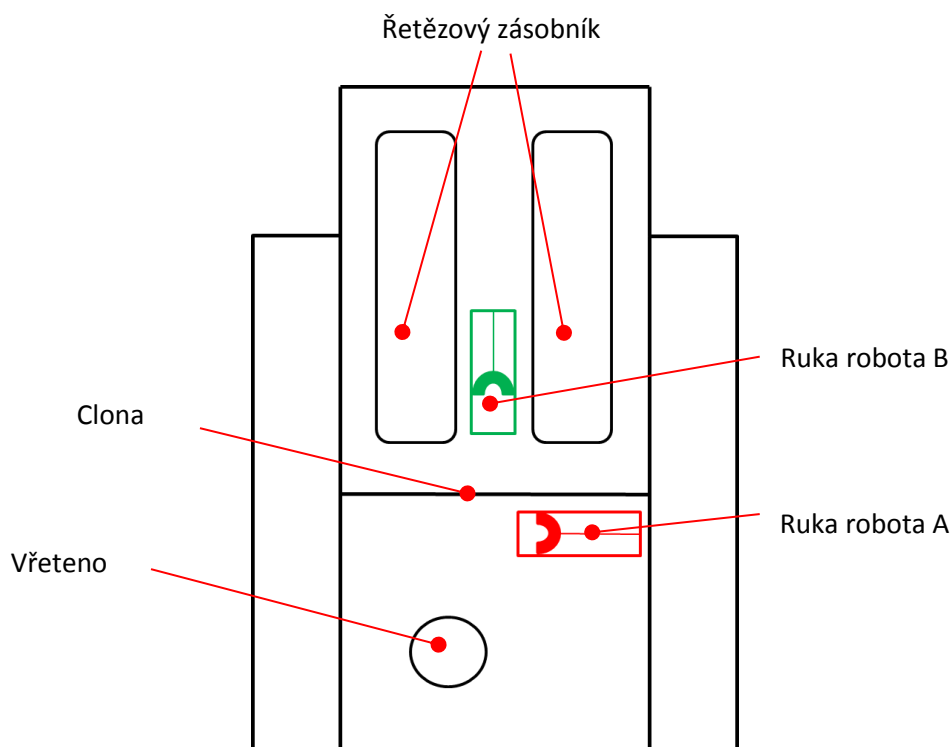


Obr. 32 Varianta 1

Vřeteno najede do prostoru definovaného pro výměnu nástroje. Nástroj, který je upnut ve vřeteni, vřeteno uloží nástroj do prázdné polohy v zásobníku. Zásobník vykoná rotaci a najede na polohu požadovaného nástroje. Vřeteno uchopí požadovaný nástroj s ním do místa řezu. Zásobník by byl umístěn v pracovním prostoru (bez clony). Varianta je umístěna v půdorysu MCU 700 (Obr. 32).

- + Téměř okamžitá výměna díky blízkosti zásobníku k vřeteni  
Jen jedno místo výměny nástroje
- Malý počet nástrojů  
Velká zástavná plocha, zabírající místo v pracovním prostoru  
Nevyužitý prostor stroje

## 4.2. Varianta 2 - Robotické ruce

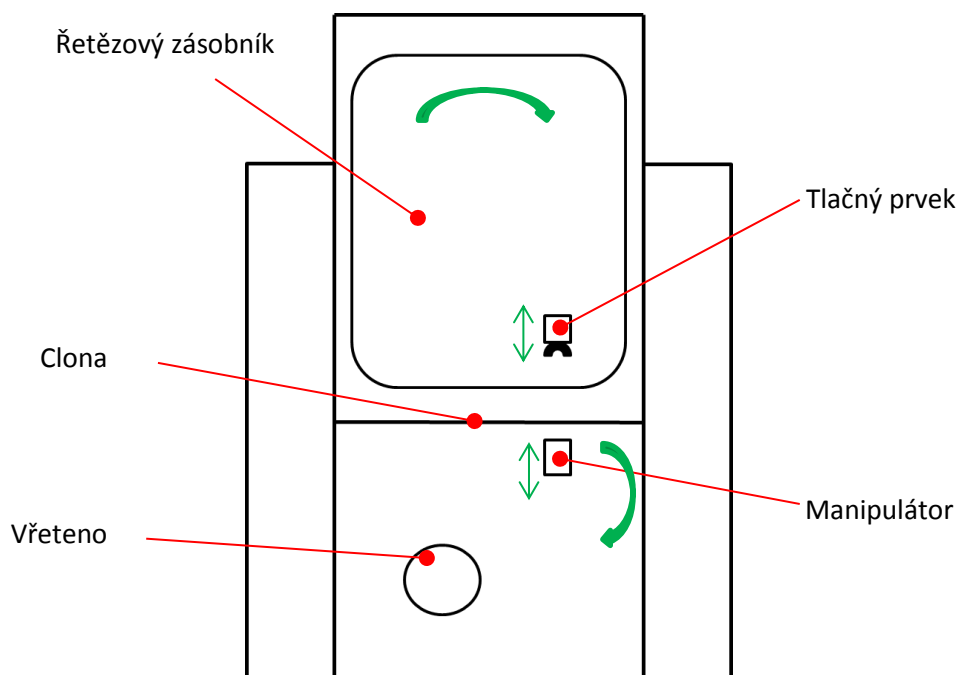


Obr. 33 Varianta 2

Vřeteno najede do prostoru definovaného pro výměnu nástroje. Ruka A (červená) po zastavení vřetene odebere nástroj z vřetene. Mezitím zásobník najel na požadovaný nástroj, ruka B (zelená) ho uchopí a nese do prázdného vřetene, kde dojde k upnutí. Ruka A použitý nástroj umístí do prázdné polohy v zásobníku. Po odložení nástroje rukou A nástroje rukou B se ruce vrací do svých klidových poloh a současně vřeteno odjíždí do místa řezu. Varianta je umístěna v půdorysu MCU 700 (Obr. 33).

- + Nezávislé odebrání/upnutí nástroje z/do vřetene  
Stejná kapacita zásobníků
- Cena  
Velký počet pohonů robotických rukou  
Odolnost pohonů robotických rukou vůči řezné kapalině

### 4.3. Varianta 3 – Tlačný prvek

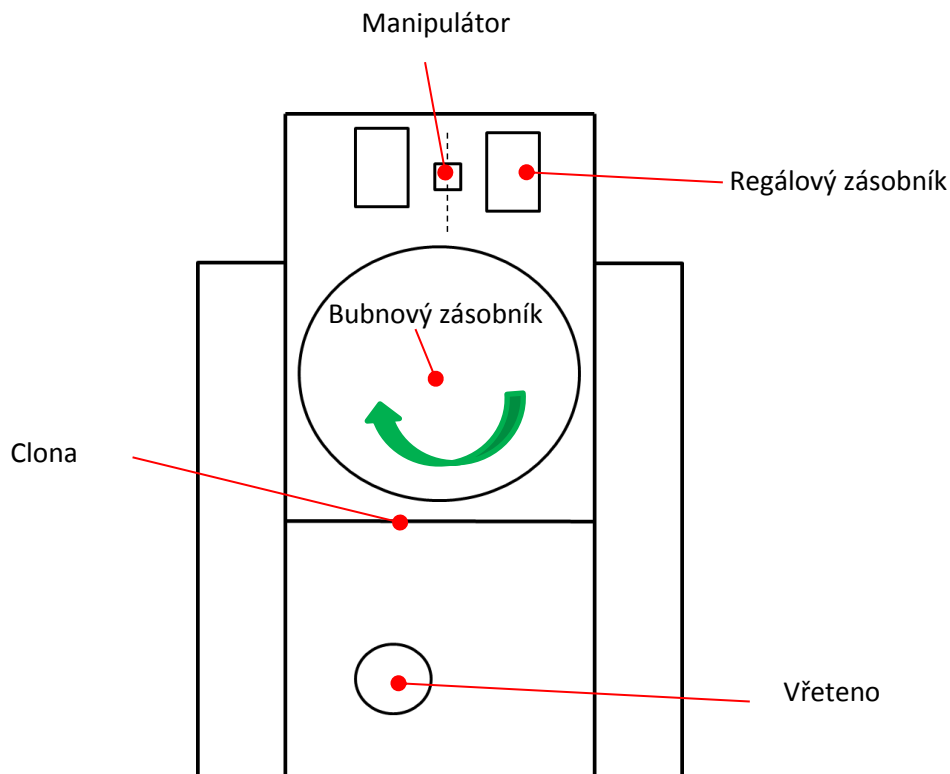


Obr. 34 Varianta 3

Vřeteno najede do prostoru definovaného pro výměnu nástroje. Simultánně zásobník najíždí do polohy požadovaného nástroje. Tlačný prvek zatlačí nástroj do volné pozice ruky manipulátoru. Manipulátor je umístěn v pracovním prostoru. Ruka manipulátoru vykoná rotaci kolem své osy otáčení o 90°, vřeteno odkládá použitý nástroj do volné pozice ruky manipulátoru. Manipulátor koná přímočarý pohyb. Nástroj ze zásobníku si bere vřeteno a s upnutým nástrojem odjíždí do místa řezu. Ruka manipulátoru vrací použitý nástroj do prázdné pozice v zásobníku. Varianta je umístěna v půdorysu MCU 700 (Obr. 34)

- + Zachování koncepce zásobníku  
Pouze jeden pohon zásobníku
- Menší pracovní prostor kvůli umístění manipulátoru  
Více pohonů než v současné variantě  
Spolupráce více konstrukčních prvků než v současné variantě

#### 4.4. Varianta 4 – Buben

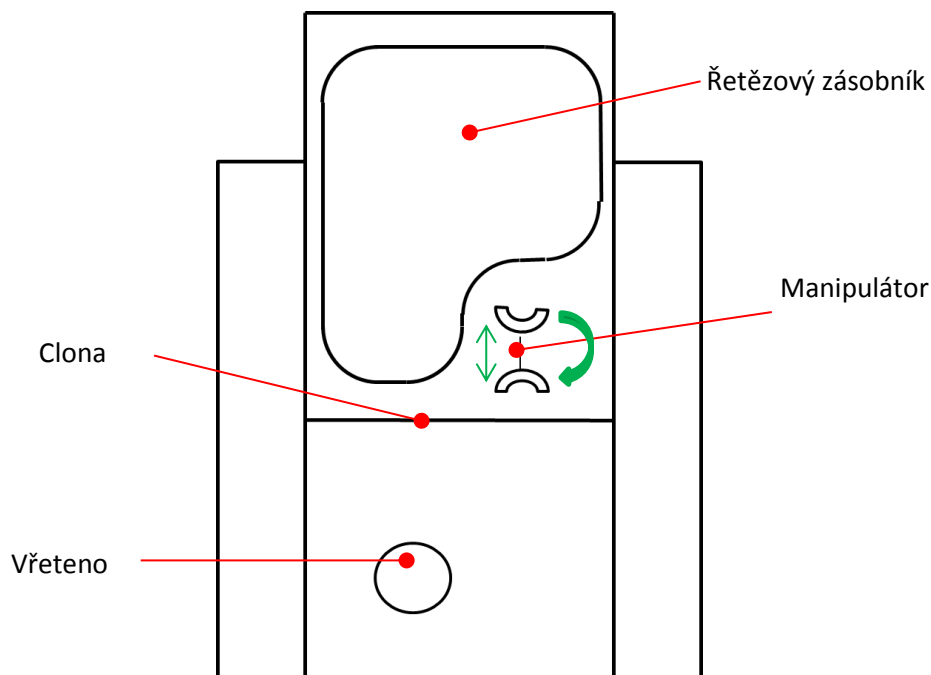


Obr. 35 Varianta 4

Vřeteno najede do prostoru definovaného pro výměnu nástroje. Ve stejném čase buben najíždí na prázdnou pozici v zásobníku. Vřeteno odkládá použitý nástroj, dojde k rotaci bubnu, čím se napolohuje pozice požadovaného nástroje. Vřeteno si upíná požadovaný nástroj a odjíždí s ním do místa řezu. Jako další zásobníky jsou v zadní části skladovacího prostoru přidány regálové zásobníky, mezi nimiž se pohybuje manipulátor, který může vyměňovat nástroje mezi bubnovým a regálovým zásobníkem. Varianta je umístěna v půdorysu MCU 700 (Obr. 35).

- + Původní typ výměny (pick-up)  
Zachování kapacity zásobníku vůči základní variantě  
Zachování velikosti pracovního prostoru  
Možnost rozšíření kapacity nástrojů ve stroji
- Více pohonů než v současné variantě  
Spolupráce více konstrukčních prvků než v současné variantě

#### 4.5. Varianta 5 – Řetězový zásobník-manipulátor



Obr. 36 Varianta 5

Vřeteno najede do prostoru definovaného pro výměnu nástroje. Manipulátor má již připraven požadovaný nástroj ze zásobníku, vřeteno umístí nástroj do volné pozice ruky manipulátoru, ruka se otáčí o 180° a nástroje si vymění vzájemně své pozice, vřeteno si upne požadovaný nástroj a odjíždí do místa řezu. Použitý nástroj odjíždí do zásobníku. Varianta je umístěna v půdorysu MCU 700 (Obr. 36).

- + Zachování typu zásobníku  
Zachování velikosti pracovního prostoru  
Zachování kapacity zásobníku vůči základní variantě
- Jiný typ výměny než stávající  
Spolupráce více konstrukčních prvků než v současné variantě

#### 4.6. Volba varianty pro další konstrukční řešení

Dle již dříve zmíněných kritérií byly varianty uspořádány do tabulky 5 s hodnoceními.

Číslo varianty	Velikost prac.prostoru	Typ výměny	Zásobník	Velikost zásobníku*	Počet pohonů	Známka vůči stávajícímu provedení
1	↓	pick-up	buben	-	1	D
2	↓	z-rm-v	řetěz	+	8	E
3	↓	z-rm-v	řetěz	=	4	C
4	=	pick-up	buben+regál	=	3	B
5	=	z-rm-v	řetěz	+	3	B

Tab. 5 hodnotící tabulka navrhovaných variant

A-nejlepší, F-nejhorší

↓ - snížení velikosti pracovního prostoru

= - zachování velikosti pracovního prostoru

z-rm-v – zásobník-ruka manipulátoru-vřetenno výměna

= - stejná kapacita zásobníku

+ - větší kapacita zásobníku

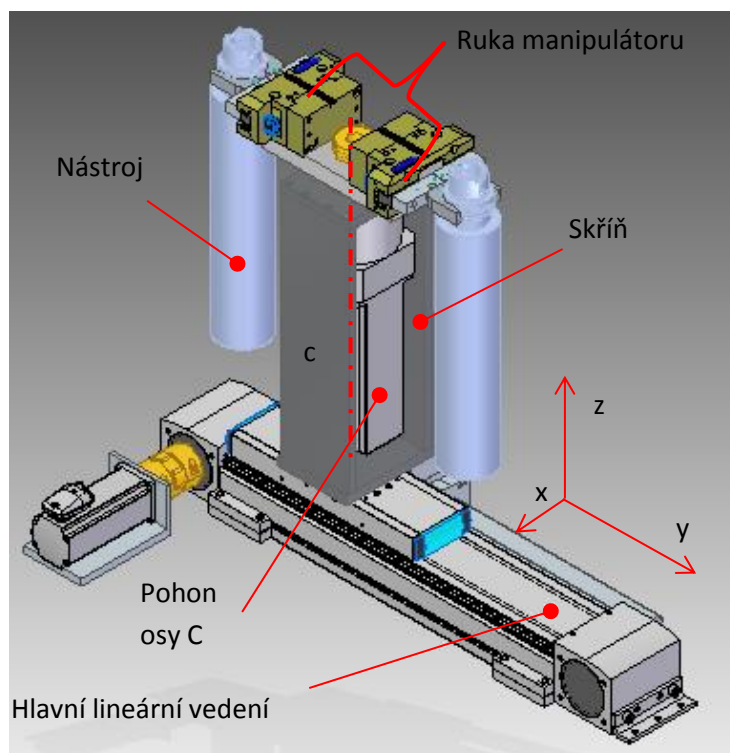
- - menší kapacita zásobníku

\* - počet nástrojů v základní verzi 32 nástrojů

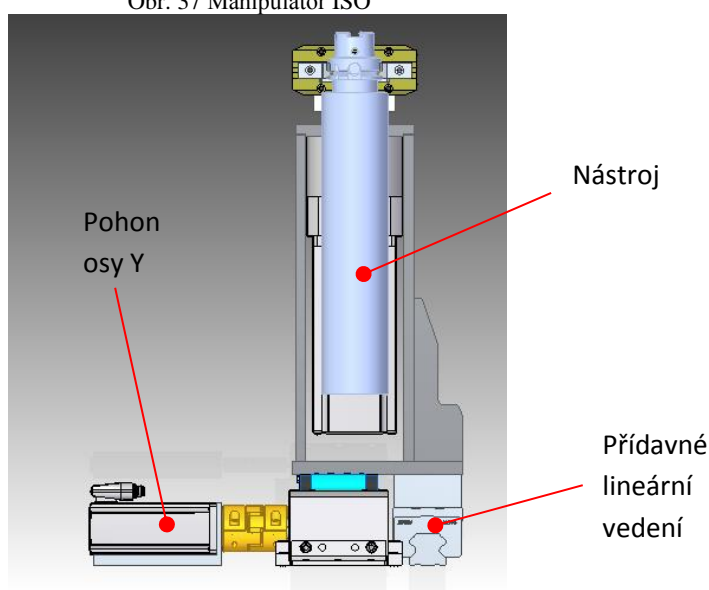
Z hodnocení v (Tab. 5) dosáhly nejlepších výsledků varianty číslo 4 a číslo 5. Po představení variant konzultantovi v Kovosvit MAS byla po vzájemné dohodě zvolena varianta 5, řetězový zásobník-manipulátor, jako nevhodnější z navrhovaných variant.

## 5. Návrh konstrukce

Zvolená varianta řešení byla zpracována jako konstrukční návrh, u vybraných prvků byly provedeny návrhové a kontrolní výpočty. Celý návrh lze vidět na (Obr.37) a (Obr. 38). Při konstrukci bylo postupováno od ruky manipulátoru až k lineárnímu vedení. Postup byl zvolen kvůli vstupním parametrům: kužel HSK A63, maximální rozměry nástroje (průměr 130 mm a délka 320 mm) a maximální hmotnost nástroje (10 kg), od těchto požadavků se odvíjely další parametry konstrukce.



Obr. 37 Manipulátor ISO



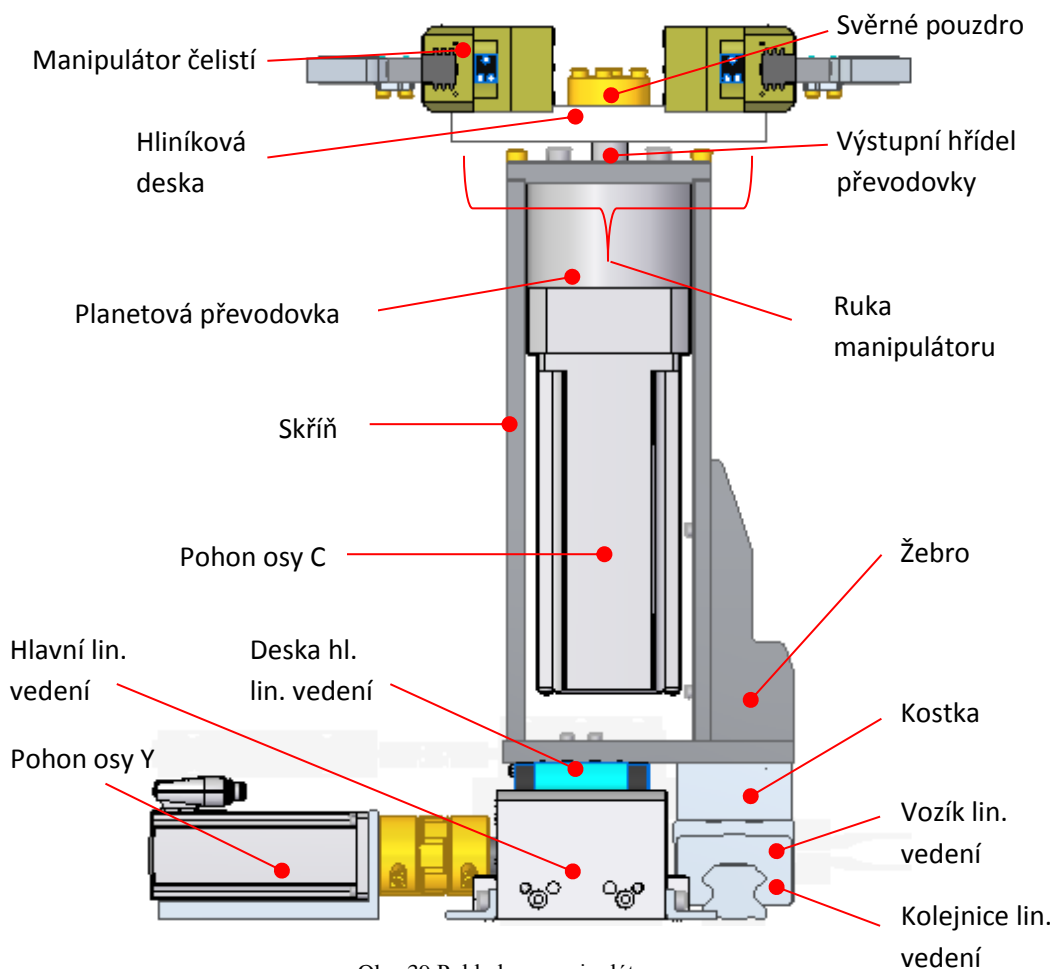
Obr. 38 Manipulátor s nástroji

## 5.1. Popis konstrukce

Konstrukce manipulátoru (Obr. 39) se skládá z hlavního lineárního vedení s ozubeným řemenem ELGA-TB-KF-120-200-20-OH (příloha 1) umístěného na loži stroje. Pohyb osy Y je vykonáván motorem EMME-AS-60-LS-ASB (příloha 2), tento pohon vykonává zdvih 0-200 mm. Pro větší stabilitu v ose Y a při rotaci s nástrojem v ose C bylo přidáno přídavné lineární vedení HIWIN, vozík HGH 45CA (příloha 3) a kolejnice HGR-45R, na vozík byl přimontována kostka, kvůli vyrovnání výšek hlavního lineárního vedení a přídavného lineárního vedení.

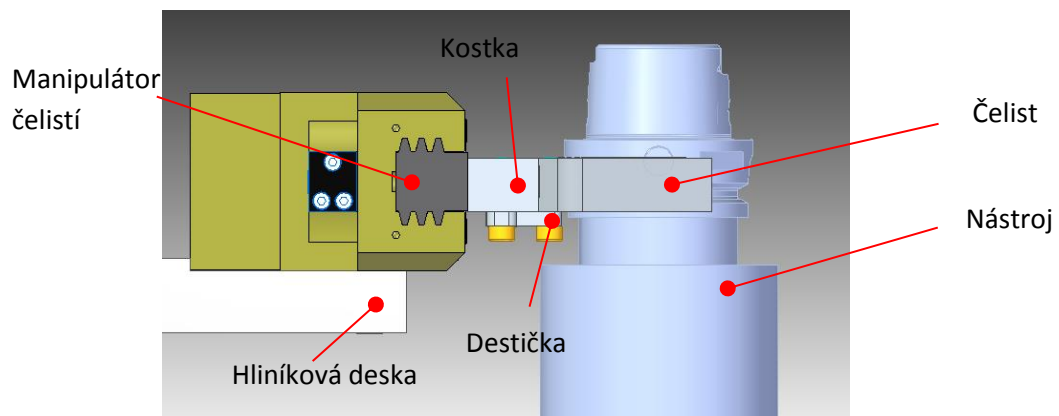
Na lineární vedení je umístěna ocelová skříň, která je šroubována a kolíkována. Skříň je vyztužená pomocí žebér, které zamezují naklopení skříně během rotace nástrojů. Do skříně je umístěna planetová převodovka EMGA-120-P-G5-SAS-100 (příloha 4) s motorem EMME-AS-100-S-HS-ASB (příloha 5), který rotuje s rukou manipulátoru okolo osy C.

Ruka manipulátoru je připevněna k výstupní hřídeli převodovky pomocí svěrného pouzdra SIT-LOCK3 25x34 (příloha 6). Ruka manipulátoru se skládá z robustní hliníkové desky, na které jsou na obou koncích umístěny manipulátory čelistí PGN-PLUS 125-2-AS (příloha 7). Na manipulátorech čelistí jsou umístěny kostky s profilem T drážky, na které jsou pomocí protikusů T drážky připojeny čelisti viz. (Obr.40 a 41). Čelisti svírají nástrojové upínací rozhraní HSK A63 za jeho drážku (Obr.42).

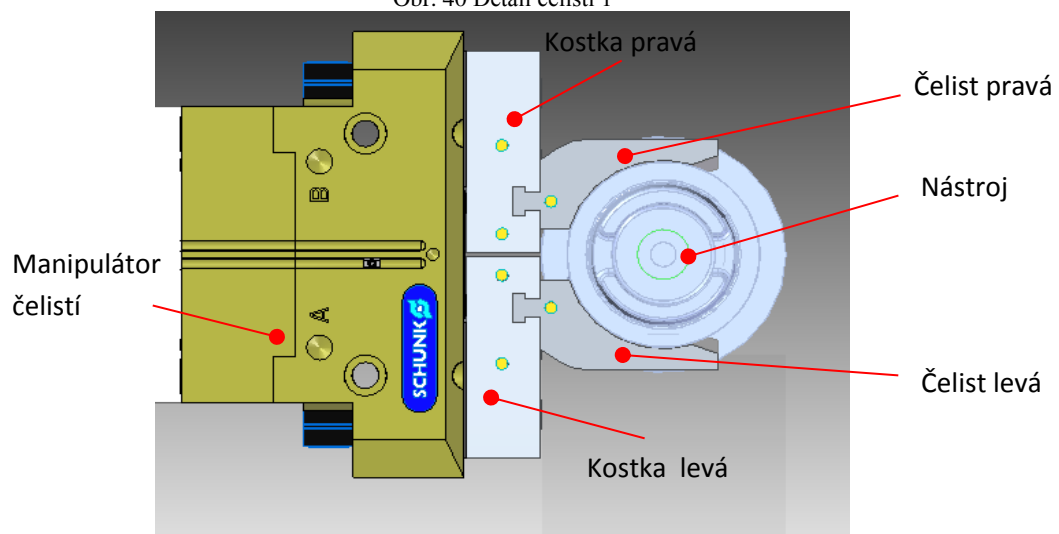


Obr. 39 Pohled na manipulátor

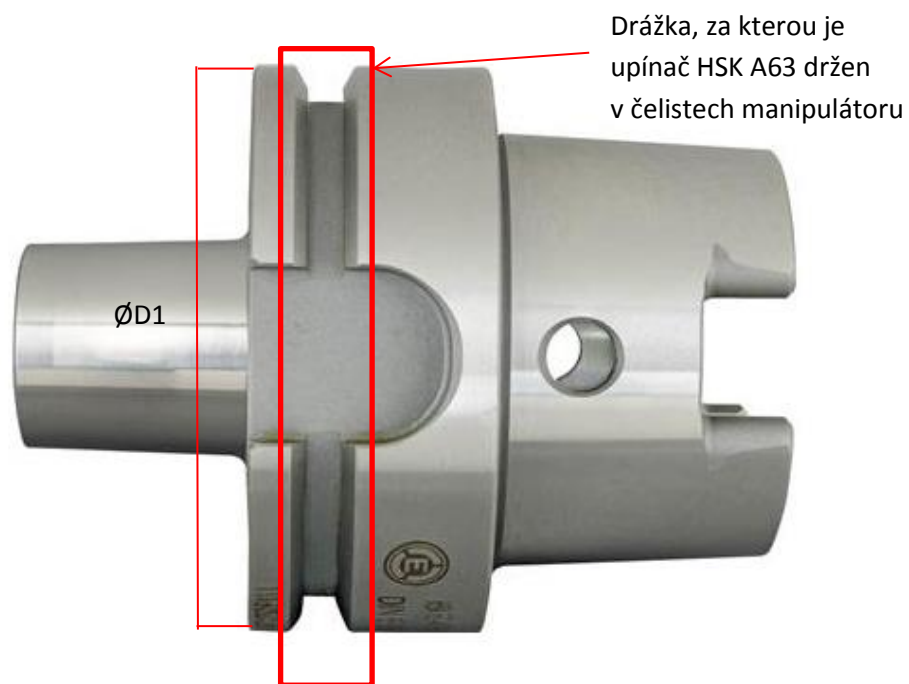




Obr. 40 Detail čelistí 1



Obr. 41 Detail čelistí 2

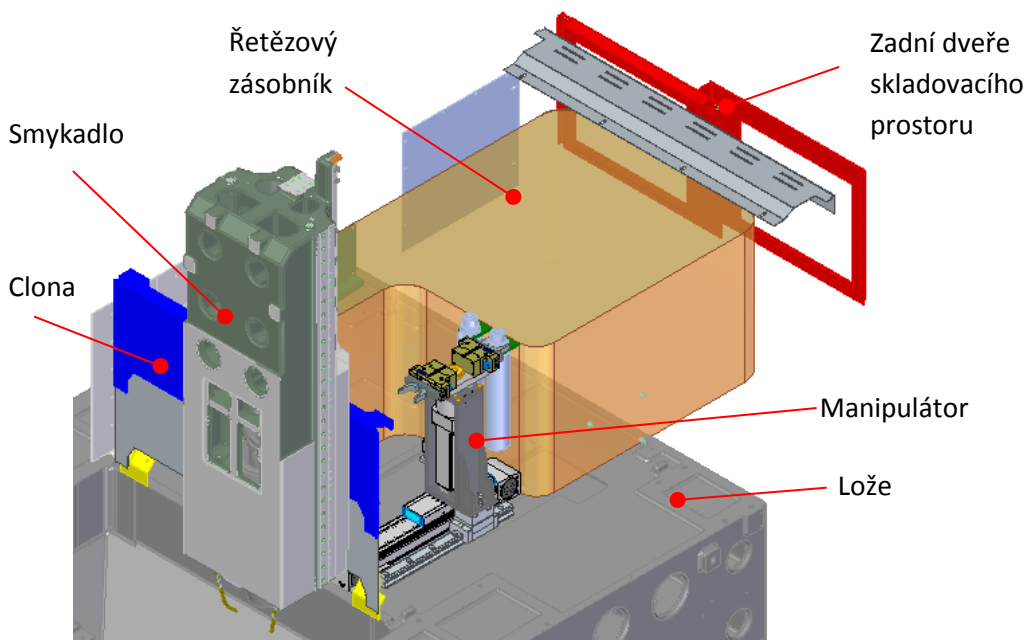


Obr. 42 Nástrojové upínací rozhraní HSK A63

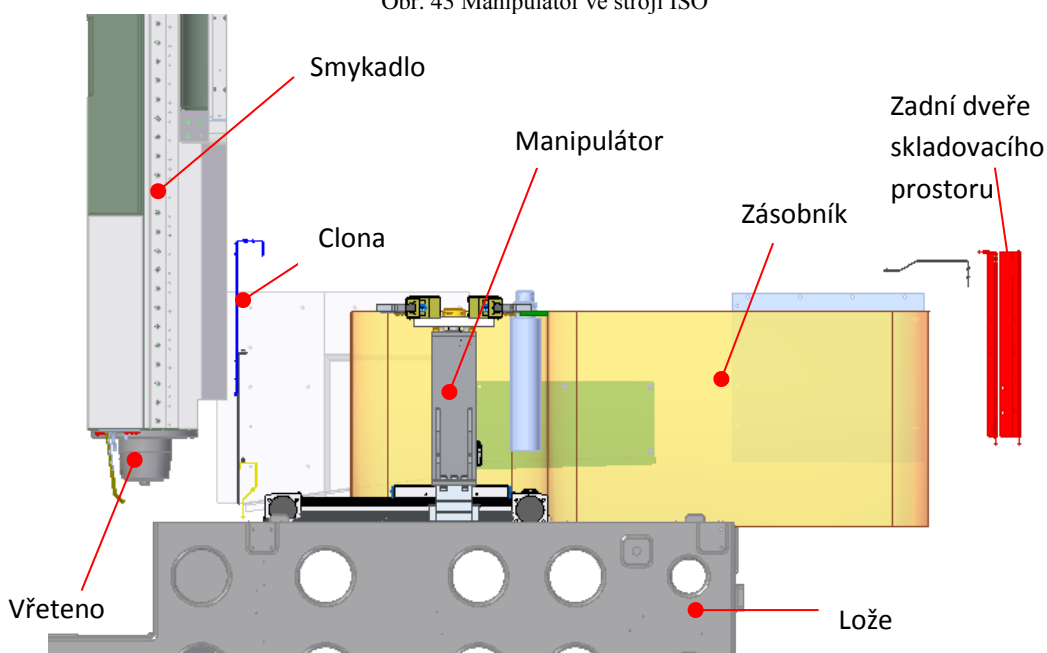
## 5.2. Umístění manipulátoru ve stroji

Umístění manipulátoru pro automatickou výměnu nástroje je vidět na (Obr.43 a 44). Manipulátor je umístěn na loži MCU 700. Pro další polohování se muselo dbát na kinematiku rotačního pohybu, aby nenastala kolize se strojem samotným. Uzel konstrukce má pro upevnění ve stroji několik upevňovacích dílů. Pohon s ozubeným řemenem má upevnění profilu a patkové upevnění (viz. výkres BP-101).

Přídavné lineární vedení je již připraveno pro upevnění od výrobce, v kolejnici jsou zahlobení pro šrouby s válcovou hlavou.



Obr. 43 Manipulátor ve stroji ISO

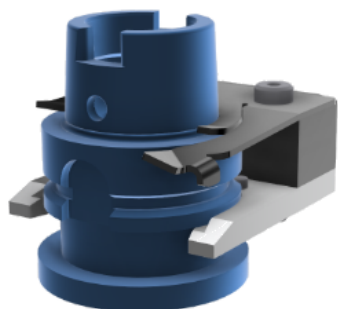


Obr. 44 Manipulátor ve stroji 2

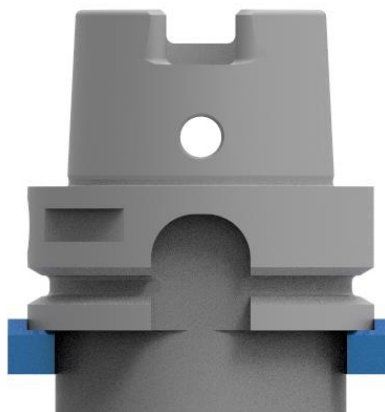
### 5.3. Zásobník

Potenciální řetězový zásobník lze vidět na (Obr. 43 a 44) . Při rozteči nástrojů 125 mm by dosahovala jeho kapacita 38 nástrojů. Zásobník by byl upevněn patkami na loži stroje a poháněn motorem.

Hlavní změnou v konstrukci, která souvisí s AVN je upnutí HSK A63 v zásobníku. Pro upnutí HSK A63 musí být využit průměr D1 (Obr.42) a to z důvodu , aby nedošlo ke kolizi při výměně nástroje ze zásobníku do manipulátoru. Ukázky těchto upnutí lze vidět na (Obr.45 a 46).



Obr. 45 Řešení upínání HSK A63 nevyužívající jeho drážku-firma Tackrockford [44]

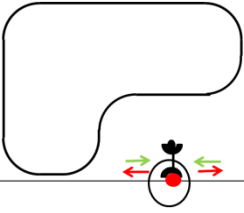
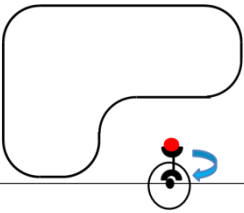
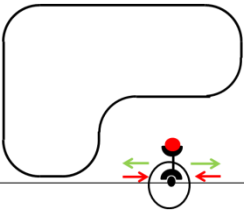
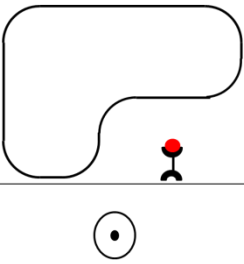


Obr. 46 Ukázka upnutí HSK A63 za průměr D1

### 5.4. Výměna nástroj-nástroj navrhovaného manipulátoru

V této podkapitole je ukázán sled operací AVN s časem výměny nástroj-nástroj navrhovaného manipulátoru. Vřeteno si vyměňuje použitý (červená tečka) nástroj za nový (černá tečka). Modré šipky naznačují pohyb manipulátoru (v ose Y a rotace v ose C). Červené šipky naznačují odepnutí/upnutí nástroje ve vřeteni. Zelené šipky naznačují sevření/otevření čelistí manipulátoru.

Pořadí	Operace	Popis	Čas
1		Manipulátor pohyb v ose Y k zásobníku	-
2		Čelisti manipulátoru upínají nástroj	-
3		Manipulátor pohyb v ose Y k pracovnímu prostoru, otevření clony	-
4		Vřeteno s nástrojem najíždí do prázdné pozice v ruce manipulátoru	-

5			<p>Sevření čelistí manipulátoru, odepnutí nástroje ze vřetene, pohyb vřetene ve směru osy Z nahoru</p>	0,82 s
6			<p>Rotace ruky manipulátoru o 180 stupňů okolo osy C</p>	1,2 s
7			<p>Pohyb vřetene ve směru osy Z dolů, upnutí nástroje ve vřeteni, otevření čelistí manipulátoru</p>	0,78 s
8			<p>Odjezd vřetene s vyměněným nástrojem do místa řezu</p>	-

Tab. 6 Výměna nástroje, X-nepočítá se do času výměny

$$t_{N-N} = t_5 + t_6 + t_7 = 0,82 + 1,2 + 0,78 = 2,8 \text{ s} \quad (5.1)$$

Výsledný čas výměny nástroj-nástroj je 2,8 sekund . Tento čas je pouze výpočtový bez zahrnutí časů odezev čidel a PLC.

## 5.5. Návrhové a kontrolní výpočty

### 5.5.1. Připojení hřídele převodovky k ruce manipulátoru

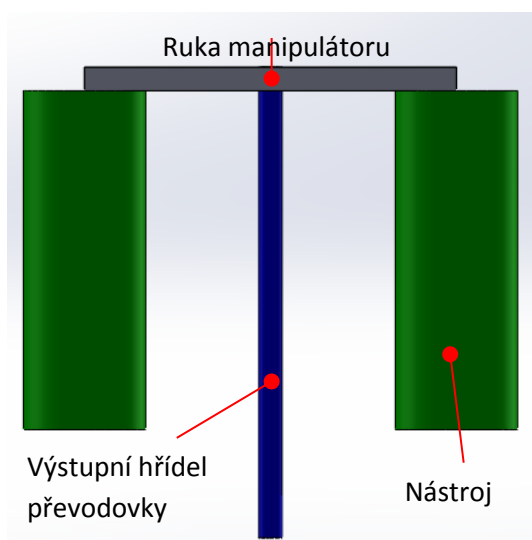
K připojení ruky manipulátoru k hřídeli převodovky bylo vybráno svěrné pouzdro SIT-LOCK3 25x34. Velikost pouzdra byla určena dle velikosti výstupní hřídele převodovky a maximálního možného přenášeného krouticího momentu. Pouzdro je samostředící, což je vhodné pro odstranění technologických vad (válcovitost hřídele, souosost atd.). Maximální krouticí moment přenášený hřídelí planetové převodovky je  $M_k=24 \text{ Nm}$  (rovnice 5.17) maximální dovolený přenášený krouticí moment svěrného pouzdra těchto rozměrů je  $M_{kmax \text{ SITLOCK3}}=284 \text{ Nm}$  (příloha 6) .

$$M_{KMax \text{ Sitlock3}} = 284 \text{ Nm} > M_K = 24 \text{ Nm} \quad (5.2)$$

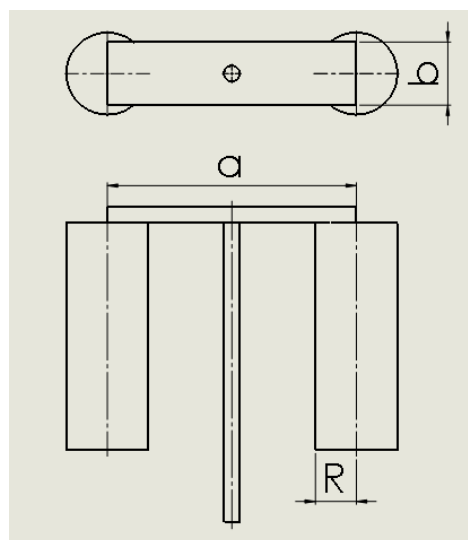
Vybrané pouzdro vyhovuje požadavkům pro správnou funkci přenosu krouticího momentu.

### 5.5.2. Pohon osy C

Pohon pro rotační pohyb 0-180° okolo osy c byl určen pomocí návrhového výpočtu, kde byly určeny momenty setrvačnosti součástí, které jsou součástí tohoto pohybu (ruka manipulátoru a 2 nástroje). Pohon byl dimenzován pro největší zátěž ruky manipulátoru (2x10 kg nástroje). Na (Obr.47 a 48 ) je zobrazeno náhradní zjednodušené schéma rotačního ramene a nástrojů.



Obr. 47 Náhradní model ruky manipulátoru



Obr. 48 Náhradní schéma ruky manipulátoru

#### Vstupní parametry

Hmotnost nástroje – $m_N$	10 kg
Hmotnost ruky manipulátoru – $m_R$	6 kg
Délka ruky manipulátoru - a	395 mm
Šířka ruky manipulátoru - b	100 mm
Poloměr nástroje - R	65 mm
Čas rotace - t	1,2 s
Úhel otočení - $\varphi$	180° ( $\pi$ )

### Moment setrvačnosti ruky manipulátoru

$$I_R = \frac{m_r}{12} * (a^2 + b^2) = \frac{6}{12} * (395^2 + 100^2) = 83\,012,5 \text{ kg} * \text{mm}^2 \quad (5.3)$$

### Moment setrvačnosti nástroje

$$I_N = \frac{m_N}{2} * R^2 + m_N * \left(\frac{a}{2}\right)^2 = \frac{10}{2} * 65^2 + 10 * \left(\frac{395}{2}\right)^2 = 411\,187,5 \text{ kg} * \text{mm}^2 \quad (5.4)$$

### Celkový moment setrvačnosti soustavy

$$I_C = I_R + 2 * I_N = 83\,012,5 + 2 * 411\,187,5 = 905\,387,5 \text{ kg} * \text{mm}^2 \\ = 0,905 \text{ kg} * \text{m}^2 \quad (5.5)$$

Nyní si musíme určit úhlové zrychlení.

### Úhlové zrychlení

$$\text{Úhlová rychlost} \quad \omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (5.6)$$

$$\text{Úhlové zrychlení} \quad \alpha = \frac{d\omega}{dt} \quad (5.7)$$

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \quad (5.8)$$

$$\int_0^t \alpha * dt = \int_0^\omega d\omega \quad (5.9)$$

Integrací úhlového zrychlení jsme získali vztah pro úhlovou rychlost

$$\alpha * t = \omega \quad (5.10)$$

Z rovnice (5.6) jsme získali

$$\omega dt = d\varphi \quad (5.11)$$

Aplikací rovnice (5.10) na rovnici (5.11) dostaneme

$$\int_0^t \alpha * t * dt = \int_0^\varphi d\varphi \quad (5.12)$$

$$\alpha * \frac{\left(\frac{t}{2}\right)^2}{2} = \frac{\varphi}{2} \quad (5.13)$$

Dosažením vstupních parametrů dostaneme úhlové zrychlení

$$\alpha = \frac{\pi}{\left(\frac{t}{2}\right)^2} = \frac{\pi}{(0,6)^2} = 8,72 \text{ rad} * s^{-2} \quad (5.14)$$

### Krouticí moment

$$M_k = I_C * \alpha \quad (5.15)$$

Dosažením do rovnice (5.15) z rovnic (5.5) a (5.14)

$$M_K = 0,905 * 8,72 = 7,89 \text{ Nm} \quad (5.16)$$

Potřebný krouticí moment k rotaci o 180° ruky manipulátoru s nástroji je 7,89 Nm. Po konzultaci s Festo byl vybrán motor EMME-AS-100-S-HS-ASB (příloha 5) s jmenovitým krouticím momentem 4,8 Nm. K motoru byla přidána planetová převodovka EMGA-120-P-G5-SAS-100 (příloha 4) s převodovým poměrem 5:1. Krouticí moment na výstupní hřídeli převodovky je:

$$M_{KVýstup} = M_{KN Motoru} * i = 4,8 * 5 = 24 \text{ Nm} \quad (5.17)$$

Porovnáme hodnoty z (5.16) a (5.17)

$$M_{KVýstup} = 24 \text{ Nm} > M_K = 7,89 \text{ Nm} \quad (5.18)$$

Porovnáním hodnot  $M_{KVýstup}$  a  $M_K$  určíme bezpečnost přenosu

$$k_{přenosu} = \frac{M_{KVýstupu}}{M_K} = \frac{24}{7,89} = 3,04 \quad (5.19)$$

Motor a planetová převodovka vyhovují požadavkům rotačního pohybu s bezpečností přenosu 3,04.

### 5.5.3. Kontrola výstupní hřídele převodovky na ohyb a krut

Ruka manipulátoru je nesena výstupní hřídelí převodovky o průměru  $d=25$  mm. Provedeme kontrolu na největší ohybový moment, který nastane, když ruka manipulátoru nese pouze jeden 10 kg nástroj na rameni 197,5 mm (půlka délky ruky manipulátoru a (viz. Obr 48). Výstupní hřídel uvažujeme jako vetknutý nosník.

$$F = m_N * g = 10 * 9,81 = 98,1 \text{ N} \quad (5.20)$$

Vynásobením síly (5.19) a ramene  $\frac{a}{2}$  získáme

$$M_O = F * r = 98,1 * 197,5 = 19\,374,75 \text{ N} * \text{mm} \quad (5.21)$$

Průřezový modul v ohybu  $W_o$  pro kruhový průřez

$$W_O = \frac{\pi * d^3}{32} = \frac{\pi * 25^3}{32} = 1533,98 \text{ mm}^3 \quad (5.22)$$



Nyní určíme maximální napětí v hřídeli pomocí výsledků z (5.21 a 5.22)

$$\sigma_{Max} = \frac{M_O}{W_O} = \frac{19\,374,75}{1533,98} = 12,63 \text{ N} * \text{mm}^{-2} \quad (5.23)$$

Na dotaz ohledně materiálu výstupní hřídele planetové převodovky zástupce výrobce v ČR neodpověděl, byl vybrán jako referenční materiál ČSN 11 373. Mez kluzu 11 373 je 200 MPa [45]. Byla zvolena bezpečnost 3.

$$\sigma_D = \frac{\sigma_e}{k} = \frac{200}{3} = 66,66 \text{ N} * \text{mm}^{-2} > 12,63 \text{ N} * \text{mm}^{-2} = \sigma_{Max} \quad (5.24)$$

Výstupní hřídel vyhovuje pro ohybové namáhání. Nyní provedeme kontrolu na krut. Kroutící moment na hřídeli je 24 Nm (5.17).

Průřezový modul v kroucení  $W_K$  pro kruhový průřez

$$W_K = \frac{\pi * d^3}{16} = \frac{\pi * 25^3}{16} = 3067,96 \text{ mm}^3 \quad (5.25)$$

Maximální smykové napětí v hřídeli

$$\tau_{Max} = \frac{M_K}{W_K} = \frac{24\,000}{3067,96} = 7,82 \text{ N} * \text{mm}^{-2} \quad (5.26)$$

Dle  $\tau_{Max}$  hypotézi je mezní smykové napětí

$$\tau_{Mez} = \frac{\sigma_e}{\alpha} = \frac{200}{2} = 100 \text{ N} * \text{mm}^{-2} \quad (5.27)$$

Byla zvolena bezpečnost 3.

$$\tau_D = \frac{\tau_{Mez}}{k} = \frac{100}{3} = 33,33 \text{ N} * \text{mm}^{-2} > 7,82 \text{ N} * \text{mm}^{-2} = \tau_{Max} \quad (5.28)$$

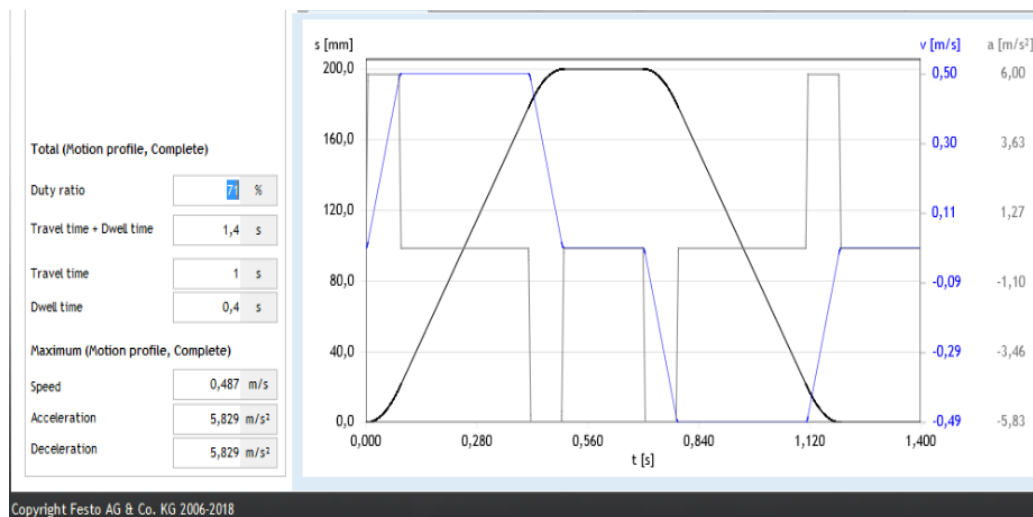
Výstupní hřídel převodovky vyhovuje i na krut.

#### 5.5.4. Lineární vedení

Lineární vedení a jeho pohon byl vybrán pomocí konzultace s Festo ČR a programu Positioning Drives Festo, byl vybrán pohon ozubeným řemenem ELGA-TB-KF-120-200-20H (příloha 1) a k němu motor EMME-AS-60-S-LS-ASB (příloha 2) s jmenovitým kroutícím momentem 0,6 Nm Vyjádření k přesnosti výběru komponent pomocí programu Positioning Drives od Festo ČR viz. (příloha 8).

#### Vstupní parametry pro výběr komponent

Maximální čas definovaného pohybu	1,5 s
Hmotnost přenášené soustavy	54 kg
Činný zdvih	200 mm



Obr. 49 Výsledné informace z programu Position Drives Festo

### Výstupní parametry zvolených komponent

Max. rychlost	0,487 m*s <sup>-1</sup>
Max. zrychlení	5,829 m*s <sup>-2</sup>
Max. zpomalení	5,829 m*s <sup>-2</sup>
Čas pohybu	1,4 s

Jelikož výstupní hřídel motoru má průměr 14 mm a otvor pro vstupní hřídel pohonu s ozubeným řemenem má průměr 23 mm, bylo nutno použít hřídelovou spojku TRASCO ES 24/28 M (příloha 9) a spojovací hřídel průměru 23 mm. Maximální dovolený přenášený krouticí moment hřídelové spojky je 32 Nm.

$$M_{KMax Trasco} = 32 Nm > 0,6 Nm = M_{KN} \quad (5.29)$$

Hřídelová spojka je schopna přenést jmenovitý krouticí moment motoru EMME-AS-60-S-LS-ASB.

## 6. Závěr

V rešeršní části práci byly představeny konstrukční prvky zasahujících do automatické výměny nástroje, kterými jsou typy zásobníků nástrojů a různá upínací rozhraní a také byli shrnuti typy výměn nástroje.

V teoretické části bylo porovnáno několik strojů, od různých tuzemských i zahraničních výrobců obráběcích strojů, ve stejné velikostní třídě pracovního prostoru jako multifunkční pětiosé frézovací MCU 700. U těchto strojů bylo vybráno několik parametrů pro srovnání, jmenovitě typ zásobníku, typ výměny nástroje, počtu nástrojů v zásobníku, času výměny nástrojů a otáček vřetene. Stroje byly seřazeny do Tab. 2, z této tabulky vycházel další postup práce při výběru vhodných variant pro AVN pro stroj MCU 700.

Na základě porovnání strojů bylo navrženo několik koncepčních variant konstrukce pro automatickou výměnu nástroje. Jako vhodné konstrukční řešení pro AVN byl vybrán manipulátor umožňující lineární pohyb v ose Y a rotaci kolem osy C o 180°.

Manipulátor pro automatickou výměnu nástrojů je navržen z rotačního ramene, na které je přenášen krouticí moment z výstupní hřídele planetové převodovky pomocí svěrného pouzdra. Planetová převodovka je spojena s asynchronním motorem. Motor s převodovkou je uložen ve skříni. Skříň je přišroubována na lineární vedení s ozubeným řemenem, které je poháněno asynchronním motorem. Skříň je též připojena na přídatné lineární vedení. Manipulátor má připravené připojovací díly (patky) pro umístění ve stoju MCU 700. Asynchronní motor pro rotační pohyb 180° byl vybrán dle provedeného návrhového výpočtu. Výstupní hřídel planetové převodovky vyhověla kontrole na ohyb a krut.

Výpočtový čas pro výměnu nástroje (nástroj-nástroj) pro zvolený manipulátor je 2,8 s (do reálného času zasahuje také odezva PLC). Avšak tento čas je nezávislý na poloze nástroje v zásobníku nástrojů, oproti současnému řešení automatické výměny nástroje ve stroji MCU 700, kde se tento čas pohybuje od 3 do 5 s v závislosti na poloze nástroje v řetězovém zásobníku nástrojů. Došlo ke zkrácení času výměny nástrojů a zabudování manipulátoru do stávajícího prostoru stroje MCU 700.

## 7. Seznamy

### 7.1. Použitá literatura

- [1] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál ISBN 978-80-260-6780-1.
- [2] BORSKÝ, Václav. *Základy stavby obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. Brno: VUT, 1991. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0361-6.
- [3] LABOUREK, Dalibor. *SYSTÉMY AUTOMATICKÉ VÝMĚNY NÁSTROJŮ VE STAVBĚ OBRÁBĚCÍCH CENTER*. Brno, 2013. Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
- [4] HOUŠA, Jaromír a Bedřich RUDOLF. *Výrobní stroje*. Třetí přepracované. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. ISBN 80-01-00993-9.
- [5] LAŠOVÁ, Václava. *Základy stavby obráběcích strojů* [online]. Plzeň, 2012 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: [https://zcu.cz/export/sites/zcu/pracoviste/vyd/online/Zaklady\\_stavby.pdf](https://zcu.cz/export/sites/zcu/pracoviste/vyd/online/Zaklady_stavby.pdf). Odborná publikace. ZČU.
- [6] BRENÍK, Přemysl, Josef PÍČ a KOLEKTIV. *Obráběcí stroje: Konstrukce a výpočty*. Praha: SNTL, 1982. ISBN 04-221-82.
- [7] TYC, Ondřej. *AUTOMATICKÁ VÝMĚNA NÁSTROJŮ NA OBRÁBĚCÍCH STROJÍCH* [online]. Plzeň, 2007 [cit. 2018-03-02]. Dostupné z: [https://www.old.fst.zcu.cz/\\_files\\_web\\_FST/\\_SP\\_FST\(SVOC\)/\\_2007/\\_sbornik/PapersPdf/Bc/Tyc\\_Ondrej.pdf](https://www.old.fst.zcu.cz/_files_web_FST/_SP_FST(SVOC)/_2007/_sbornik/PapersPdf/Bc/Tyc_Ondrej.pdf). SOUTĚŽNÍ PŘEHLÍDKA STUDENTSKÝCH A DOKTORSKÝCH PRACÍ FST 2007. ZČU Plzeň.
- [8] Revolverová hlava WTO. In: *WTO* [online]. WTO: WTO, 2018 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: [https://www.wto-tools.com/fileadmin/user\\_upload/\\_Kataloge\\_U1\\_PDF/Product\\_Portfolio\\_en.pdf](https://www.wto-tools.com/fileadmin/user_upload/_Kataloge_U1_PDF/Product_Portfolio_en.pdf)
- [9] PIVODA, Miroslav. *TRENDY SOUČASNÉHO VÝVOJE AUTOMATICKÉ VÝMĚNY NÁSTROJŮ U FRÉZOVACÍCH CENTER* [online]. Brno, 2008 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=6138](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6138). Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Jan Pavlík.
- [10] Hvězdicový zásobník. In: *Technika a trh* [online]. DMG Mori: DMG Mori, 2013 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://www.technikaatrh.cz/obrabeni/efektivni-automatizace-pro-milltap-700>
- [11] Bubnový zásobník. In: *Macmatic* [online]. macmatic: macmatic, 2018 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://www.macmatic.cz/component/phocagallery/20-vertikalni-frezovaci-centrum-akira-seiki-sv760/detail/120-zasobnik-nastroju>

- [12] Řetězový zásobník. In: *Kbh* [online]. kbh: kbh, 2018 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://www.kbhcz.cz/zasobnik-nastroju-horizontalni.html>
- [13] Linka JK Nástroje. In: *Masautomation* [online]. KMAS: KMAS, 2018 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://masautomation.cz/cs/automatized-production-lines>
- [14] DEMEČ, Peter. *SYSTÉMY AUTOMATICKEJ VÝMENY NÁSTROJOV NA ČÍSLICOVO RIADENÝCH STROJOCH*[online]. Košice, x [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://forum.strojirenstvi.cz/download/file.php?id=13257>. Študijný materiál. TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH.
- [15] ES OTT JAKOB. In: *OTT JAKOB* [online]. OTT JAKOB: OTT JAKOB, x [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: [http://www.ott-jakob.de/en/steep\\_taper/#steilkegel-Es-149](http://www.ott-jakob.de/en/steep_taper/#steilkegel-Es-149)
- [16] IS OTT JAKOB. In: *OTT JAKOB* [online]. OTT JAKOB: OTT JAKOB, x [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: [http://www.ott-jakob.de/en/steep\\_taper/#steilkegel-Es-149](http://www.ott-jakob.de/en/steep_taper/#steilkegel-Es-149)
- [17] Super Lock Röhm. In: *E-shop Röhm* [online]. Röhm: Röhm, 2018 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://eshop.roehm.biz/media/attachment/file/d/c/dc0001864.pdf>
- [18] STEPHENSON, David a John AGAPIOU. *Metal Cutting Theory and Practise*. Třetí. Boca Raton, FL 33487-2742: CRC Press, 2016. ISBN 978-1-4665-8754-0.
- [19] Diebold Werkzeugaufnahmen. *Hsk* [online]. hsk: hsk, 2018 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <http://www.hsk.com/en/products/180312-Werkzeugkatalog-web.pdf>
- [20] Haimer Werkzeugaufnahmen. *Haimer-usa* [online]. Haimer: Haimer, 2016 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <https://www.haimer-usa.com/fileadmin/assets/downloads/kataloge/US/2016-ToolHolder-US-screen.pdf>
- [21] Ohybová stabilita. In: *Sandvik coromat* [online]. Sandvik: Sandvik, 2018 [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: [https://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/pdf/knowledge/toholding/2929\\_081\\_ENG.pdf](https://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/pdf/knowledge/toholding/2929_081_ENG.pdf)
- [22] HSK A63 namáhání. In: *Sandvik coromat* [online]. Sandvik: Sandvik, 2018 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/brochures/en-gb/c-2940-133.pdf>
- [23] ISO 40 namáhání. In: *Sandvik coromat* [online]. Sandvik: Sandvik, 2018 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/brochures/en-gb/c-2940-133.pdf>

- [24] Capto C6 namáhání. In: *Sandvik coromat* [online]. Sandvik: Sandvik, 2018 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/brochures/en-gb/c-2940-133.pdf>
- [25] Držák s válcovou stopkou. In: *Markagro.net* [online]. markagro: markagro, 2018 [cit. 2018-02-01]. Dostupné z: <https://www.markagro.net/collet-chucks-ptez50-for-tools-with-cylindrical-shank-mk-ptez50-ptef/>
- [26] Cambox test. In: *Haascnc.com* [online]. Haas: Haas, x [cit. 2018-02-01]. Dostupné z: <https://diy.haascnc.com/reference-docs/vfvmumcec-side-mount-tool-changer-double-arm-troubleshooting-guide#gsc.tab=0>
- [27] Double arm alignment. In: *Haascnc.com* [online]. Haas: Haas, x [cit. 2018-02-01]. Dostupné z: <https://diy.haascnc.com/reference-docs/vfvmumcec-side-mount-tool-changer-double-arm-troubleshooting-guide#gsc.tab=0>
- [28] DEMEČ, Peter. SYSTÉMY AUTOMATICKEJ VÝMENY NÁSTROJOV NA ČÍSLICOVO RIADENÝCH STROJOCH [online]. Košice, x [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://forum.strojirenstvi.cz/download/file.php?id=13257>. Študijný materiál. TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH.
- [29] Linka JK Nástroje. In: *Masautomation* [online]. Masautomation: Masautomation, x [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <http://masautomation.cz/cs/automatized-production-lines>
- [30] MCU 700. In: *MM Spektrum* [online]. MM Spektrum: MM Spektrum, x [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-v-peti-osach.html>
- [31] POSPÍCHALOVÁ, Kristýna. Obrábění v pěti osách. *MM Spektrum* [online]. 2015, **2015**(11), 1 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-v-peti-osach.html>
- [32] BACH, Pavel. Je zaškrabávání nezastupitelná metoda?. *MM Spektrum* [online]. 2016, **2016**(09), 1 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/je-zaskrabavani-nezastupitelna-metoda.html>),%20https://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-v-peti-osach.html
- [33] MCU 700. *Kovosvit* [online]. Kovosvit: Kovosvit, x [cit. 2018-02-05]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcu-700vt-5x-p39.html>
- [34] MCU 700. In: *Kovosvit* [online]. Kovosvit: Kovosvit, x [cit. 2018-02-07]. Dostupné z: [http://www.masmachinetools.com/storage/1\\_124\\_mcu700cz-rus-web.pdf](http://www.masmachinetools.com/storage/1_124_mcu700cz-rus-web.pdf)
- [35] MCU 700 pracovní cyklus. In: *Youtube* [online]. Youtube: Youtube, x [cit. 2018-02-07]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=XLReCZ-rbEQ>

- [36] SP 280. *Kovosvit* [online]. 2018, **2018**(2018), 12 [cit. 2018-06-25]. Dostupné z: [http://www.masmachinetools.com/storage/1\\_80\\_sp-280-cz-pl-web.pdf](http://www.masmachinetools.com/storage/1_80_sp-280-cz-pl-web.pdf)
- [37] MCV 754. *Kovosvit* [online]. 2018, **2018**(2018), 20 [cit. 2018-06-25]. Dostupné z: [http://www.masmachinetools.com/storage/1\\_72\\_mcvlinecz-pl-web.pdf](http://www.masmachinetools.com/storage/1_72_mcvlinecz-pl-web.pdf)
- [38] DMG Mori MILLTAP 700. *Canadian metal working* [online]. 2018, **2018**(2018), 1 [cit. 2018-06-25]. Dostupné z: <https://www.canadianmetalworking.com/product/metalworking/dmg-mori-seiki-announce-new-facility-new-products>
- [39] Haas UMC-750ss. *Haas* [online]. 2018, **2018**(xxx), 1 [cit. 2018-07-01]. Dostupné z: [https://int.haascnc.com/we\\_spec1.asp?intLanguageCode=1033&id=UMC-750SS&sizeID=30\\_40inch\\_vmc](https://int.haascnc.com/we_spec1.asp?intLanguageCode=1033&id=UMC-750SS&sizeID=30_40inch_vmc)
- [40] DMG MORI DMU 50. *DMG MORI* [online]. 2018, **2018**(xxx), 1 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <https://en.dmgmori.com/products/machines/milling/5-axis-milling/dmu/dmu-50-2nd-generation>
- [41] ZPS MCV 1210. *ZPS* [online]. 2018, **2018**(xxx), 1 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://www.tajmac-zps.cz/cs/MCV-1210>
- [42] HERMLE C42. *Hermle* [online]. 2018, **2018**(xxx), 1 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: [https://www.hermle.de/cs/obraběcí\\_centra/modely/obraběcí\\_centrum\\_c\\_42](https://www.hermle.de/cs/obraběcí_centra/modely/obraběcí_centrum_c_42)
- [43] HSK A63. *Hhw.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-07-01]. Dostupné z: [https://www.hhw.cz/cz/Shop/Upínací%20technika/Frézovací%20trny/21841101/Upínouz\\_pro\\_frézy\\_se\\_závitem\\_DIN\\_69893A-HSK-A63\\_O\\_6-5](https://www.hhw.cz/cz/Shop/Upínací%20technika/Frézovací%20trny/21841101/Upínouz_pro_frézy_se_závitem_DIN_69893A-HSK-A63_O_6-5)
- [44] HSK-A63 Tool Change Gripper, Flange OD Gripper (V-Groove Accessible). *Tacroxford.com* [online]. USA: tacroxford, 2018 [cit. 2018-07-01]. Dostupné z: <https://tacroxford.com/product/250.415.163.000/>
- [45] VÁVRA, Pavel a kolektiv. *Strojnické tabulky pro SPŠ strojnické*. 2. Praha: SNTL, 1984.

## **7.2. Seznam použitých softwaru**

Solid Edge ST10

Solid Works 2016

Microsoft Word 2010

Microsoft Excel 2010

Festo Positioning Drives 2.3.19

## **7.3. Textové a grafické přílohy**

Příloha 1 ELGA-TB-KF-120-200-20H

Příloha 2 EMME-AS-60-S-LS-ASB

Příloha 3 HGH 45 CA

Příloha 4 EMGA-120-P-G5-SAS

Příloha 5 EMME-AS-100-S-HS-ASB

Příloha 6 SITLOCK3

Příloha 7 PGN-plus 125-2-AS

Příloha 8 Vyjádření Festo k přesnosti jejich programu

Příloha 9 TRASCO ES 24/28

## **7.4. Výkresová dokumentace**

BP-001-HLINIKOVA DESKA

BP-002-P-KOSTKA PRAVÁ

BP-101-MANIPULÁTOR

BP-000- MCU



## **7.5. Elektronické přílohy (CD)**

BP-Systém automatické výměny nástrojů pro frézovací centrum MCU 700.pdf

BP-priloha1.pdf

BP-priloha2.pdf

BP-priloha3.pdf

BP-priloha4.pdf

BP-priloha5.pdf

BP-priloha6.pdf

BP-priloha7.pdf

BP-priloha8.pdf

BP-priloha9.pdf

BP-001-HLINÍKOVÁ DESKA.pdf

BP-002-P-KOSTKA PRAVÁ.pdf

BP-101- MANIPULÁTOR.pdf

BP-000- MCU.pdf