



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**ZÁSOBNÍK A VÝMĚNÍK NÁSTROJŮ FRÉZOVACÍHO
MULTIFUNKČNÍHO OBRÁBĚCÍHO CENTRA S
VODOROVNOU OSOU VŘETENA**

MAGAZINE AND TOOL CHANGER OF A MILLING MULTI-PURPOSE MACHINING CENTER WITH A
HORIZONTAL SPINDLE AXIS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ján Rapčan

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Dr. Ing. Jiří Marek, Ph.D., DBA

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Ján Rapčan
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	prof. Dr. Ing. Jiří Marek, Ph.D., DBA
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Zásobník a výměník nástrojů frézovacího multifunkčního obráběcího centra s vodorovnou osou vřetena

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Frézovací multifunkční obráběcí centra jsou jedním z moderních koncepcí CNC obráběcích strojů. Umí využívat frézovací a soustružnické operace, čímž se stávají universálním výrobním prostředkem. Jedním z možných konstrukčních řešení je, že nástroj nesený v horizontálně situované naklápěcí hlavě se pohybuje dle zvolené kinematiky zpravidla ve dvou lineárních osách.

Cíle diplomové práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešení problematiky.

Systémový rozbor řešené problematiky, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu.

Návrh variant konstrukce zásobníku a výměníku nástrojů včetně zdůvodnění výběru optimální varianty řešení, a stanovení technických parametrů.

Potřebné technické výpočty.

Výkres sestavy, kusovník a min. 5 výkresů vyráběných dílů.

Komentář k přiložené výkresové dokumentaci.

Závěry a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

JANÍČEK, Přemysl a Jiří MAREK. Expertní inženýrství v systémovém pojetí. Praha: Grada, 2013. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4127-7.

BORSKÝ, Václav. Základy stavby obráběcích strojů. Brno: Vysoké učení technické, 1986.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práca sa zoberá automatickou výmenou nástrojov u frézovacieho multifunkčného obrábacieho centra s vodorovnou osou vretena. Je zameraná najmä na systémy, ktoré sa v súčasnosti používajú a na ich základné delenie. Prvá časť práce je spoločná. V tejto časti práce je opísaný návrh stroja s jeho hlavnými parametrami. Druhá časť práce je samostatná, zoberá sa návrhom výmenníka a zásobníka nástrojov spolu s ich konštrukčným riešením.

ABSTRACT

The thesis deals with automatic tool change in milling multifunctional machining center with horizontal spindle axis. It describes the systems that are currently in use and their base division. The first part of the work is common. In this part of the thesis is a machine design with its parameters. The second part is independent, deals with the design of the exchanger and tool magazine together with their design solution.

KLÍČOVÁ SLOVA

Automatická výmena nástrojov, reťazový zásobník, výmenník

KEYWORDS

Automatic tool change, chain magazine, exchanger

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RAPČAN, Ján. Zásobník a výměník nástrojů frézovacího multifunkčního obráběcího centra s vodorovnou osou vřetena. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116837>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jiří Marek.

POĎAKOVANIE

Týmto by som sa chcel poďakovať vedúcemu práce pánovi prof. Dr. Ing. Jiřímu Markovi, Ph.D., DBA za vedenie a pomoc počas vypracovania práce. Ďakujem patrí aj mojím kolegom s ktorými sme spolupracovali na spoločnej časti diplomovej práce: Bc. Tomáš Hynšt, Bc. Lubomír Vazovan a Bc. Martin Grepl. Taktiež sa chcem poďakovať mojím rodičom za podporu počas celého štúdia.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že tato práce je mojíím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením prof. Dr. Ing. Jiří Marek, Ph.D., DBA a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa **24.05.2018**

.....

Bc. Ján Rapčan

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MULTIFUNKČNÍ OBRÁBĚCÍ CENTRA	17
2.1	Frézovací multifunkční obráběcí centra	17
2.2	Soustružnická multifunkční obráběcí centra.....	18
2.3	Semimultifunkční obráběcí centra	19
3	ANALÝZA TRHU	21
3.1	PAMA Speedmat HP/T	21
3.2	PAMA SPEEDMAT VMT	22
3.3	SORALUCE FMT	23
3.4	REIDEN RX	25
3.5	MAZAK INTEGREGX eV	26
3.6	Zhodnocení koncepce stroje s pevným stojanem	27
3.7	Zhodnocení koncepce stroje s pohyblivým stojanem	28
4	SYSTÉMOVÝ ROZBOR PRÁCE	29
4.1	Problémová situácia	31
4.2	Formulácia problému	31
4.3	Formulácia cieľov riešení	31
4.4	Popis riešenia sústavy	32
5	NÁVRHY VARIANT KINEMATIKY STROJE	33
5.1	Návrh parametrov stroje	33
5.2	Varianta 1.....	34
5.3	Varianta 2.....	35
5.4	Varianta 3.....	36
5.5	Varianta 4.....	37
5.6	Varianta 5.....	38
5.7	Parametry pro výběr varianty kinematiky stroje.....	39
5.8	Výběr varianty kinematiky stroje	41
6	VÝPOČET REZNÝCH SÍL PÔSOBIACICH NA STROJ PRI OBRÁBANÍ	43
6.1	Frézovanie.....	43
6.1.1	Rohové frézovanie	44
6.1.2	Čelné frézovanie	46
6.2	Sústruženie.....	48
6.3	Vrtanie	49
6.4	Výpočet ekvivalentnej radiálnej sily.....	51
6.5	Výpočet ekvivalentnej axiálnej sily	52
6.6	Výpočet ekvivalentného momentu na vretene.....	53
6.7	Výpočet ekvivalentného momentu otočného stola	54
7	AUTOMATICKÁ VÝMENA NÁSTROJOV	55
7.1	Systemy s nosným zásobníkom	57
7.2	Skladovacie zásobníky.....	59
8	SYSTÉM AUTOMATICKEJ VÝMENY NÁSTROJOV	65
8.1	Typ nástrojovej stopky.....	65
9	VÝMENÍK NÁSTROJOV	67
9.1	Fázy výmeny nástroja	67

9.2	Varianty pre mechanizmus výmenníka nástrojov	68
9.2.1	Výber optimálnej varianty.....	68
9.2.2	Výber varianty výmenníka nástrojov	69
9.3	Voľba pohonu: servo motor.....	71
9.3.1	Výpočet pohonu	71
9.4	Spojka	72
9.5	Prevod šnekovým ozubením.....	73
9.5.1	Geometria šnekového súkolia	73
9.5.2	Výpočet účinnosti šnekového súkolia	75
9.5.3	Kontrolný výpočet šnekového súkolia	76
9.6	Výpočet ložísk	78
9.6.1	Výpočet silových pomerov u šnekového súkolia	78
9.6.2	Výpočet výsledných stykových síl v podporách	78
9.6.3	Trvanlivosť ložísk	80
9.7	Konštrukcia chapadla	80
9.8	Vložka chapadla pre kužeľ HSK 63 – A	82
9.9	Tvarový zámok	82
9.10	Čap tvarového zámku	83
9.11	Samostrediace zverné puzdro	83
9.12	Vysúvanie pomocou pneumatického valca	84
9.13	Popis funkcie	85
10	ZÁSOBNÍK NÁSTROJOV	87
10.1	Varianty pre zásobník.....	87
10.1.1	Varianta a).....	88
10.1.2	Varianta b).....	88
10.1.3	Varianta c).....	88
10.1.4	Varianta d).....	88
10.1.5	Výber optimálnej varianty.....	88
10.1.6	Výber varianty výmenníka nástrojov	90
10.2	Reťazový mechanizmus	92
10.2.1	Návrh reťazového mechanizmu	92
10.2.2	Zvolený pohon.....	93
10.2.3	Prenos krútiaceho momentu	94
10.2.4	Ložisko	94
10.2.5	Uloženie komponentov	95
10.3	Nástrojové kapsy	96
10.4	Prestavenie reťaze.....	97
10.5	Uloženie spodného ozubeného reťazového kolesa.....	99
10.6	Rám.....	99
10.7	Vyklápanie do polohy pre výmenu.....	100
11	ZHODNOTENIE A DISKUSIA	103
12	ZÁVER	105
13	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	107
14	ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK	109
14.1	Zoznam obrázkov	109
14.2	Zoznam tabuliek	110
14.3	Zoznam skratiek a symbolov	111
15	ZOZNAM PRÍLOH	115

1 ÚVOD

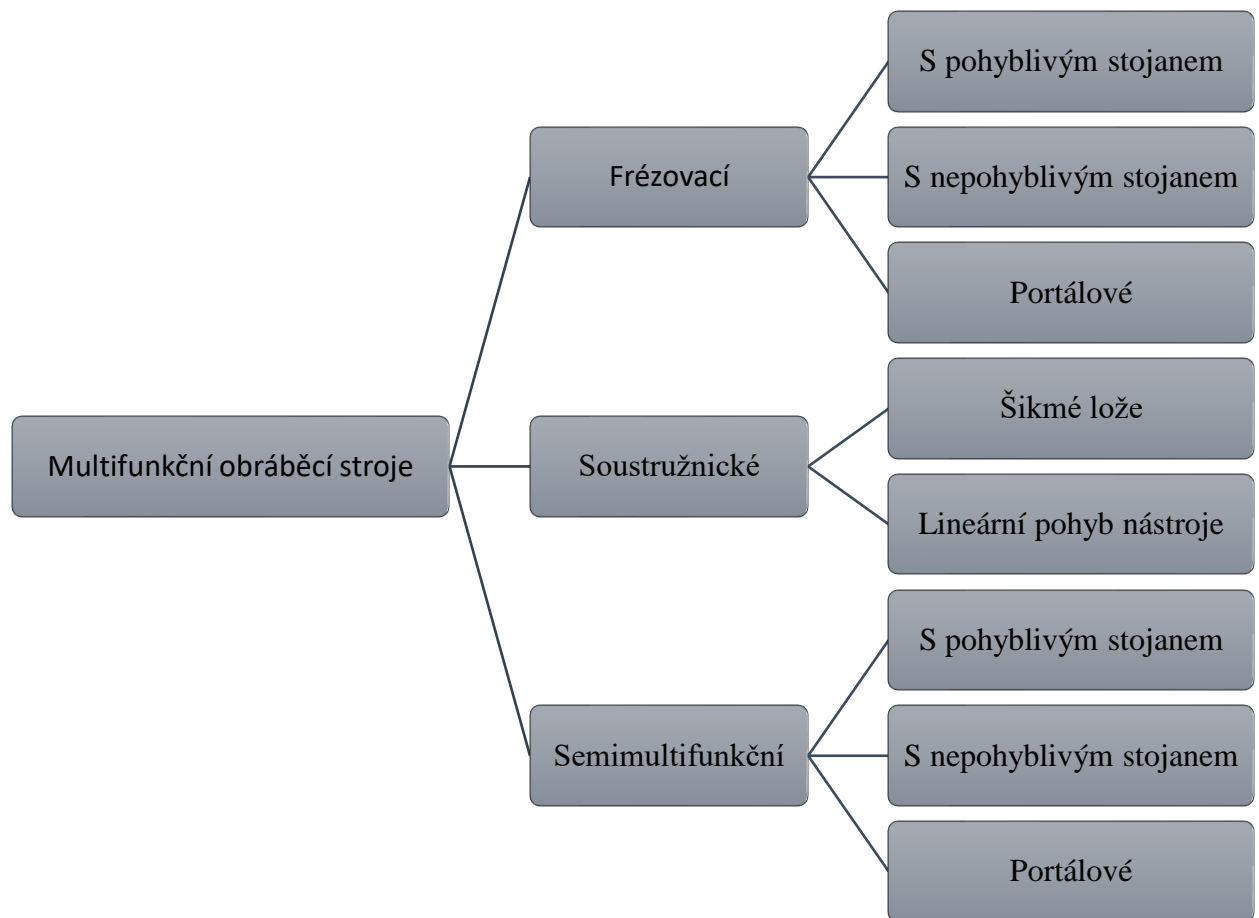
Aktuální doba klade ve strojírenském průmyslu důraz na kvalitu, rychlost a spolehlivost. Proto jsou konstruktéři nuceni vyvíjet stále modernější koncepce obráběcích strojů, které vyhoví požadavkům zákazníků.

Multifunkční CNC obráběcí centra se vyvíjí několik let. Jedním z velkých přínosů byla nová koncepce stroje české firmy Kovosvit MAS ze Sezimova Ústí. Firma přišla na trh se stroji MCSY 50 A a MCSY80A, které předběhly dobu a staly se stavebním kamenem pro budoucí multifunkční stroje. To vše již roku 1983. Průlomová pak byla multifunkční CNC obráběcí centra, která jsou na rozdíl od klasických CNC obráběcích strojů schopna využívat různých obráběcích technologií na jednom stroji. To umožnilo výrobcům na poli strojírenství zkrácení obráběcích časů a zároveň se posunula hranice kvality a spolehlivosti. Třeba díky obrábění různými technologickými operacemi na jedno upnutí obrobku.

Tato práce se zabývá návrhem nové koncepce frézovacího multifunkčního obráběcího centra s vodorovnou osou vřetene. Jelikož se jedná o rozsáhlou komplexní práci, je zpracována čtyřčlenným týmem, kde každý řeší jednu ze čtyř problematik (soustava vřetena – Lubomír Vazovan, automatická výměna nástrojů – Ján Rapčan, polohování náklápěcí hlavy – Martin Grepl a paletizace – Tomáš Hynšt). Cílem práce je vytvořit návrh stroje a porovnat ho se současnými stroji na trhu z technického i ekonomického hlediska.

2 MULTIFUNKČNÍ OBRÁBĚCÍ CENTRA

Multifunkční obráběcí centra jsou uzpůsobena pro obrábění obrobků více technologiemi třískového obrábění, mezi které patří například soustružení, frézování a vrtání. Stroj musí být vybaven dostatečnou kinematickou adaptabilitou pro pohyb obrobku a nástroje. Pro plynulou změnu technologií je stroj vybaven odpovídajícím řídicím systémem umožňující práci v automatickém režimu dále s prvky inteligence, prvky diagnostiky a měření. Pro optimalizaci vyrobitelnosti a zkrácení časů pro výměnu nástroje a obrobku, mohou být stroje vybaveny automatickou výměnou nástroje a obrobku. Na Obr. 1) můžeme vidět rozdělení multifunkčních obráběcích strojů a typy kinematických uspořádání pro každou kategorii. [1]



Obr. 1) Základní rozdělení multifunkčních obráběcích strojů:

2.1 Frézovací multifunkční obráběcí centra

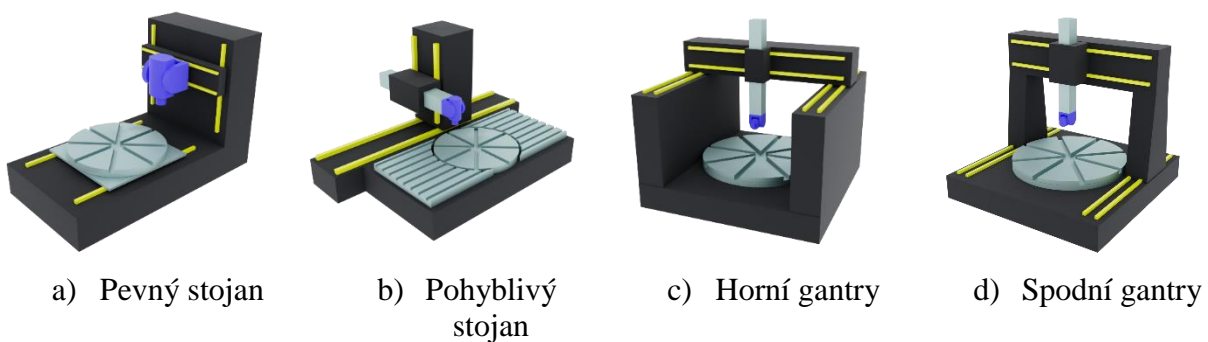
Frézovací multifunkční obráběcí centra dosahují téměř stejného využitelného výkonu pro různé technologie třískového obrábění. Nejčastěji se jedná o soustružnické a frézovací technologie. Proto může být multifunkční centrum náhradou za dvě obráběcí centra, která jsou určena pro různé technologie obrábění. Docílíme tak obrábění na jedno upnutí obrobku za použití více technologických operací. Tímto lze docílit vyšší přesnosti obrábění a minimalizace ztrátových časů během manipulace s obrobkem. [1]

Frézovací multifunkční obráběcí centra mají odvozené konstrukce od frézovacích obráběcích center, které jsou doplněny otočným stolem pro soustružnické operace a naklápěcí hlavou pro zvýšení kinematické adaptability.

Stroje se dají rozdělit do tří skupin:

- s nepohyblivým stojanem,
- s pohyblivým stojanem,
- portálové.

Na Obr. 2) jsou schematicky znázorněny varianty frézovacích multifunkčních obráběcích center. [1] [2]



Obr. 2) Rozdělení frézovacích multifunkčních center

2.2 Soustružnická multifunkční obráběcí centra

Soustružnická obráběcí centra mají podobnou kinematiku jako frézovací centra, která naplňují rostoucí požadavek zákazníků po přesnějším obrábění na jedno upnutí obrobku za kratší čas.

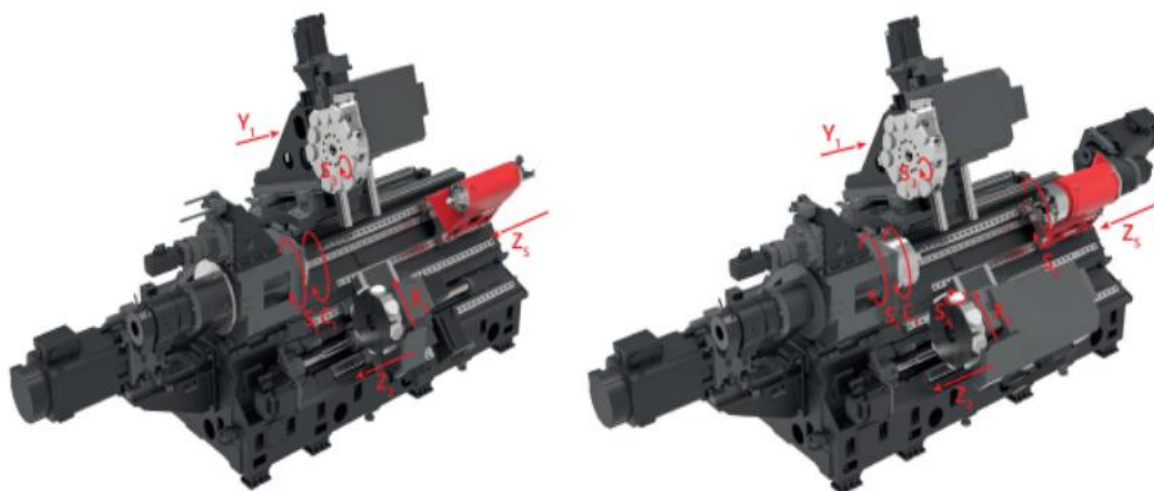
Stroj musí umožňovat:

- automatickou výměnu nástrojů,
- automatickou výměnu obrobků,
- více technologických operací,
- režim automatického cyklu (popř. bez obsluhy).

Soustružnická multifunkční centra se dnes nabízí především se šikmým ložem nebo s lineárním pohybem nástroje, kdy jsou proti sobě dvě vřetena nebo vřeteno a koník Obr. 3).

Provedení se šikmým ložem obsahuje revolverové hlavy a nejčastěji dvě proti sobě směřovaná vřetena. Navíc se u této varianty vyskytuje naklápěcí B hlava (otáčení kolem osy Y).

Provedení s lineárním pohybem nástroje v osách x, y, z, se vyrábí především ve dvou typech koncepcí. Hlavní rozdíl mezi těmito koncepcemi tvoří konstrukce vřeteníku. Ten může být konstruován tak, že se pohybuje zároveň se stojanem nebo mu k výsuvu pomáhá smykadlo. V tomto případě je pak stroj koncipován do takzvané “box in box” konstrukce. Součástí této varianty je naklápěcí otočná B hlava. Díky ní je možné nastavit nástroj do žádaného úhlu. [2] [3]



Obr. 3) Vlevo - vřeteno s koníkem proti sobě, vpravo - dvě vřetena proti sobě [4]

2.3 Semimultifunkční obráběcí centra

Tato obráběcí centra se stala mezistupněm mezi klasickými obráběcími centry a multifunkčními obráběcími centry. U semimultifunkčních frézovacích center se přidává k pohybovým osám soustružnický stůl a k soustružnickým centrům frézovací vřeteno. Výhoda těchto center spočívá v nižší ceně oproti multifunkčním centrům. Na druhou stranu, pokud zákazník vyžaduje náročnější operace, kde je potřeba za krátký čas využívat jak soustružení, tak frézování, pak je lepší variantou právě multifunkční obráběcí centrum. Podle kinematiky je můžeme rozlišit na centra: s pohyblivým stojanem, s nepohyblivým stojanem a v portálovém provedení.

3 ANALÝZA TRHU

Na trhu se pohybuje mnoho firem, které se zabývají vývojem, konstrukcí a výrobou frézovacích multifunkčních obráběcích center s vodorovnou osou vřetene, jež jsou v provedení s pevným nebo pohyblivým stojanem. Účelem analýzy trhu je získání přehledu o současných dostupných strojích a návrhu velikosti obrobku navrhovaného stroje.

Pro účel návrhu parametrů velikosti obráběného obrobku jsou sledovány zejména parametry jako velikost pracovního prostoru stroje, velikost maximálního průměru obrobku a od toho se odvíjející velikost otočné upínací desky a maximální hmotnost obrobku. Pro návrh dynamických parametrů navrhovaného stroje jsou sledovány parametry jako rychlost rychloposuvu jednotlivých os stroje, otáčky otočného upínacího stolu, výkon pohonu otočného stolu a u vřetene stroje otáčky a výkon.

3.1 PAMA Speedmat HP/T

Jedná se o multifunkční frézovací obráběcí centrum s pohyblivým stojanem. Stroj disponuje 5-osou kinematikou se třemi lineárními osami X, Y, Z, otočným soustružnickým stolem a naklápěcí hlavou, kde naklápěcí hlava je umístěna na pohyblivém stojanu. Stroj má stejnou skladbu jako stroj Speedmat HP s otočným stolem a výsuvným vřeteníkem znázorněný na Obr. 5) a), kde je otočný stůl zaměněn za soustružnický stůl a výsuvný vřeteník za naklápěcí hlavu - zobrazeno na Obr. 4) b). Parametry stroje řady strojů Speedmat HP/T jsou uvedeny v Tab 1) .



a) Speedmat HP



b) Speedmat HP/T

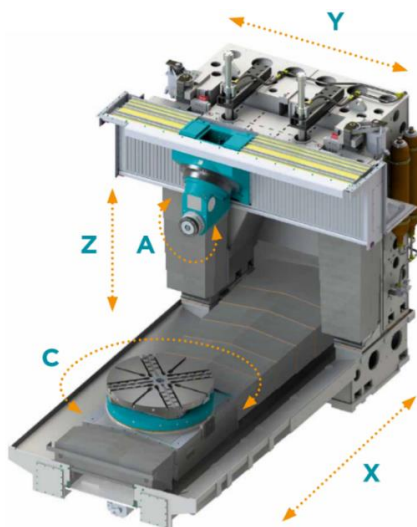
Obr. 4) Speedmat HP/T od firmy PAMA [5]

Tab 1) Tabulka parametrů typu stroje Speedmat HP1/T, HP2/T, HP3/T, HP5/T [5]

Typ stroje:	HP1/T	HP2/T	HP3/T	HP5/T
	Pracovní prostor			
X	2 000 mm	2 600 mm	3 000 mm	3 800 mm
Y	2 000 mm	2 500 mm	2 500 mm	3 000 mm
Z	2 000 mm	2 600 mm	2 600 mm	3 200 mm
	Parametry posuvu lineárních os			
Rychloposuv - osa X	50 m/min	50 m/min	40 m/min	40 m/min
Rychloposuv - osa Y a Z	50 m/min	50 m/min	45 m/min	45 m/min
	Parametry vřetene			
Maximální otáčky	4 500 – 12 000 ot/min			
Výkon	50 – 100 kW			
	Parametry otočného stolu			
Průměr upínací desky	1 250 mm	1 600 mm	2 000 mm	2 500 mm
Maximální průměr obrobku	2 000 mm	2 600 mm	3 000 mm	3 800 mm
Maximální otáčky	320 ot/min	250 ot/min	200 ot/min	160 ot/min
Nosnost	3 t	6 t	10 t	15 t

3.2 PAMA SPEEDMAT VMT

Druhé multifunkční frézovací obráběcí centrum od firmy PAMA má odlišnou koncepci stroje s pevným stojanem vyobrazen na Obr. 5). Stroj disponuje 5-osou kinematikou se třemi lineárními osami, kde jeden pohyb vykonává soustružnický rotační stůl ve směru osy x a další pohyb posuvný příčnick ve směru osy z. Poslední lineární osa je umístěna pod naklápěcí hlavou. Zbylé dvě osy jsou rotační a jsou umístěny v rotačním soustružnickém stole a v naklápěcí vřetenové hlavě. Parametry stroje jsou uvedeny v Tab 2)



Obr. 5) Speedmat VMT od firmy PAMA [5]

Tab 2) Parametry stroje Speedmat VMT1/VMT2/VMT3 [5]

Typ stroje:	VMT1	VMT2	VMT3
	Pracovní prostor		
X	1 700 mm	2 000 mm	2 700 mm
Y	1 500 mm	2 000 mm	2 700 mm
Z	1 300 mm	1 300 mm	1 700 mm
	Parametry posuvu lineárních os		
Rychloposuv osa X	50 m/min	50 m/min	40 m/min
Rychloposuv osa Y a Z	40 m/min	40 m/min	40 m/min
	Parametry vřetene		
Maximální otáčky	6000/9000 ot/min		12 500 ot/min
Výkon	65 kW		85 kW
	Parametry otočného stolu		
Průměr upínací desky	1 250 mm	1 250 mm	2 200 mm
Maximální otáčky	350 ot/min	350 ot/min	200 ot/min
Nosnost	6 t	6 t	8 t

3.3 SORALUCE FMT

Toto multifunkční frézovací soustružnické centrum využívá koncepci s pohyblivým stojanem a upínací deskou s výřezem pro otočný stůl. Obráběcí stroj disponuje až šesti osami podle zvolené vřetenové naklápěcí hlavy, kde dva lineární pohyby vykonává pohyblivý stojan a jeden lineární pohyb je realizován výsuvným smykadlem viz Obr. 6). Parametry stroje jsou uvedeny v Tab 3) Rozšíření upínací plochy pomocí pevného upínacího stolu umožňuje obrábění větších nerotačních součástí.



Obr. 6) SORALUCE FMT 4000 [6]

Výrobce ke stroji dodává tři různé vřetenové hlavy podle nejčastěji používané technologie obrábění. Frézovací hlava Obr. 7)a) je určena pro frézovací operace, disponuje dvěma rotačními osami. Ortogonální hlava Obr. 7)b) primárně určena pro technologii frézování. Multifunkční hlava Obr. 7)c) má stejnou kinematiku jako univerzální hlava, ale je výrobcem doporučována pro frézovací a soustružnické operace. [6]



Obr. 7) SORALUCE FTM 4000 vřetenové hlavy [6]

Tab 3) Tabulka parametrů SORALUCE FTM 4000 [6]

	Pracovní prostor
X, Y, Z	X =4 000 mm, Y=1 800 mm, Z=1 300 mm
Velikost pevné upínací desky	1 240 mm x 4 000 mm
	Parametry posuvu lineárních os
Osy	Rychloposuv
X	45 m/min
Y a Z	35 m/min
	Parametry vřetene
Maximální otáčky	4 000 / 5 000 / 6 000 / 7 000 ot/min
Výkon	43 kW
	Parametry otočného stolu
Průměr upínací desky	1 600 mm
Nosnost otočné stolu	8 t
Maximální otáčky	250 ot/min
Výkon motoru	53 kW

3.4 REIDEN RX

Řada strojů RX od firmy REIDEN využívá koncepci s pevným stojanem viz Obr. 8). Stroj disponuje 5-osou kinematikou, třemi lineárními osami, otočným stolem umožňujícím soustružení a naklápěcí vřetenovou hlavou. Vřetenová hlava má osu rotace umístěnou na zkosené ploše pod 45°, což umožňuje přestavení osy vřetene z horizontální do vertikální polohy. Parametry strojů řady RX jsou uvedeny v Tab 4) .



Obr. 8) REIDEN RX 12 [7]

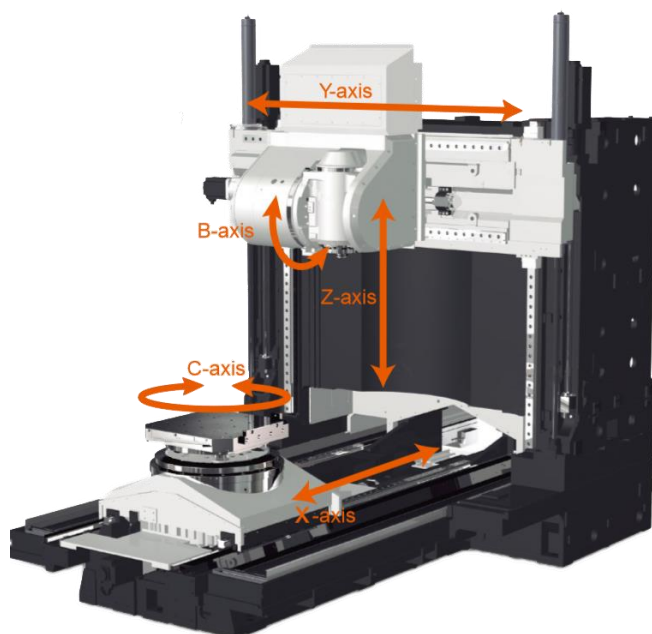
Rám stroje je vyroben z materiálu HYDROPOL®, který se skládá z betonu a ocelové konstrukce. Použitý materiál propůjčuje stroji dobré tlumící vlastnosti a dostatečnou tuhost konstrukce.

Tab 4) Parametry stroje REIDEN RX10, RX12 [7]

Typ stroje:	RX 10	RX 12
	Pracovní prostor	
X	1 000 mm	1 300 mm
Y	1 100 mm	1 450 mm
Z	810 mm	1 000 mm
	Parametry posuvu lineárních os	
Rychloposuv	60 m/min	50 m/min
	Parametry vřetene	
Maximální otáčky	16 000 ot/min	12 000 ot/min
Výkon	38 kW	84 kW
	Parametry otočného stolu	
Průměr upínací desky	1 000 mm	1 200 mm
Maximální otáčky	400 ot/min	400 ot/ min
Nosnost	1,6 t	2,5 t

3.5 MAZAK INTEGREGX eV

Multifunkční frézovací soustružnická centra od firmy Mazak řady INTEGREGX eV a INTEGREGX e-RAMTEC disponují koncepcí s pevným stojanem zobrazeným na Obr. 9). Stroj je vybaven 5-osou kinematikou. Rozložení tří lineárních pohybů a rotačního stolu je totožné jako u předchozího řešení od firmy REIDEN. Stroj je vybaven naklápěcí vřetenovou hlavou.



Obr. 9) Schéma stroje řady INTEGREGX e-V a e-RAMTEC (upravené pozadí obrázku) [8]

Stroje řady e-RAMTEC obsahují rozšíření ve formě výsuvného smykadla pro hluboké soustružení vnitřního průměru nebo možnosti osazení frézovací hlavy pro obrábění těžko přístupných míst pomocí naklápěcí vřetenové hlavy zobrazeno na Obr. 10). Parametry strojů jsou uvedeny pouze pro řadu INTEGREGX eV jsou uvedeny v Tab 5) .



Obr. 10) Detail pracovního prostoru stroje INTEGREGX e-RAMTEC [8]

Tab 5) MAZAK INTEGREGX eV [8]

Typ stroje:	e-1250V/8	e-1600V/10S	e-1850V/12	e-1850V/25S
	Pracovní prostor			
X	1 875 mm	2 315 mm	3 055 mm	3 055 mm
Y	1 250 mm	1 600 mm	1 850 mm	1 850 mm
Z	1 345 mm	2 315 mm	1 800 mm	1 800 mm
	Parametry posuvu lineárních os			
Rychloposuv	42 m/min	42 m/min	40 m/min	X 20 m/min Y, Z 40 m/min
	Parametry vřetene			
Maximální otáčky	10 000 ot/min	10 000 ot/min	10 000 ot/min	10 000 ot/min
Výkon	37k W	37 kW	37 kW	37 kW
	Parametry otočného stolu			
Průměr upínací desky	1 000 mm	1 650 mm	1 850 mm	3 000 mm
Maximální průměr obrobku	1 450 mm	2 300 mm	2 350 mm	3 500 mm
Maximální otáčky	500 ot/min	300 ot/min	250 ot/min	(45 kW)
Nosnost	2,7 t	5 t	7 t	15 t

3.6 Zhodnocení koncepce stroje s pevným stojanem

Z výše uvedené rešerše strojů Speedmat VMT od firmy PAMA, Integrex od firmy MAZAK a stroje řady RX od firmy Reiden využívají koncepci strojů s pevným stojanem. Základním prvkem této koncepce je pevný stojan, na němž je umístěn posuvný příčnick s naklápěcí hlavou s vřeteníkem a posuvným rotačním stolem.

Pevný stojan pozitivně ovlivňuje tuhost celé konstrukce, ale zároveň zvyšuje celkovou hmotnost stroje. Pro obrábění velkých obrobků je nutno použít více materiálu na konstrukci stroje, což má větší nároky na zástavbový prostor než koncepce s pohyblivým stojanem.

Další důležitou částí je pohyblivý příčnick stroje, který se pohybuje ve svislém směru. Příčnick je uchycen ve vedení na bocích konstrukce. Z tohoto uchycení plyne nevýhoda ve formě průhybu ve svislém směru s extrémem ve středu příčnicků. Průhyb je ovlivněn velikostí příčnicku spjatou se vzdáleností mezi uchycením příčnicku na vedení.

Velkou výhodou této koncepce je, že nedisponuje výsuvným vřeteníkem s naklápěcí hlavou, kde je naklápěcí hlava s vřeteníkem umístěna na vedení příčnicku.

Použití posuvného rotačního stolu zde snižuje tuhost, zesložituje a prodražuje konstrukci. U velkých strojů s velkými obrobky také snižuje dynamiku stroje.

3.7 Zhodnocení koncepce stroje s pohyblivým stojanem

V analýze trhu jsou uvedeny dva stroje Speedmat HP/T od firmy PAMA a stroj FMT od firmy SORALUCE, které využívají koncepci s pohyblivým stojanem.

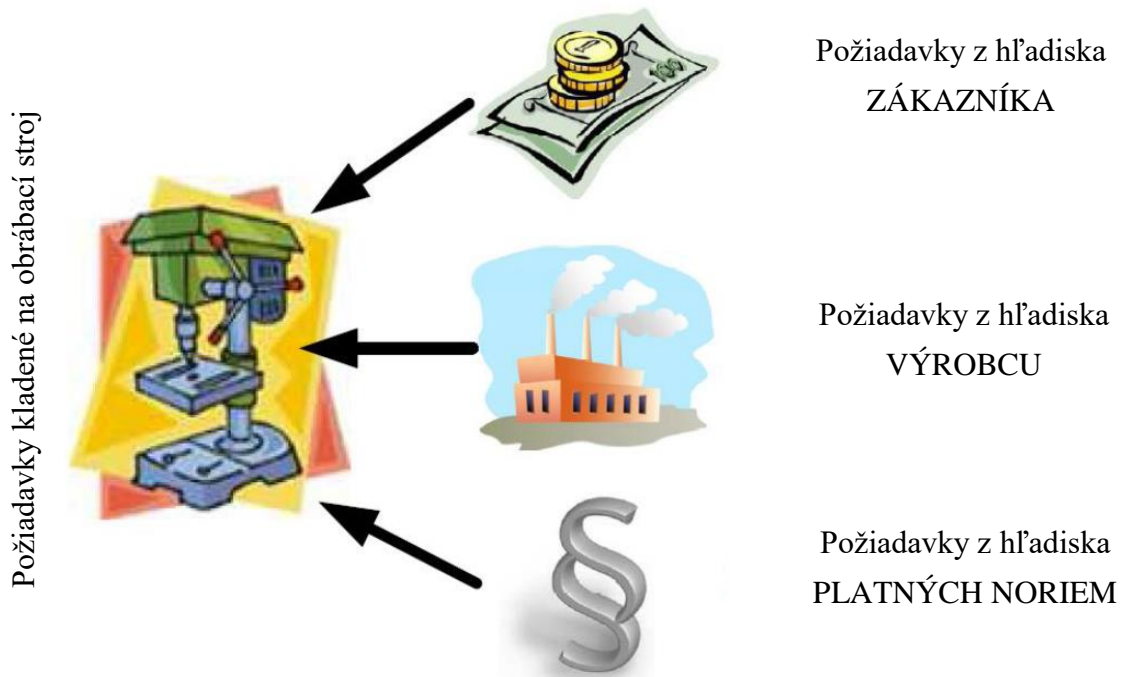
Stroj Speedmat HP/T má koncepci s pohyblivým stojanem a pohyblivým rotačním stolem a naklápěcí hlavou s vřeteníkem. Využití pohyblivého stojanu snižuje celkovou hmotnost stroje a zmenšuje potřebný zástavbový prostor zejména pro velké obrobky. Nevýhodou je snížení tuhosti a složitost konstrukce. Použití posuvného rotačního stolu má stejné výhody a nevýhody jako u předešlé koncepce.

Stroj FMT má také koncepci s pohyblivým stojanem, ale dále zde výrobce využívá výsuvný vřeteník s vřetenovou hlavou místo jedné lineární pohyblivé osy a pevný rotační stůl. Použití pohyblivého stojanu má zde stejné výhody a nevýhody, které byly popsány v přechodném odstavci. Použití výsuvného vřeteníku s naklápěcí hlavou zlepšuje přístupnost k obráběcím plochám, zejména pokud se využije pro obrábění nerotačních součástí upnutých na rozšířeném pevném upínacím stole. Nevýhodou je malá tuhost, velikost deformace ve svislém směru na konci, která se mění s velikostí vysunutí výsuvného vřeteníku a rozvibrování výsuvného vřeteníku při obrábění, což má za následek snížení kvality obrobku.

Použití pevného rotačního stolu zlepšuje dynamiku stroje u velkých obrobků, kde hmotnost obrobku neovlivňuje dynamiku jedné z lineárních pohybových os a zjednodušuje konstrukci oproti provedení s pohyblivým rotačním stolem.

4 SYSTÉMOVÝ ROZBOR PRÁCE

Obrábací stroj zo systémového hľadiska musíme vždy chápať ako sústavu Stroj-Nástroj-Obrobok. Na obrábací stroj sú kladené rôzne požiadavky z rôznych hľadísk ktoré sú znázornené na Obr. 11)

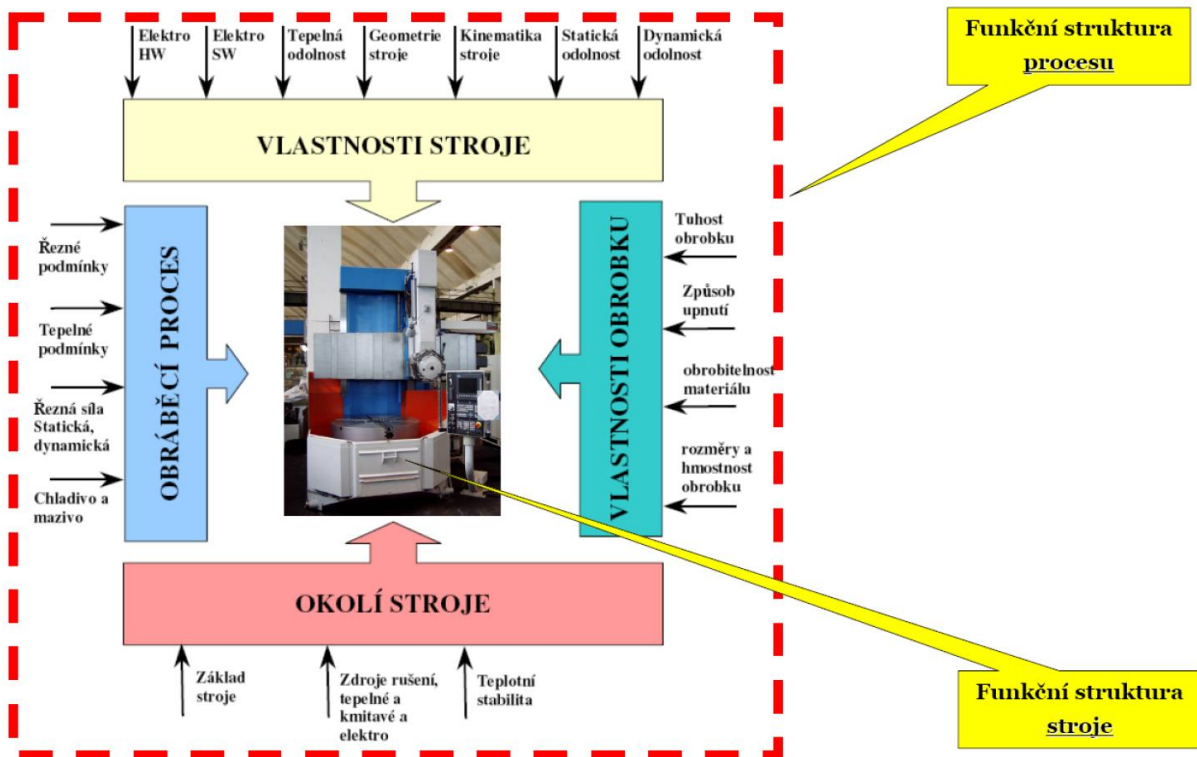


Obr. 11) Požiadavky kladené na obrábací stroj [9]

Z pohľadu konštrukčného riešenia procesu pri ktorom vzniká obrábací stroj je nutné aby konštruktér uvažoval nad nasledujúcimi faktormi (Obr.12) [9]:

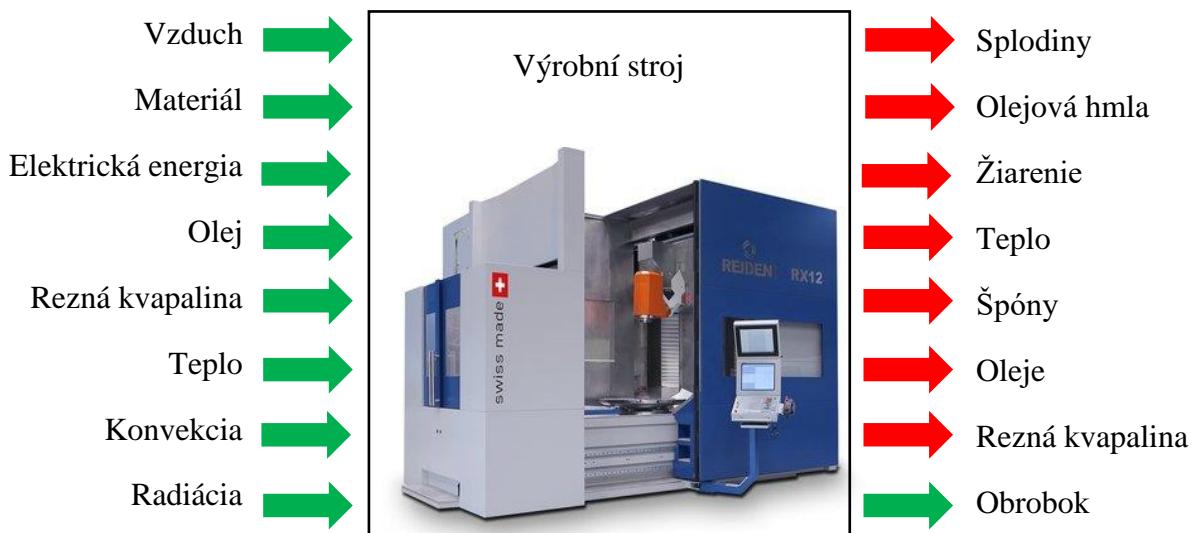
- Technické faktory vlastného rezného procesu trieskového obrábania
- Legislatíva a normy pre daný typ stroja
- Ekonomické hľadisko (náklady na vývoj a tvorbu)
- Ekologická prevádzka a likvidácia po uplynutí technického života
- Ľahká montáž a demontáž
- Ľahký servis a údržba

Ako je zrejmé, jedná sa o veľkú množinu technických, ekonomických, ekologických a legislatívnych vplyvov, ktoré je nutné dodržiavať a rešpektovať. Každé zanedbanie niektorého s týchto faktorov vedie k veľkému množstvu neskorších problémov tak ako u výrobcu tak aj u užívateľa.



Obr. 12) Technické faktory ktoré majú vplyv na konštrukciu obrábacieho stroja [10]

Na Obr. 13) je grafické znázornenie ďalších interakcií. Jedná sa o súhrn zistených médií, ktoré do stroja vstupujú a vystupujú. [10]



Obr. 13) Vstupy a výstupy vo výrobnom stroji [10]

4.1 Problémová situácia

Pri návrhu multifunkčného obrábacieho centra s horizontálnou osou vretena je dôležité vybrať správnu kinematiku, aby sa zabezpečila čo najväčšia presnosť a tuhosť pri obrábacích procesoch. Čo najväčšia presnosť a tuhosť stroja patrí medzi najdôležitejšie požiadavky zákazníkov pri kúpe nového stroja. Správne zvolenou kinematikou stroja sme schopný dosiahnuť čo najlepších parametrov v oblasti presnosti a tuhosti multifunkčného obrábacieho centra. Ďalšou možnosťou pre zlepšenie parametrov je úprava topológie, použitých materiálov a úprava umiestnenia konštrukčných uzlov.

4.2 Formulácia problému

Prvotným a najdôležitejším výberom vo fázy návrhu je zvolenie vhodnej kinematiky pre multifunkčne obrábacie centrum s horizontálnou osou vretena. Po zvolení kinematiky sa dostávame k návrhovým konštrukčným riešeniam jednotlivých uzlov. V našom prípade sa jedná o sústavu vretena, polohovanie nástrojovej hlavy, paletizácia a automatická výmena nástrojov.

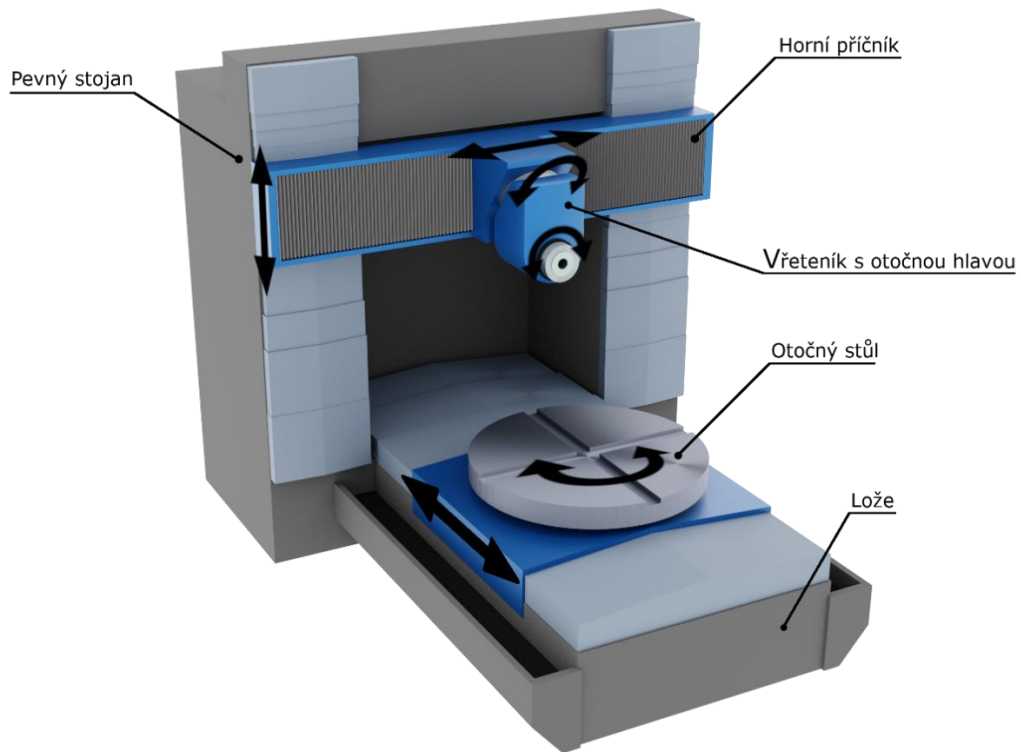
4.3 Formulácia cieľov riešení

Ciele diplomovej práce sú nasledujúce:

- Výber kinematiky stroja
- Návrh sústavy vretena
- Návrh automatickej výmeny nástroja
- Návrh polohovania nástrojovej hlavy
- Návrh paletizácie
- S tým spojené potrebné výpočty
- Záver a odporúčenie

4.4 Popis riešenia sústavy

Praktická časť diplomovej práce sa zaoberá tvorbou 3D modelu a k nemu potrebných výpočtov pre multifunkčné obrábacie centrum s horizontálnou osou vretena. Vybraná kinematika s popisom elementárnych častí je na Obr. 14). Jedná sa o portálový obrábací stroj s dolným gantry, horizontálnym vretenom a otočným stolom.



Obr. 14) Schéma obráběcího centra s popisem hlavních částí

5 NÁVRHY VARIANT KINEMATIKY STROJE

5.1 Návrh parametrů stroje

Dostupné stroje na trhu pokrývají svými parametry možnosti obrábět obrobky až do hmotnosti 15 t včetně výměnné palety o maximálních rozměrech obrobků Ø 3 600 mm a výšce 3 000 mm. Porovnání maximálních parametrů je znázorněno v Tab 6) .

Pro rozšíření nabídky strojů dostupných na trhu byla zvolena hmotnost obrobku s paletou na 20 t, s velikostí otočné upínací desky 2 600 mm, maximální výška obrobku je zvolena 2 500 mm. Přehled s porovnáním parametrů strojů v Tab 6) Velikost pracovního prostoru, rychlost lineárních posuvů a otáčky otočného stolu budou navrhovány až podle vybrané konstrukční varianty stroje.

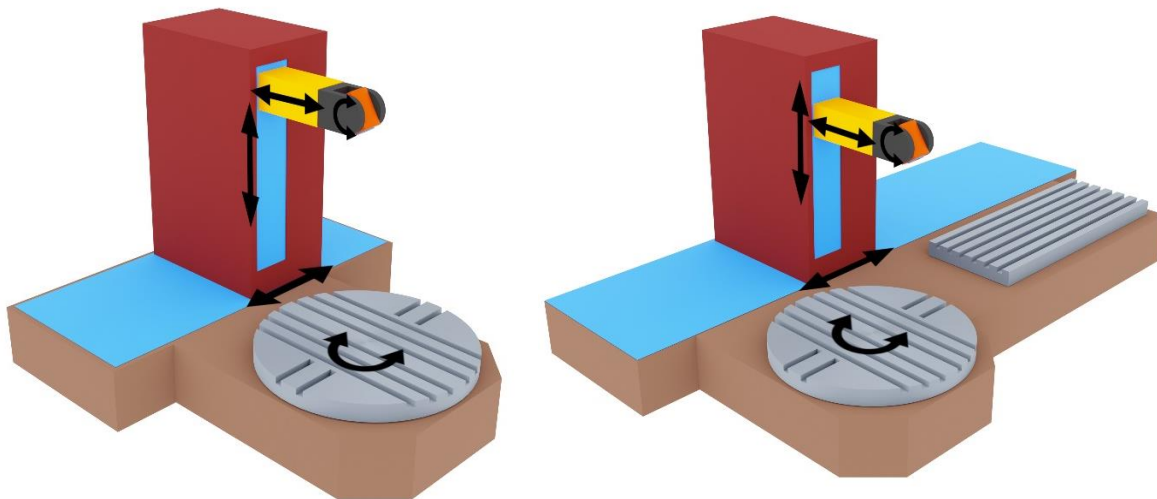
Tab 6) Srovnání maximálních parametrů analyzovaných strojů a navrhovaného stroji

Ozn. stroje/ řady strojů	SPEEDMAT HP	SPEEDMAT VMT	FTM 4000	RX	INTEGREX e-V	Navrhovaný stroj
Výrobce	PAMA	PAMA	SORALUCE	REIDEN	MAZAK	
Hmotnost obrobku	15 t	8 T	8 t	2,5 t	15 t	20 t
Průměr upínací desky	2 500 mm	2 200 mm	1 600 mm	1 200 mm	3000 mm	2 600 mm
Průměr obrobku	3 600 mm	2 200 mm	1 600 mm	1 200 mm	3 500 mm	2 600 mm
Výška obrobku	3 000 mm	1 700 mm	1 800 mm	1 450 mm	1 800 mm	2 500 mm
Pracovní prostor						
X	3 800 mm	2 700 mm	4 000 mm	1 300 mm	3 055 mm	
Y	3 000 mm	2 700 mm	1 800 mm	1 450 mm	1 850 mm	
Z	3 200 mm	1 700 mm	1 300 mm	1 000 mm	1 800 mm	
Parametry posuvu lineárních os						
Rychloposuv	50 m/min	40 m/min	45 m/min	50 m/min	X 20 m/min Y, Z 40 m/min	

5.2 Varianta 1

Tato varianta je řešena pomocí koncepce stroje s pohyblivým stojanem, v němž je umístěn výsuvný vřeteník spolu s naklápěcí hlavou. Všechny lineární pohyby zde vykonává pohyblivý stojan s výsuvným vřeteníkem viz Obr. 15a). Nevýhodou tohoto řešení je použití výsuvného vřeteníku umožňujícího výsuv alespoň do středu otočného stolu a náchylnost výsuvného vřeteníku k rozkmitání pro soustružnické operace vlivem řezných sil. Výhodou zde je umístění otočného stolu v základu stroje, což snižuje nároky na výkon pohonů pro lineární pohyby za předpokladu, že obráběná součást je těžší než celý pohybový stojan a na něm instalované součásti. Hmotnost obrobku zde ovlivňují pouze dynamické vlastnosti otočného soustružnického stolu. Přístup k rotačnímu stolu je zde možný ze 3 stran pro výměnu obrobku.

Výhodou této navržené varianty je snadná rozšiřitelnost o další pracovní prostor. V navrženém případě se jedná o samostatný pevný upínací stůl viz Obr. 15b). Pevný upínací stůl slouží pro upínání nerotačních součástí, které mají větší rozměry. Pro rozšíření stroje o pevný upínací stůl se zvětší u stroje rozsah posuvu a rozšíří se základ stroje pro zakomponování pevného upínacího stolu. Přístup k rotačnímu stolu je u tohoto řešení pouze ze 2 stran pro zabudování výměny obrobku.



a) S rotačním stolem

b) S rozšířením o pevný stůl

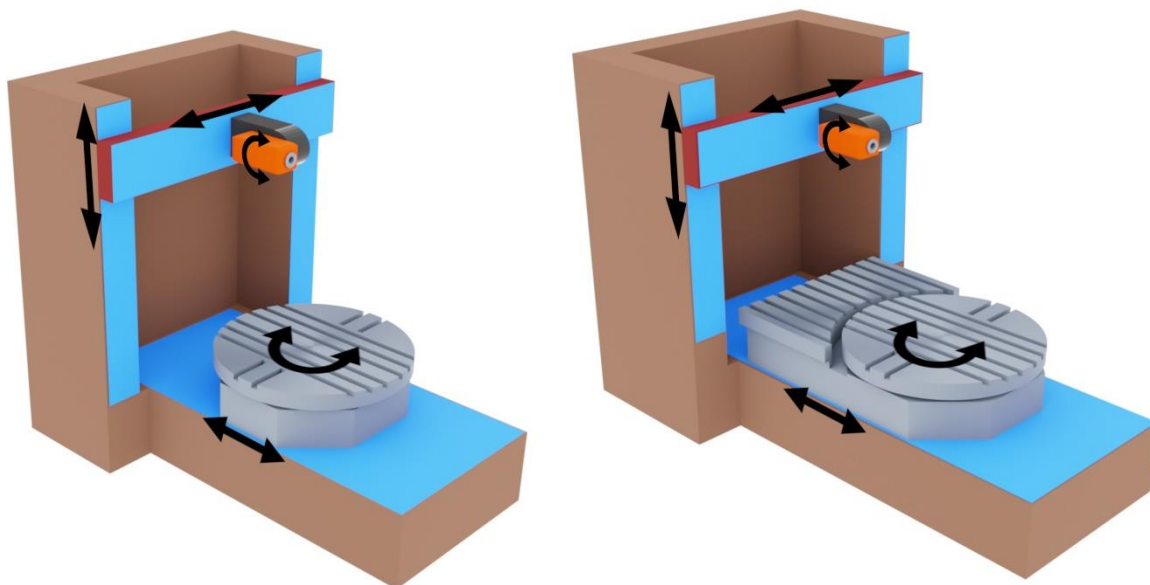
Obr. 15) Varianta 1 – Pohyblivý stojan s výsuvným vřeteníkem

(hnědá barva – základ stroje, šedá barva – rotační a pevný upínací stůl, červená barva – pohyblivý stojan, žlutá barva – výsuvný vřeteník, oranžová barva – vřeteník, černá barva – naklápěcí hlava, modré plochy – znázornění vedení)

5.3 Varianta 2

Tato varianta má koncepci s pevným stojanem - viz Obr. 16a), na kterém je umístěn pohyblivý příčník, na němž je posuvná naklápěcí hlava. Ve spodní části stroje je umístěn pohyblivý otočný stůl. Oproti první variantě je snahou vyhnout se použití výsuvného vřeteníku. Pohyb výsuvného vřeteníku zde nahrazuje pohyb rotačního stolu po lineárním vedení. Nevýhodou u velkých obrobků je značné zatížení lineárního vedení, při použití pohyblivého otočného stolu. Výhody varianty jsou v umístění naklápěcí hlavy s vřeteníkem na pohyblivém příčníku, který má větší tuhost než varianta 1 s výsuvným vřeteníkem a při soustružnických operacích není tato konstrukce méně náchylná na rozkmitání. Vzhledem k uvažovaným velikostem obrobku, by byl použitý příčník značně velký. Musí se zde brát v potaz deformace ve svislém směru příčníků.

Pro lepší využitelnosti stroje je navržena varianta na Obr. 16b), kde je rotační pohyblivý stůl rozšířen o část s pevným upínacím stolem za účelem obrábění větších nerotačních obrobků. Rozšíření pohyblivého stolu ještě více zvyšuje nároky na výkon pohonu u lineární osy a zatížení vedení osy. U obou variant je rotační stůl přístupný ze 3 stran pro výměnu obrobku.



a) S rotačním pohyblivým stolem

b) S rozšířením o pevný pohyblivý stůl

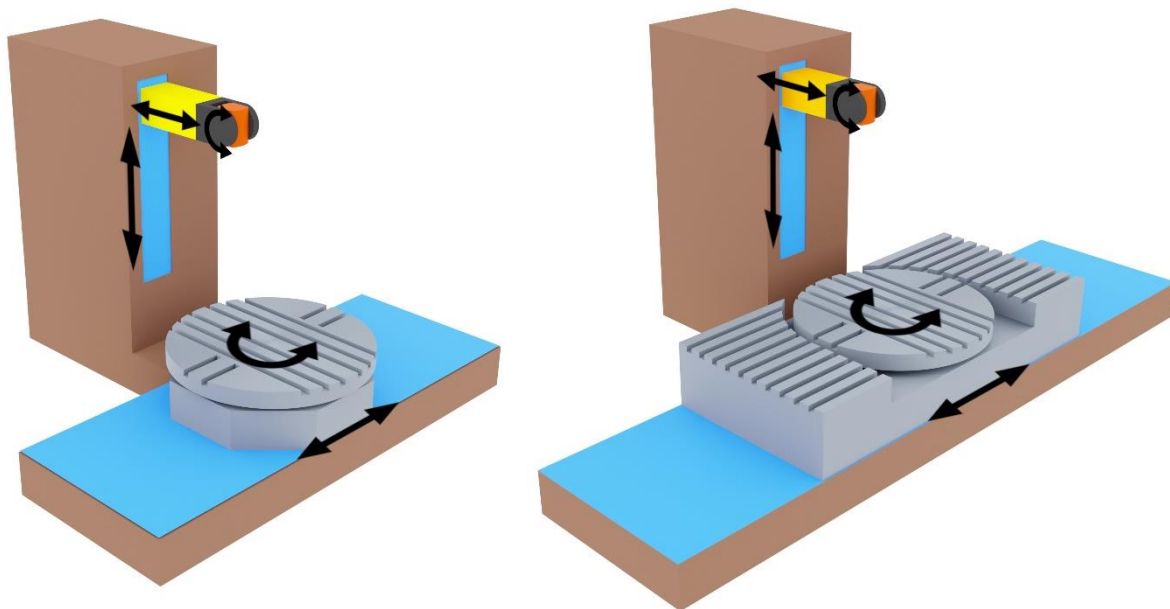
Obr. 16) Varianta 2 – Pevný stojan s příčníkem

(hnědá barva – základ stroje, šedá barva – rotační a pevný upínací stůl, červená barva – pohyblivý příčník, oranžová barva – vřeteník, černá barva – naklápěcí hlava, modré plochy – znázornění vedení)

5.4 Varianta 3

Další navrženou variantou, která kombinuje předchozí varianty, je návrh stroje s pevným stojanem, výsuvným vřeteníkem a pohyblivým rotačním stolem na Obr. 17)a). V pevném stojanu je umístěn výsuvný vřeteník umožňující pohyb ve svislém směru. Pohyblivý otočný stůl je umístěn mimo pevný stojan, což snižuje množství materiálu použitého na konstrukci stroje oproti variantě 2 a, navíc oproti oběma předchozím variantám zlepšuje přístupnost k obrobku. K nevýhodám této varianty patří výsuvný vřeteník a pohyblivý otočný stůl. Výhodou je větší prostor pro výměnu obrobků.

Pro lepší využitelnost stroje na obrábění nerotačních součástí je rozšířen pohyblivý otočný stůl o pevný upínací stůl na obou stranách, což je znázorněno na Obr. 17) b). Rozšíření zvyšuje nároky na výkon pohonů u lineární osy a zatížení na lineární vedení. Dále zamezilo přístupu pro automatickou výměnu obrobku z bočních stran. A aby bylo možné provést automatickou výměnu, je nutné do pohyblivého pevného stolu udělat výřez pro přístup k rotační části stolu.



a) S rotačním stolem

b) S rozšířením o pevný pohyblivý stůl

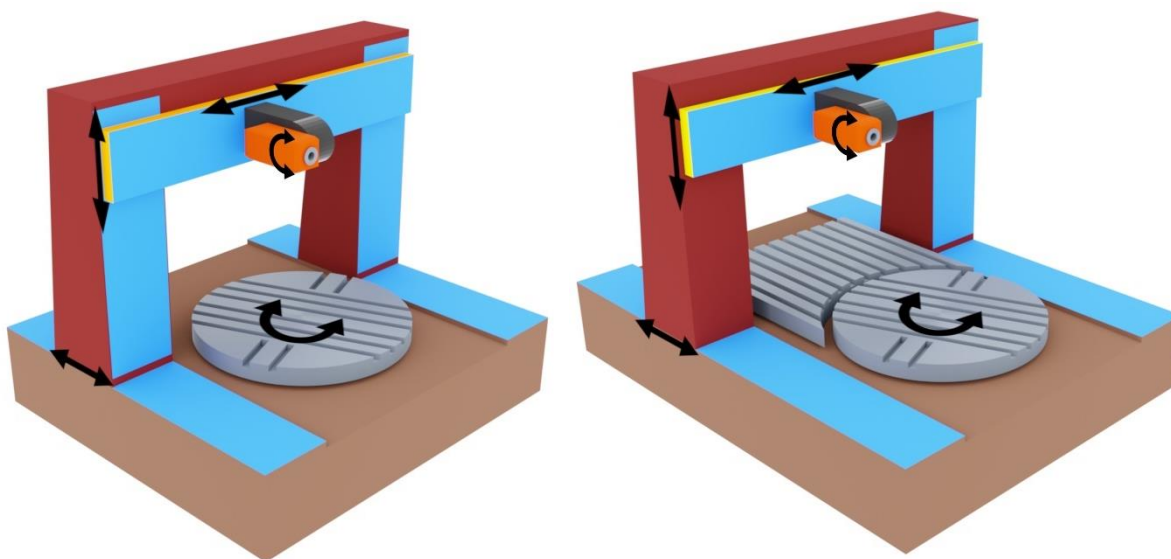
Obr. 17) Varianta 3 – S pevným stojanem a výsuvným vřeteníkem

(hnědá barva – základ stroje, šedá barva – rotační a pevný upínací stůl, žlutá barva – výsuvný vřeteník, oranžová barva – vřeteník, černá barva – naklápěcí hlava, modré plochy – znázornění vedení)

5.5 Varianta 4

Varianta 4 na Obr. 18)a) využívá koncepcce spodní gantry, která se používá u strojů se svislou osou vřeteně, kde na pohyblivém stojanu je umístěn vně pohyblivý příčnick s naklápěcí hlavou a vřeteníkem. V základu stroje je umístěn otočný stůl. Tato koncepcce se snaží odstranit všechny předešlé problematické části stroje, jako jsou výsuvný vřeteník a pohyblivý rotační stůl. Použitím pohyblivého stojanu se snížilo potřebné množství materiálu na konstrukci stroje a umožnilo použití nepohyblivého rotačního stolu. Negativní dopad použití posuvného stojanu mělo dopad na snížení tuhosti stroje oproti variantě 2. Automatická výměna obrobku zde může být realizována ze přední nebo ze zadní části stroje.

Tato varianta je snadno rozšířitelná o další pracovní prostor. V tomto případě rozšíření o pevný upínací stůl s výřezem pro rotační upínací stůl – viz Obr. 18)b). Rozšířením o pevný upínací stůl přicházíme o jednu pozici pro automatickou výměnu obrobku.



a) S rotačním stolem

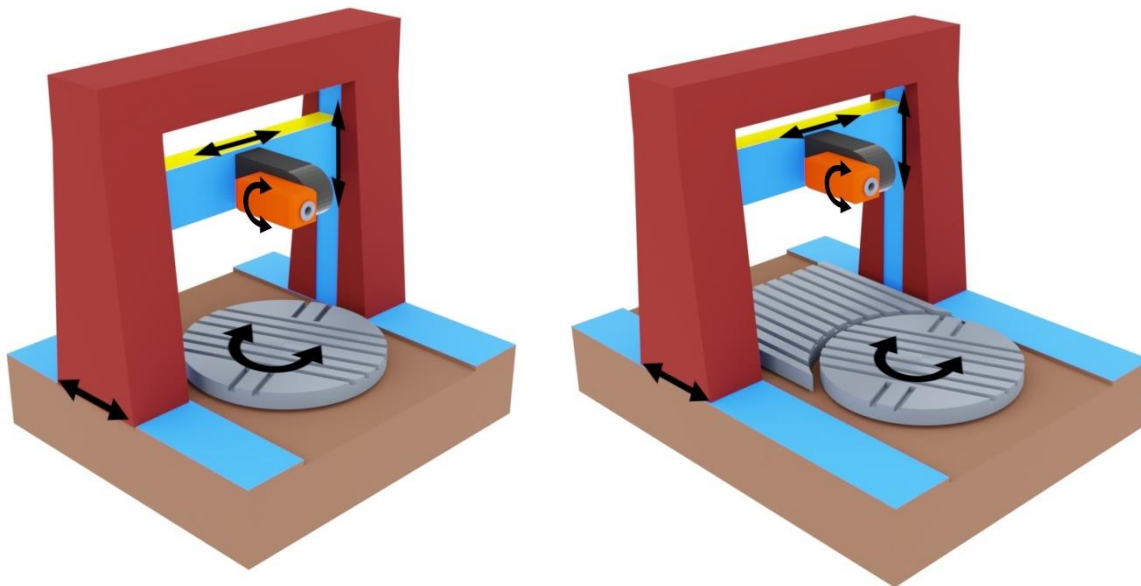
b) S rozšíření o pevný stůl

Obr. 18) Varianta 4 – Spodní gantry s vnějším příčnickem

(hnědá barva – základ stroje, šedá barva – rotační a pevný upínací stůl, červená barva – pohyblivý stojan, žlutá barva – posuvný příčnick, oranžová barva – vřeteník, černá barva – naklápěcí hlava, modré plochy – znázornění vedení)

5.6 Varianta 5

Poslední varianta řešená na Obr. 19)a)b) je podobná předchozí variantě 4. Rozdílné je zde vedení posuvného příčnicku, které je realizováno uvnitř posuvného stojanu. Aby se dosáhlo stejné velikosti pracovního prostoru jako u předešlé varianty, je nutné celý pohyblivý stojan zvětšit. Naklápěcí hlava má omezení pohybu prostorem uvnitř pohyblivého stojanu. Celková konstrukce pohyblivého stojanu je značně složitější než u předchozí varianty.



a) S rotačním stolem

b) S rozšíření o pevný stůl

Obr. 19) Varianta 5 – Spodní gantry s vnitřní příčnickem

(hnědá barva – základ stroje, šedá barva – rotační a pevný upínací stůl, červená barva – pohyblivý stojan, žlutá barva – posuvný příčník, oranžová barva – vřeteník, černá barva – naklápěcí hlava, modré plochy – znázornění vedení)

5.7 Parametry pro výběr varianty kinematiky stroje

Pro výběr varianty byly navrženy parametry uvedeny v 0Pro určení důležitosti jsou jednotlivé parametry mezi sebou porovnány v Tab 8) a jednotlivým parametrům v Oje přiřazena váha. Metoda výběru je založena metodě vícekriteriálního hodnocení variant PATTERN.

Tab 7) Tabulka parametrů pro výběr kinematiky stroje

Parametr	Název parametru	Popis parametru
P1	Přesnost	Přesnost polohování jednotlivých os stroje
P2	Tuhost	Tuhost konstrukce stroje
P3	Dynamika	Rychlost a zrychlení pohybu os stroje
P4	Hmotnost	Celková váha stroje
P5	Zástavbový prostor	Velikost potřebného prostoru pro instalaci stroje
P6	Cena	Nákladnost konstrukce stroje
P7	Variabilita obrábění	Přístupnost ploch pro obrábění
P8	Složitost konstrukce	
P9	Odvod třísek	Řešení odvodu třísek z pracovního prostoru

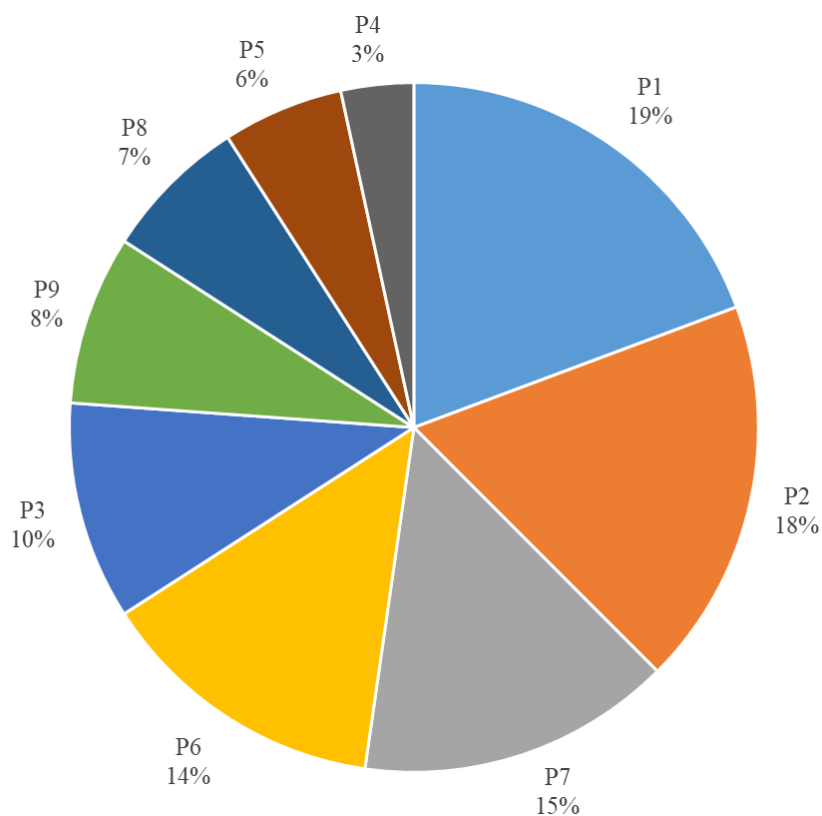
Tab 8) Porovnání parametrů mezi sebou výběr kinematiky stroje

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	SUMA	Pořadí
P1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	1
P2		2	2	2	2	2	2	2	2	8	2
P3			3	3	3	6	7	3	3	5	5
P4				4	5	6	7	8	9	1	9
P5					5	6	7	8	9	2	8
P6						6	7	6	6	6	4
P7							7	7	7	7	3
P8								8	9	3	7
P9									9	4	6

Jednotlivým parametrům byla přiřazena váha důležitosti pomocí bodovací stupnice od 1 do 3, kdy 1 reprezentuje slabou závislost mezi parametry, 2 střední závislost a 3 silnou závislost. Výsledné váhy parametrů jsou zobrazeny ve výšečovém grafu na Obr. 20).

Tab 9) Určení váhy parametrů pro výběr kinematiky stroje

	P1	P2	P7	P6	P3	P9	P8	P5	P4	SUMA	Relativní váha
P1	3	3	1	3	1	1	2	1	2	17	19%
P2		3	1	2	2	1	3	1	3	16	18%
P7			3	2	1	1	3	1	2	13	15%
P6				3	1	1	3	2	2	12	14%
P3					3	1	2	1	2	9	10%
P9						3	2	1	1	7	8%
P8							3	1	2	6	7%
P5								3	2	5	6%
P4									3	3	3%
Celkový počet bodů										88	100%



Obr. 20) Výšečový graf s relativní váhou parametrů pro výběr kinematiky stroje

5.8 Výběr varianty kinematiky stroje

Pro určení nejlepší navržené varianty se pro každý parametr u každé varianty přiřadí body od 1 do 5 (1 - nejhorší, 5 - nejlepší). Varianta, která dosáhne nejvyššího počtu bodů, je vítěznou variantou.

Tab 10) Dosažení bodů parametrů pro jednotlivé navržené varianty kinematiky stroje

	Váha parametrů		Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4	Varianta 5
P1	19%	17	3	4	2	4	4
P2	18%	16	2	3	2	3	4
P7	15%	13	5	3	4	4	3
P6	14%	12	3	2	2	2	1
P3	10%	9	4	2	3	5	5
P9	8%	7	2	2	2	2	2
P8	7%	6	2	3	2	3	2
P5	6%	5	4	3	4	3	2
P4	3%	3	3	2	3	3	3
Celkové body			289	262	232	311	291
Pořadí			3	4	5	1	2

Nejlepší variantou podle dosažených bodů z Tab 10) a námi zvolenou variantou pro další rozbor, se stala varianta 4. Tato varianta nejlépe odstraňuje slabá místa v konstrukci ostatních variant, jako je použití výsuvného vřeteníku u variant 3 a 1, pohyblivého rotačního stolu u variant 2 a 3, velké hmotnosti konstrukce u varianty 2 a malého rozsahu pohybu naklápěcí hlavy u varianty 5, kde byl také problém se zabudováním automatické výměny nástrojů. Výhodou je snadná rozšiřitelnost pracovního prostoru bez vlivu na dynamiku stroje.

Slabé místo v konstrukci vybrané varianty je v odvodu třísek z pracovního prostoru vzhledem velikosti obrobku a horší paletizaci obrobku.

6 VÝPOČET REZNÝCH SÍL PÔSOBIACICH NA STROJ PRI OBRÁBANÍ

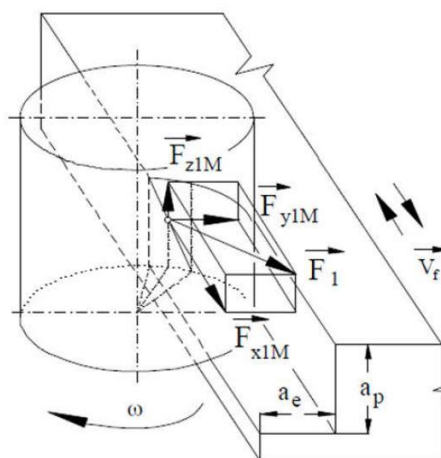
Pri návrhu stroja je nutné určiť rezné sily, ktoré naň budú pôsobiť počas obrábania. Vzhľadom k tomu, že navrhujeme multifunkčný stroj schopný frézovať, sústružiť a vŕtať musíme vypočítať rezné sily pre jednotlivé druhy obrábania a jednotlivé typy materiálov. Pri výpočte jednotlivých obrábacích operácií som sa rozhodol použiť nástroje a kalkulačky jednotlivých parametrov od firmy WALTER. Analýzu rezných síl som spravil komplexnú, pre rôzne druhy obrábania, veľkosti nástrojov a celé spektrum materiálov. Je veľmi dôležité poznať tieto sily, pretože zásadným spôsobom ovplyvňujú chovanie stroja a výber použitých komponent.

Vzhľadom k rozsahu tejto analýzy som sa rozhodol v práci použiť len niekoľko najpodstatnejších grafov. Tabuľky s konkrétnymi reznými podmienkami sú uvedené v priloženom súbore excel na CD.

6.1 Frézovanie

Frézovanie je trieskové obrábanie rovinných, šikmých a tvarových plôch, zubov ozubených kôl, závitov atď. Umožňuje obrábať vonkajšie a vnútorné plochy rotačných aj nerotačných obrobkov. Hlavný pohyb, ktorý je rotačný koná nástroj (fréza). Je to mnohobritý nástroj rôznych konštrukcií. Vedľajší pohyb môže vykonávať nástroj alebo obrobok, to závisí od konštrukcie daného stroja Obr. 1) [11].

Kvôli komplexnosti a veľkému množstvu rôznych variant použitia frézovania som sa rozhodol rozdeliť túto analýzu na dva najpoužívanejšie a zároveň pre vreteno a celý stroj najnamáhavejšie spôsoby obrábania. Prvý spôsob je rohové frézovanie s použitím jezkovej frézy na hrubovanie. Druhý spôsob je čelné frézovanie. Pre obidva spôsoby som vybral päť odlišných priemerov nástrojov aby som získal lepšiu predstavu o silách, ktoré pôsobia na stroj počas obrábacieho procesu.

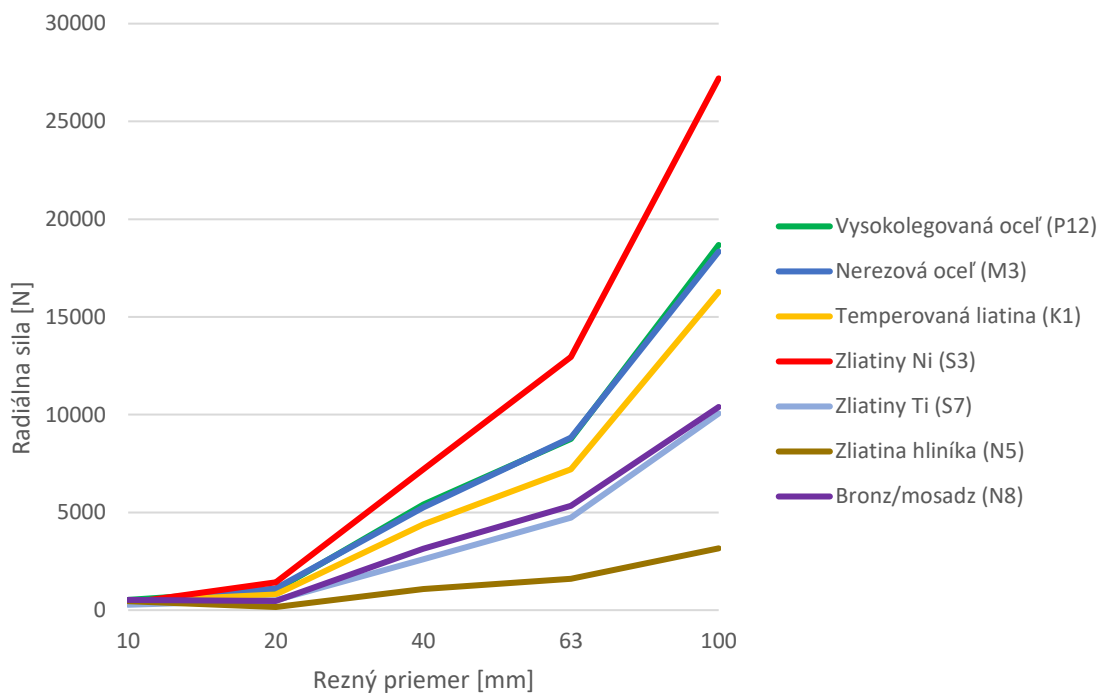


Obr. 21) Rezné sily pri frézovaní [11]

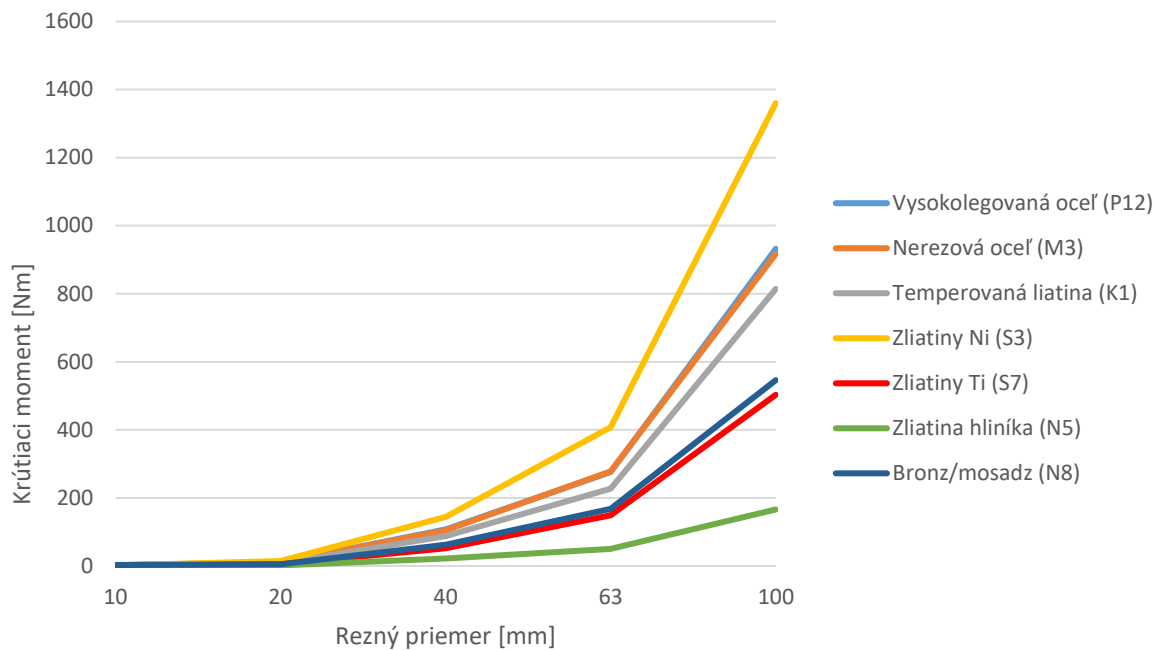
6.1.1 Rohové frézovanie

Tab 11) Telesá nástroja na rohové frézovanie

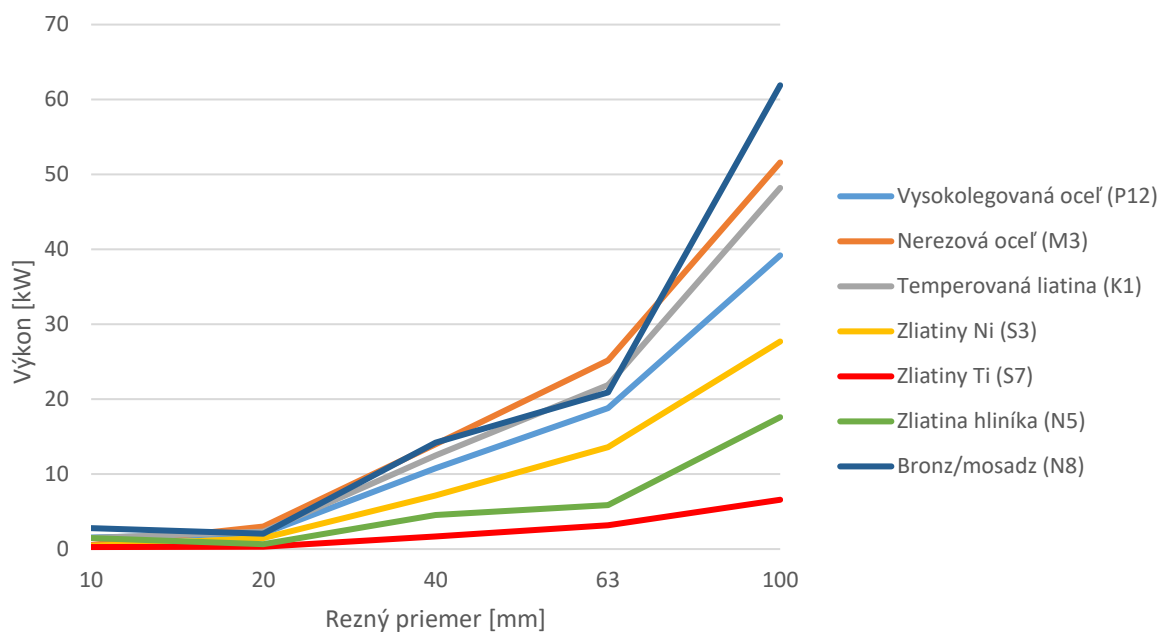
Rezný priemer [mm]	Teleso nástroja
10	MC122-10.0A4XK-WJ30TF
20	M4256-020-W20-01-27
40	M4257-040-W40-02-54
63	M4257-063-B27-03-54
100	M4258-100-B40-04-77



Obr. 22) Rohové frézovanie - radiálna sila



Obr. 23) Rohové frézovanie - krútiaci moment

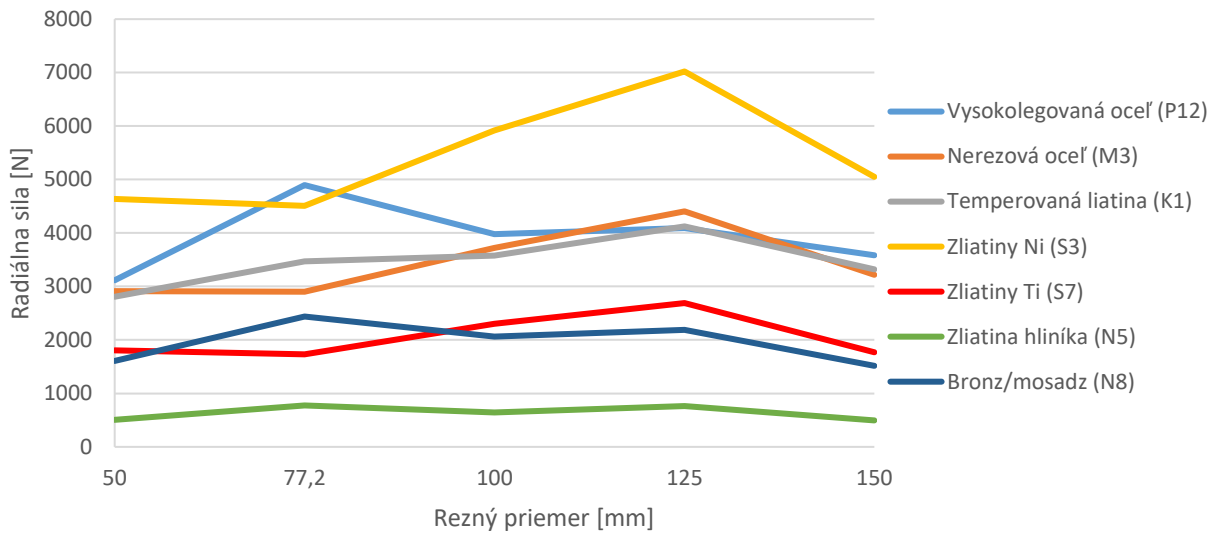


Obr. 24) Rohové frézovanie - výkon

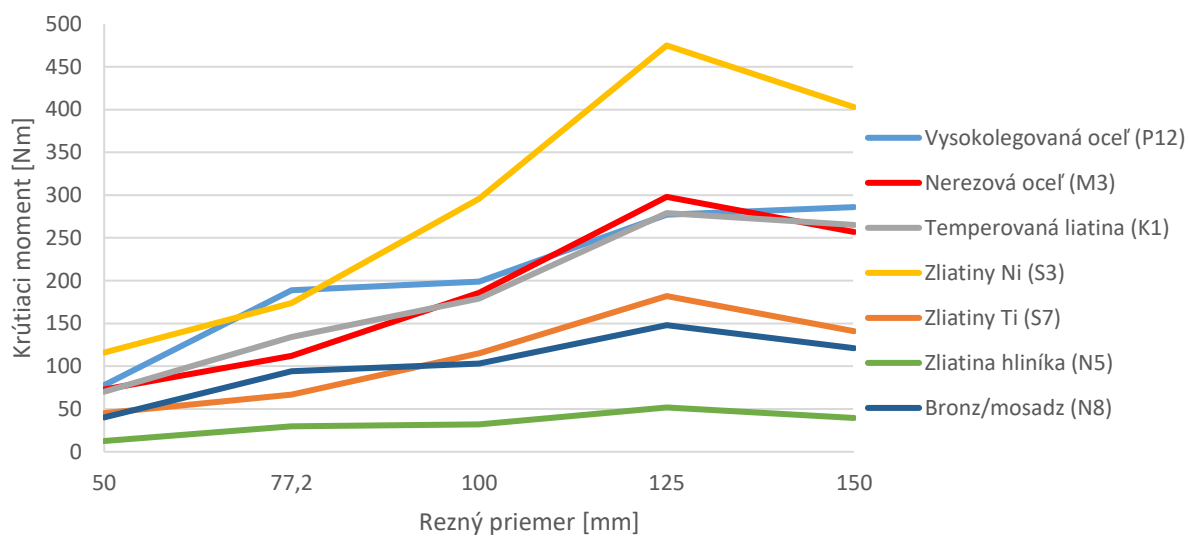
6.1.2 Čelné frézovanie

Tab 12) Telesá nástroja na čelné frézovanie

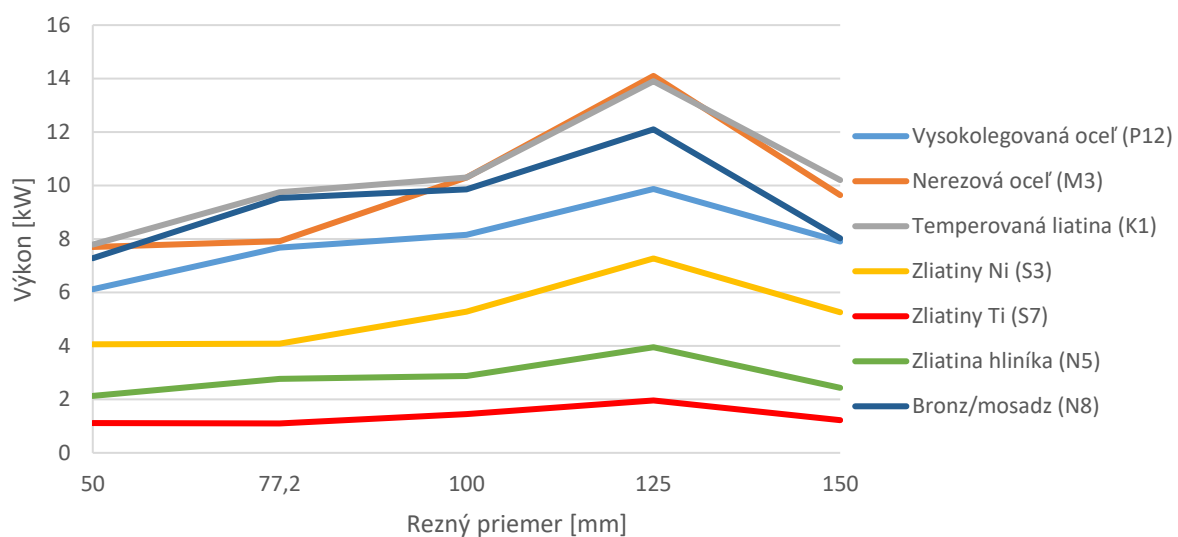
Rezný priemer [mm]	Teleso nástroja
50	M4003-050-B22-05-6.5
77,2	M4002-100-B32-07-02
100	F2010.B.100.Z07.06.R758M
125	F2010.B.125.Z08.11.R718M
150	F4080.B40.160.Z09.04



Obr. 25) Čelné frézovanie - radiálna sila



Obr. 26) Čelné frézovanie - krútiaci moment

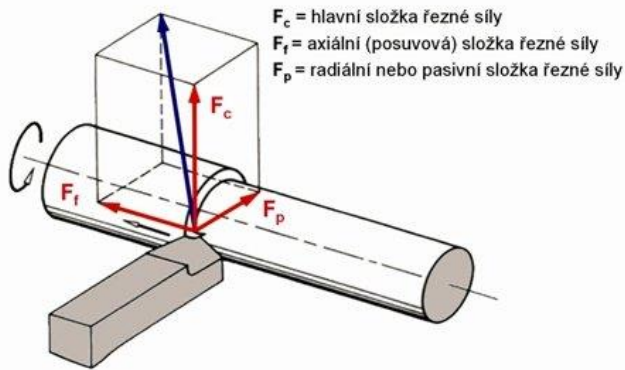


Obr. 27) Čelné frézovanie - výkon

6.2 Sústruženie

Sústruženie je to technológia trieskového obrábania vnútorných a vonkajších rotačných plôch. Pri sústružení koná hlavný otáčavý pohyb obrobok a vedľajší pohyb koná nástroj. Obrábanie vykonáva väčšinou nástroj s jedným rezným britom [11].

Pre výpočet rezných podmienok a síl (Obr. 3) som si zvolil: pozdĺžne sústruženie s hĺbkou záberu 5 mm, posuvom na otáčku 0,7mm na priemere 2000 mm.



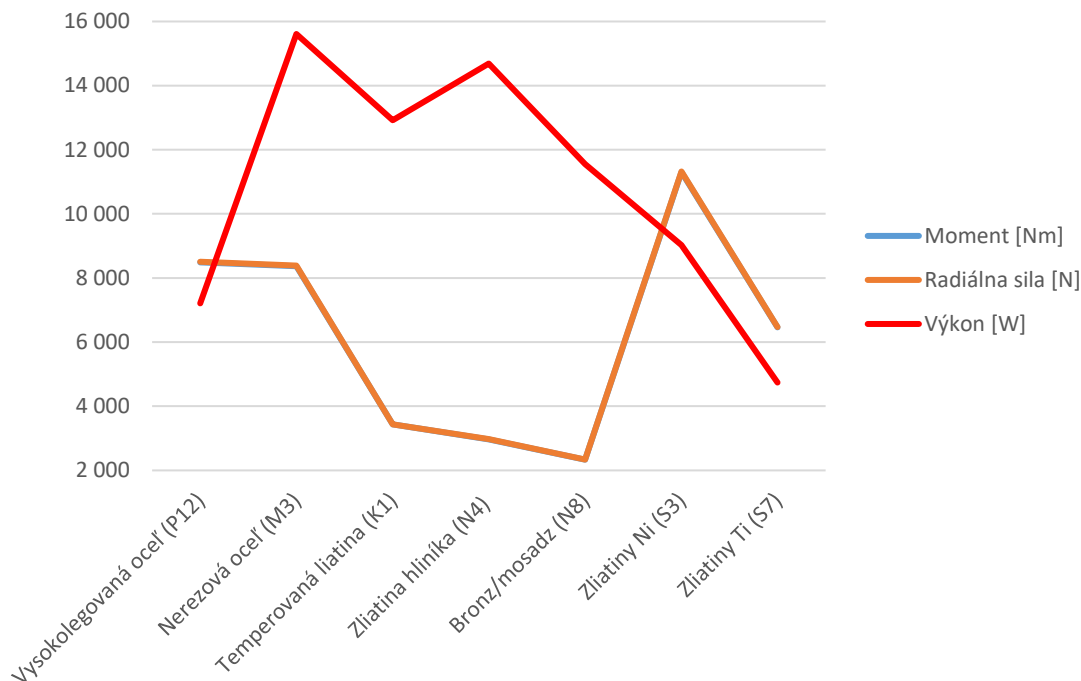
Obr. 28) Rezné síly pri sústružení [12]



Obr. 29) Teleso sústružníckeho nástoja [13]

Tab 13) Rezné parametre pri sústružení

Materiál	Rezná rýchlosť [m/min]	Otáčky [1/min]	Posuv [mm/min]	Výkon [kW]	Moment [Nm]	Radiálna sila [N]
Vysokolegovaná oceľ (P12)	51	8	6	7,21	8 489	8 503
Nerezová oceľ (M3)	112	18	12	15,61	8 369	8 383
Temperovaná liatina (K1)	226	36	25	12,92	3 432	3 438
Zliatina hliníka (N4)	297	47	33	14,69	2 971	2 976
Bronz/mosadz (N8)	297	47	33	11,55	2 334	2 338
Zliatiny Ni (S3)	48	8	5	9,03	11 303	11 322
Zliatiny Ti (S7)	44	7	5	4,74	6 463	6 474



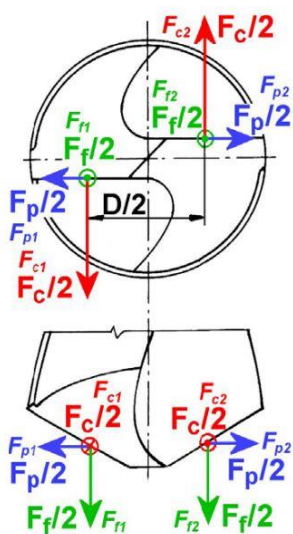
Poznámka: Krivka radiálnej sily a momentu sa prekrývajú

Obr. 30) Podmienky pri sústružení

6.3 Vrtanie

Vrtanie je výrobná technológia, pomocou ktorej sa zhotovujú priechodzie a nepriechodzie diery do plného materiálu, alebo sa zväčšujú predvrtané otvory. Hlavný rezný otáčavý pohyb vykonáva obvykle nástroj (vrták) ale napríklad na sústruhu vykonáva tento pohyb obrobok. Posuvný vedľajší pohyb v smere osy vykonáva vrták [11].

Pre výpočet rezných podmienok a síl (Obr. 4) som si zvolili: vrtanie do plného materiálu rôznych priemerov.



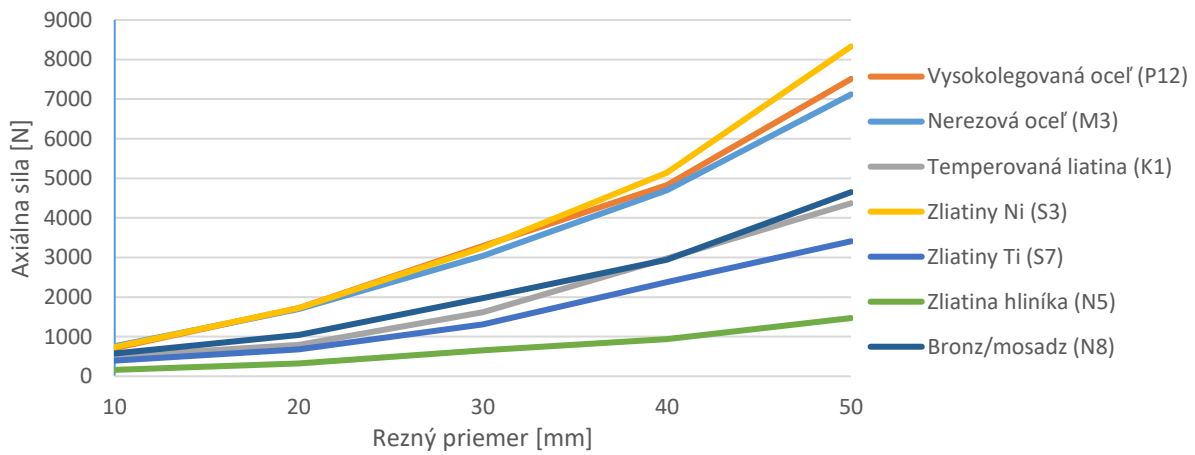
Obr. 31) Rezné sily pri vrtaní [14]



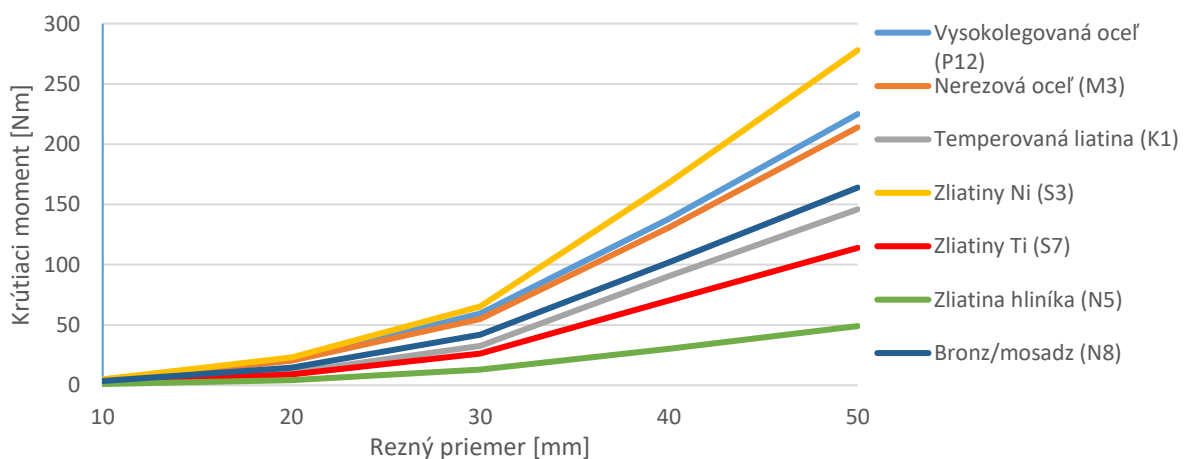
Obr. 32) Teleso vrtáku od firmy WALTER [13]

Tab 14) Telesá nástroja na vrtanie

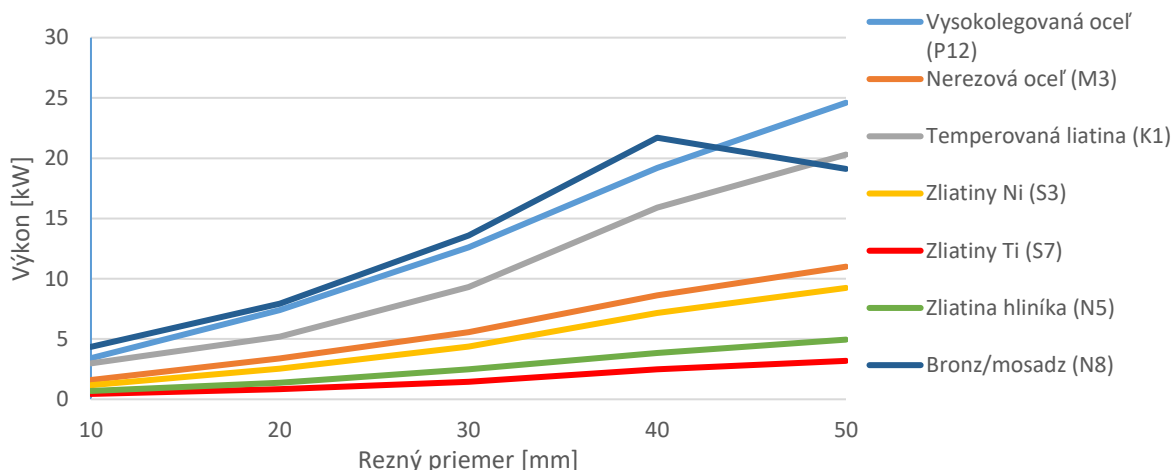
Rezný priemer [mm]	Teleso nástroja
10	B3214.DF.10,0.Z01.40R
20	D3120-04-20.00F25-P21
30	D3120-04-30.00F32-P23
40	D3120-04-40.00F40-P25
50	B4214.F40.50.Z1.200R-7



Obr. 33) Vrtanie – axiálna sila



Obr. 34) Vrtanie – krútiaci moment



Obr. 35) Vrtanie – výkon

6.4 Výpočet ekvivalentnej radiálnej sily

Vzhľadom k tomu, že náš stroj je multifunkčný a nebude na ňom vykonávaný len jeden typ obrábania a obrábaný jeden druh materiálu je vhodné si určiť ekvivalentnú radiálnu silu, ktorá bude na vreteno počas rôznych operácií pôsobiť. Tú zistíme zo vzorca (1).

$$F_{ekv} = \sqrt{\frac{t_1 \cdot F_1^2 + t_2 \cdot F_2^2 + \dots + t_n \cdot F_n^2}{t_c}} \quad (1)$$

Výber maximálnych síl pôsobiacich počas obrábania bol ovplyvnený faktom, že náš stroj nie je určený k obrábaniu najväčších obrobkov. Pre lepšiu názornosť sú radiálne sily vznikajúce pri rohovom frézovaní ježkovou frézou, čelnom frézovaní a sústružení uvedené v Tab 16) aj s odhadovaným percentuálnym podielom času, po ktorý stroj bude jednotlivé materiály obrábať. Týmto sme zohľadnili podiel daných síl na zaťažení vretena.

Ďalej však bolo nutné zohľadniť aj podiel jednotlivých druhov obrábania na zaťažení vretena. To sme urobili obdobným spôsobom ako v predošlom prípade pomocou vzorca na ekvivalentnú silu 0. Výsledná hodnota a percentuálny podiel jednotlivých operácií na chode stroja sa nachádzajú v Tab 16) .

Tab 15) Ekvivalentná radiálna sila pre jednotlivé operácie

Materiál	Percentuálny podiel [%]	Rohové frézovanie F_R [N]	Čelné frézovanie F_R [N]	Sústruženie F_R [N]
Vysokolegovaná oceľ (P12)	25	8762	4896	8 503
Nerezová oceľ (M3)	15	8825	4405	8 383
Temperovaná liatina (K1)	20	7206	4124	3 438
Zliatiny Ni (S3)	5	12952	7021	2 976
Zliatiny Ti (S7)	5	4730	2690	2 338
Zliatina hliníka (N5)	20	3160	775	11 322
Bronz/mosadz (N8)	10	5333	2438	6 474
Ekvivalentná sila [N]		7457	3981	6 466

Tab 16) Výsledná ekvivalentná radiálna sila

Druh obrábania	Percentuálny podiel [%]	Ekvivalentná sila [N]
Čelné frézovanie	45	3981
Rohové frézovanie	25	7457
Sústruženie	10	6466
Výsledná ekvivalentná sila [N]		6439

6.5 Výpočet ekvivalentnej axiálnej sily

Pri výpočte tejto zložky reznej sily som sa zamerlal na operáciu vrtania do plného materiálu, pri ktorom vznikajú najväčšie axiálne sily. Výpočet som vykonal rovnakým spôsobom ako v predchádzajúcej časti pomocou vzorca 0. Hodnoty pre jednotlivé materiály ako aj výsledná ekvivalentná axiálna sila sú uvedené v

Tab 17) Výsledná ekvivalentná axiálna sila

Materiál	Percentuálny podiel [%]	Max. axiálna sila [N]
Vysokolegovaná oceľ (P12)	25	4824
Nerezová oceľ (M3)	15	4698
Temperovaná liatina (K1)	20	2974
Zliatiny Ni (S3)	5	5139
Zliatiny Ti (S7)	5	2374
Zliatina hliníka (N5)	20	935
Bronz/mosadz (N8)	10	2943
Výsledná ekvivalentná sila [N]		3680

6.6 Výpočet ekvivalentného momentu na vretene

Výpočet ekvivalentného momentu na vretene vychádza zo vzorca 0. Postup je zhodný s výpočtom ekvivalentnej sily ale namiesto sily dosadzujeme moment. Výpočet ekvivalentného momentu na vretene bol určený na základe momentu potrebného pri frézovaní rohovom, čelnom a vrtaní. V prvom rade sme brali do úvahy obrábané materiály a ich percentuálny podiel (Tab 18). V nasledovnom kroku sme zobrali do úvahy podiel jednotlivých operácií na celkovom vyťažení (Tab 19) a z toho nám vyšiel výsledný ekvivalentný krútiaci moment na vretene (Tab 19).

Tab 18) Ekvivalentný krútiaci moment na vretene

Materiál	Percentuálny podiel [%]	Rohové frézovanie [Nm]	Čelné frézovanie [Nm]	Vrtanie [Nm]
Vysokolegovaná oceľ (P12)	25	276	286	225
Nerezová oceľ (M3)	15	278	298	214
Temperovaná liatina (K1)	20	227	279	146
Zliatiny Ni (S3)	5	408	475	278
Zliatiny Ti (S7)	5	149	182	114
Zliatina hliníka (N5)	20	50,6	51,8	49
Bronz/mosadz (N8)	10	168	148	164
Ekvivalentný moment [Nm]		232	255	178

Tab 19) Výsledný ekvivalentný krútiaci moment na vretene

Druh obrábania	Percentuálny podiel [%]	Ekvivalentný moment [Nm]
Čelné frézovanie	45	255
Rohové frézovanie	25	232
Vrtanie	20	178
Výsledný ekvivalentný moment [Nm]		222

6.7 Výpočet ekvivalentného momentu otočného stola

Výpočet je totožný s predchádzajúcim výpočtom ekvivalentného momentu na vretene, ale v tomto prípade je vstupným parametrom moment potrebný pre sústruženie. Výsledná hodnota ako aj odhadovaný percentuálny pomer obrábania jednotlivých skupín materiálov sa nachádza v Tab 20) .

Tab 20) Výsledný ekvivalentný krútiaci moment otočného stola

Materiál	Percentuálny podiel [%]	Sústruženie [Nm]
Vysokolegovaná oceľ (P12)	25	8 489
Nerezová oceľ (M3)	15	8 369
Temperovaná liatina (K1)	20	3 432
Zliatiny Ni (S3)	5	2 971
Zliatiny Ti (S7)	5	2 334
Zliatina hliníka (N5)	20	11 303
Bronz/mosadz (N8)	10	6 463
Výsledný ekvivalentný moment [Nm]		7831

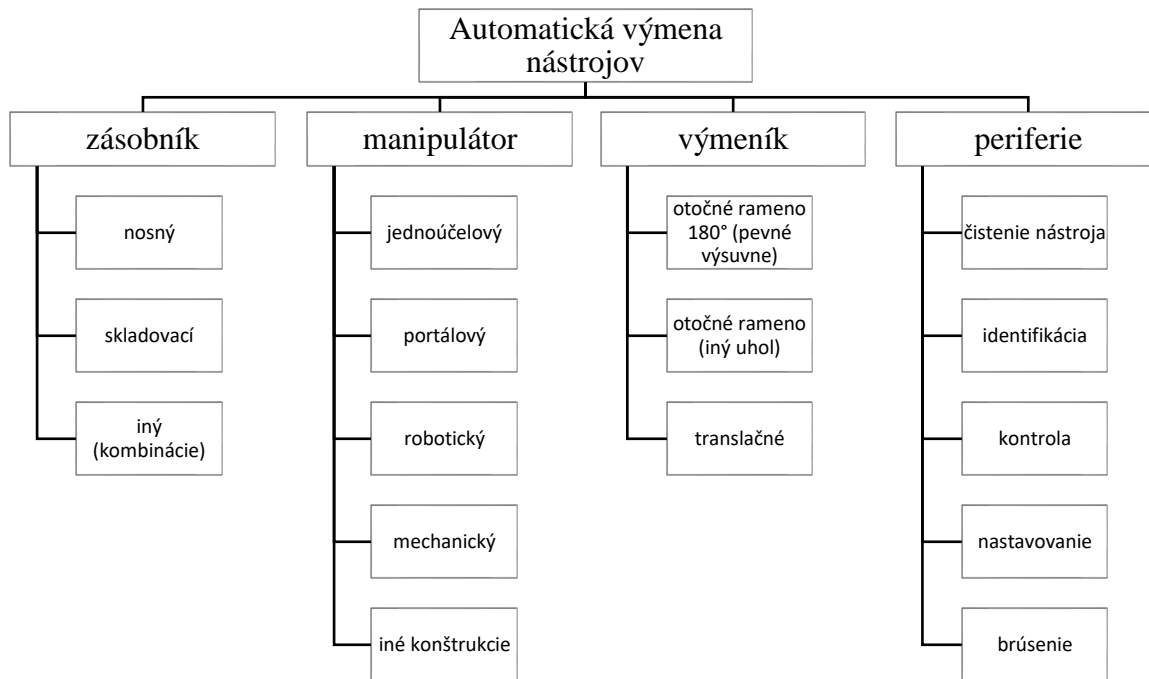
7 AUTOMATICKÁ VÝMENA NÁSTROJŮV

Skupina uzlov pre odkladanie, manipuláciu, polohovanie a upnutie nástrojových jednotiek v obrábacom centre bez použitia ľudskej sily a zručnosti plní systém s automatickou výmenou nástrojov. U obrábacích centier je AVN podstatným funkčným doplnkom pre zaistenie ich plynulosti a nepretržitej prevádzky. Je tvorená širokým sortimentom konštrukčných riešení. Tie zaisťujú optimálne využitie obrábacieho stroja pri daných technologických operáciách, ktoré definujú skladbu nástrojového vybavenia. Do tejto skupiny patria aj automatická výmena a skladovanie technologického príslušenstva [1].

Hlavným prínosom systému s automatickou výmenou nástrojov je možnosť automaticky riadiť komplexné obrábanie celého obrobku na danom stroji a tým pádom významne skrátiť vedľajšie časy na výmenu nástroja. Tieto systémy umožňujú viacstrojovú obsluhu [1].

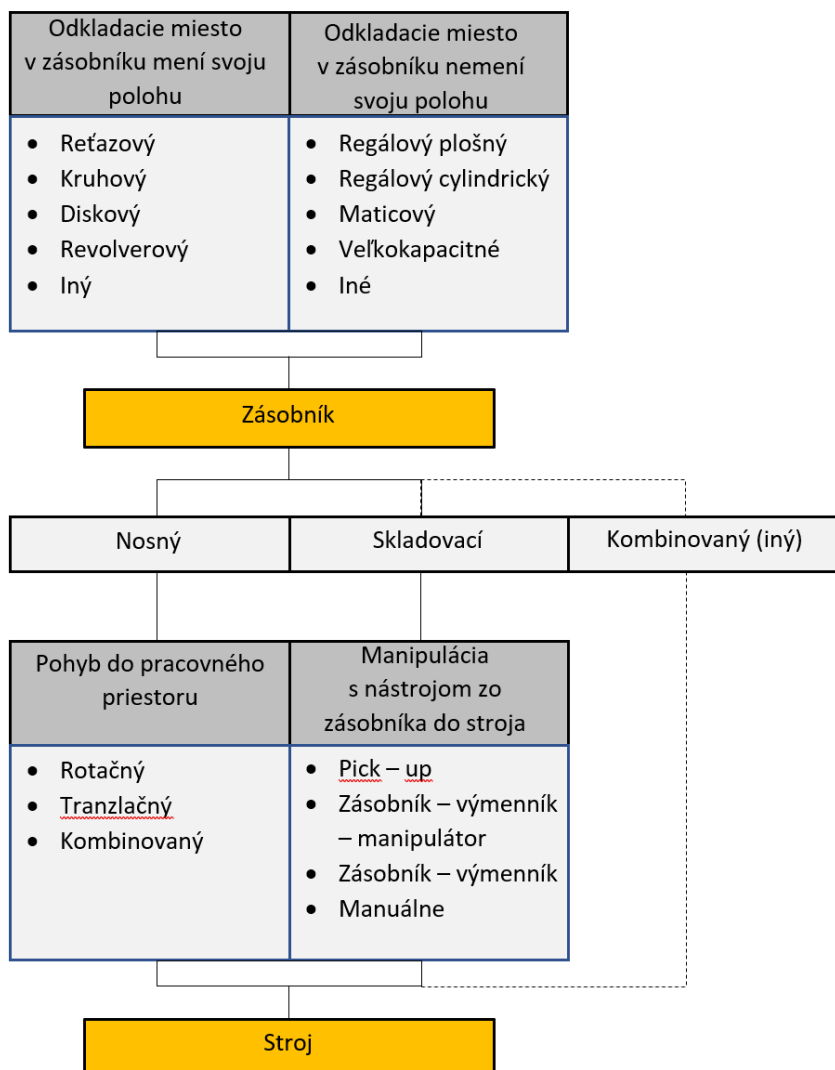
Automatická výmena nástrojov Obr. 36) je spojená so základným technologickým princípom obrábania – hlavný rezný pohyb koná nástroj alebo obrobok. S týmto úzko súvisí typ a veľkosť stroja. Od nich sa odvíja rada konštrukčných princípov zariadenia, ktoré nástroje vymieňa, počet a veľkosť nástrojov, umiestnenie zásobníku a ďalšie. Výmena nástrojov sa realizuje v dvoch prípadoch: buď sa vymieňa opotrebený nástroj za nový, alebo si iný nástroj žiada postupnosť technologických operácií. Na konštrukčné prevedenie jednotlivých uzlov aj zariadení automatickej výmeny nástrojov ako celku sú kladené špecifické požiadavky[16]:

- Minimálny čas cyklu výmeny nástroja, ktorý spadá do skupiny vedľajších časov
- Optimálna kapacita zásobníka pre danú oblasť využívania stroja a realizované technologické operácie (snaha o kompletne obrábanie)
- Priestorovo úsporné riešenie (čo najmenšia zastavaná plocha)
- Eliminácia nepriaznivých vplyvov na pracovný priestor stroja (pri obrábacom procese nesmie prekážať)
- Odolnosť proti znečisteniu (triesky, prach, chladiaca kvapalina)
- Zvýšená presnosť polohy nástroja v mieste výmeny (platí pre moderné nástrojové sústavy)
- Nástrojová variabilita – možnosť manipulovať s dlhými, ťažkými nástrojmi veľkých priemerov vedľa ľahkých a malých nástrojov
- Kombinácia viac nástrojových sústav na jednom stroji
- Pre niektoré aplikácie je nutné realizovať výmenu nástrojových držiakov a nástrojových hláv a v nich automaticky vymieňať nástroj



Obr. 36) Automatickej výmeny nástrojov a jej typy [1]

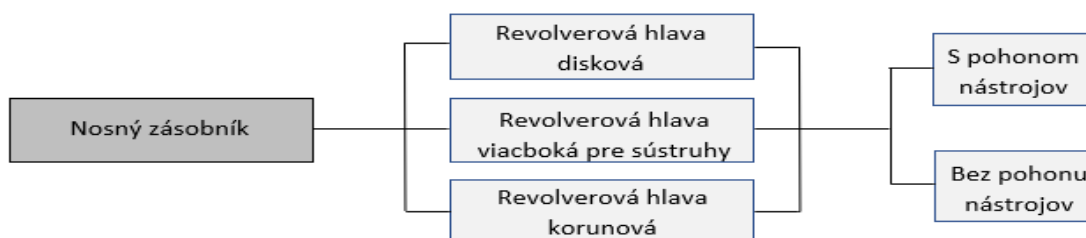
Konštrukčné riešenie zásobníka je ovplyvnené typom stroja, pre ktorý je zásobník určený, typom nástrojov (rotačné nástroje, nástroje pre sústružnícke operácie ...), počtom nástrojov, spôsobom upínania nástrojov v stroji, hmotnosťou nástroja a jeho orientáciou v zásobníku voči gravitácii Zeme, orientáciou nástroja vo chvíli výmeny a pri skladovaní (zvyčajne musí byť uhlovo pootočený). S rastúcimi požiadavkami na minimalizáciu neproduktívnych časov nadobúda stále viac na význame rýchlosť výmeny a mnoho ďalších funkčných a prevádzkových vplyvov či požiadaviek. Nemožno nespomenúť nadradené reštrikcie, ktoré definujú, ako má vyzerat' zásobník s ohľadom na bezpečnosť pre obsluhu. To sa týka najmä zamedzenia vstupu obsluhy do priestoru zásobníka a prevádzkového stavu stroja pri výmene nástroja obsluhou alebo prostredníctvom výmenného zariadenia. Prehľad typov zásobníkov a nástrojov vo vzťahu k stroju a spôsobu výmeny nástrojov je znázornený na Obr. 37)[1].



Obr. 37) Rozdelenie automatickej výmenný nástrojov [1]

7.1 Systémy s nosným zásobníkom

Nosné zásobníky prenášajú rezné sily od nástroja do rámu stroja. Najčastejšie sú tieto zásobníky tvorené revolverovou hlavou. Rozdelenie revolverových hláv je znázornené na Obr. 38). Nástroje, ktoré sa do revolverovej hlavy upínajú, môžu byť bez pohonu alebo s pohonom. Bez pohonu sú sústružnícke nože a s pohonom najčastejšie bývajú rotačné nástroje pre vrtanie a podobné operácie.







Obr. 38) Rozdelenie revolverových hláv [1]

Revolverové hlavy, nepohyblivé bez pohonu nástroja, majú význam len v prípade, ak sa pohybuje obrobok. Predovšetkým sa jedná o sústružnícke nože, vrtáky pre osové vrtanie alebo závitníky. Tento typ sa väčšinou používa u CNC sústruhov a sústružníckych automatov [1].

Revolverové hlavy s poháňaným nástrojom sú sofistikované konštrukčné celky. Môžu byť dodávané aj ako funkčné uzly, do ktorých stačí priviesť energiu a riadiaci signál [1].

Diskové revolverové hlavy zobrazené na Obr. 39) môžu byť situované so zvislou aj vodorovnou osou otáčania. Orientácia osi otáčania revolverovej hlavy vzhľadom k osi otáčania obrobku môže byť rovnobežná, kolmá a zriedkavo pod náklonom pričom najčastejšie to býva uhol 45° [1].

Series	Blue	Orange	Direct Drive	Red
				
	Medium-scale mass production	Large-scale mass production	Medium-scale mass production	Large-scale mass production
Service life	●●	●●●●	●●●●●	●●●●
Crash resistance	●●	●●●●	●●●●●	●●●●
Turret drive	AC-Motor	Synchronmotor	Synchronmotor	Servomotor
Locking system	elektromechanical	hydraulic	hydraulic	hydraulic
Indexing speed	●●	●●●●	●●●●	●●●●
Suitability for back-turning	●	●●●	●●●●	●●●●
Tool drive	axial - AC-Servomotor, 2-motor-system	axial/radial, AC-Servomotor, 2-motor-system	axial /radial - Direct Drive 1-/2-motor-system	axial/radial - no sepearte motor, 1-motor-system

Obr. 39) Typy diskových revolverových hláv (Sauter) [1]

Korunová revolverová hlava sa používa na strojoch, ktoré sú určené k výrobe veľkého počtu súčiastok. Tento typ je často určený pre rotačné nástroje a to aj v prípade, keď nástroj pre rotačné operácie stojí a hlavný rezný pohyb vykonáva obrobok. Nástroje sú sklonené k osi rotácie a telo revolverovej hlavy má tvar viacbokého ihlanu. Táto hlava má menší počet nástrojov, preto zaberá menší priestor a z toho vyplýva, že aj čas na výmenu nástroja je kratší. Rovnako ako u diskových revolverových hlavách aj tu je obmedzená dĺžka nástroja, ktorá je daná vzdialenosťou upínacej plochy nástroja na revolverovej hlave a krytovaním stroja. Dĺžku nástroja môžu obmedziť aj ďalšie revolverové hlavy, ktoré sa nachádzajú v blízkosti [1].

Revolverová hlava je tvorená podľa počtu nástrojov pravidelným "n-boky" hranolom. Os upínacej stopky nástroja je kolmá na os rotácie revolverovej hlavy alebo rovnobežná s natočením revolverovej hlavy do pracovnej polohy. Požadovaný nástroj je pripravený pre začatie reznej operácie [1].

7.2 Skladovacie zásobníky

Skladovacie zásobníky neprenášajú rezné sily a slúžia, len na skladovanie nástrojov. Úlohou zásobníku nástrojov je bezpečné uloženie a zaistenie nástrojových jednotiek v blízkosti pracovného priestoru. Podľa typu stroja, umiestnenia zásobníku voči stroju a jeho kapacity sú používané rôzne koncepčné riešenia zásobníkov. Ak je stroj súčasťou vyššieho výrobného celku, ako napríklad automatická výrobná sústava, býva v blízkosti stroja umiestnený zásobník s obmedzenou kapacitou, ktorý je prepojený napríklad s centrálnym veľkokapacitným zásobníkom. Pre dopravu požadovanej nástrojovej jednotky do polohy pre výmenu slúži manipulátor a výmenníky, alebo si pre nástroj príde a zo zásobníku si ho odoberie sám stroj [1].

Zásobník s hviezdicovým usporiadaním nástrojov (diskový) na Obr. 40) je charakteristický tým, že osa nástrojov je kolmá alebo mierne naklonená k ose nad sebou. Výhodami tejto koncepcie sú jednoduchosť a malé stavebné rozmery. Dĺžka nástroja nezväčšuje potrebný otočný priestor[1].



Obr. 40) Patentované hviezdicové usporiadanie zásobníka nástrojov [1]

To znamená, že nástroje sú paprskovito orientované smerom od osy rotácie zásobníku. Nevýhodou tohto princípu sú relatívne veľké rozmery, hlavne vonkajší priemer, ktorý výrazne rastie s počtom nástrojov. Medzi nástrojmi musí byť dostatočný priemer, aby vreteno bolo schopné nástroj uchopiť a nedošlo ku kolízii so susedným nástrojom. Diskový zásobník nie je vhodný pre dlhé nástroje, poprípade pre nástroje s veľkým priemerom z dôvodu možnej kolízie nástroja uloženého v zásobníku so strojom, obrobkom a podobne. Výhodou je väčší priestor pre čeľuste výmenného ramena, keď výmenu realizuje výmenník [1].

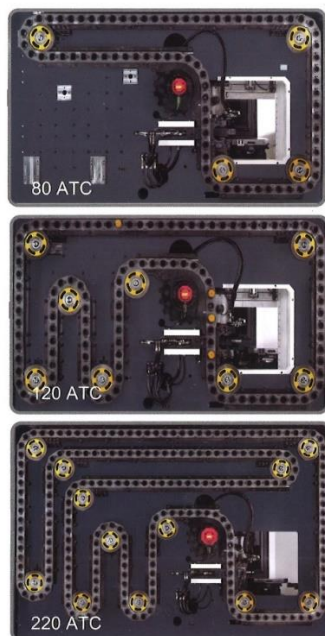
Zásobník kruhový (bubnový) pre ktorý je typické to, že osa nástroja v zásobníku je rovnobežná s osou vretena, je často používaný ako malokapacitný zásobník s počtom úložných miest okolo 20 nástrojov s pick-up výmenou. Existujú aj zásobníky s väčším počtom miest pre nástroje. Kapacita zásobníku, v závislosti na osy rotácie, sa zvyšuje umiestnením viac bubnov vedľa seba alebo nad seba. Výhodami tejto koncepcie sú jednoduchosť a malé stavebné rozmery. [1]

Kvôli polohe zásobníka nástrojov voči stroju, alebo aby sa zariadenie pre výmennú nástrojov zjednodušilo, je uloženie držiakov (kapias) pre nástrojové jednotky často riešené ako vyklápacie (uhol $\alpha = 90^\circ$). Pre skrátenie času na výmenu nástrojových jednotiek môžu byť

kruhové dosky s úložnými miestami vytvorené ako výmena nástrojovej palety, ktoré sú automaticky pri zemne programu vymenené. Bubnové zásobníky sú používané pre maximálny počet nástrojových jednotiek do $n_{max} = 30$ až 40 v jednom bubne. Za nevýhodu môže byť považovaný malý priestor pre chápadlo výmenníka ak nemá zásobník vyklápacie držiaky. V takom prípade musí byť zásobník doplnený o prípravnú polohu pre výmenu [1].

Zásobníky s diskovým a bubnovým usporiadaním nástrojov bývajú zaradené do kategórie nazývanej jednotné diskové zásobníky. Vzťah osy nástroja umiestneného v zásobníku a osy rotácie nástroja má veľký vplyv na konštrukčné riešenie výmeny nástrojov, zapracovanie zásobníka do stroja a podobne. Oba uvedené druhy zásobníkov patria do skupiny malokapacitných zásobníkov [1].

Reťazové zásobníky sú taktiež veľmi často používané strojné celky pre skladovanie nástrojov v blízkosti stroja. Patria do skupiny so strednou skladovacou kapacitou. Kapacita nástrojových jednotiek sa pohybuje v rozmedzí medzi 40 až 100 kusov. Väčšia kapacita sa dá docieľiť tým, že zdvojnásobíme počet reťazí nad alebo pod sebou, ale to len v prípade ak nám to konštrukčné riešenie zásobníka a usporiadanie stroja dovoľuje. Výhodou reťazových zásobníkov je dobré využitie priestoru. Zásobníky, ktoré sú umiestnené zvisle, majú malú zastavanú plochu v pôdoryse. Rozmery vodorovného reťazového zásobníka sa dajú prispôsobiť dostupnému priestoru okolo stroja. Podľa princípu použitej výmeny sú riešené s úložnými kapsami alebo čeľuťami. Tie môžu byť pevné alebo vyklápacie a často sú doplnené o ďalšiu vyčkávaciu polohu pre vlastnú výmenu. Na Obr. 41) je klasický reťazový zásobník s možnosťou rozšírenia kapacity. Viac vretenové stroje sa dajú taktiež vybaviť reťazovým zásobníkom s možnosťou zväčšenia jeho kapacity. Zmenšiť zastavanú plochu zásobníka a zároveň získať veľkú kapacitu je možné tým, že reťaz stočíme do skrutkovice [1].



Obr. 41) Reťazový zásobník s možnosťou zvýšenia kapacity (Averex) [1]

Pre otáčanie zásobníkov (disky, reťaze) sa používajú elektro pohony spolu s prevodovkami s veľkým prevodovým pomerom. Pre vlastnú manipuláciu s nástrojmi a natáčanie odkladacích kapiet či čeľuťí sa používajú hydraulické alebo pneumatické mechanizmy. Obvody plnia funkciu zmeny orientácie nástroja, miesto výmeny do polohy

určenej k vyzdvihnutiu nástroja výmenným manipulátorom alebo vretenom, indexovanie zásobníku a môžu robiť kontrolné a čistiace operácie [1].

Chápadla nástrojovej jednotky v zásobníku sú väčšinou kovové. Potrebná mechanická sila pre upnutie je z pružín. Ako držiak nástrojov sa používajú plastové puzdra – to v prípade, že manipuláciu s nástrojom zaisťuje výmenník, ktorý musí nástroj za zápch v tvare písmena V, ktorý je na nástrojovej jednotke. Pružné plastové čeľuste, ktoré držia nástroj svojou vlastnou pružnou deformáciou, sú z bezpečnostných dôvodov zámerne navrhnuté tak, aby boli jej slabším článkom v reťazci výmeny nástrojov pri zachovaní prevádzkovej spoľahlivosti. V prípade havárie dôjde k poškodeniu ľahko nahraditeľných plastových dielcov bez ďalších vážnych škôd na zásobníku alebo samotnom stroji [1].

Veľkokapacitné zásobníky sú riešené ako plošné alebo priestorové, s maximalizovaným využitím pôdorysnej plochy zásobníku. Tým sa docieli vysokej kapacity pri relatívne malých rozmeroch zásobníku. Pre tento typ zásobníkov je typické, že v nich nástroj nemení polohu. Kvôli tomu je celý cyklus výmeny nástrojov pomerne zložitejší [1].

Centrálne zásobníky bývajú častokrát umiestnené mimo výrobné priestory a slúžia pre uskladnenie nástrojov z viacerých strojov. Manipulácie s nástrojmi v rámci centrálnych skladovacích zásobníkov je automatizovaná a v manipulačnom priestore je prísne zakázaný pohyb osôb. Premiestnenie veľkokapacitného zásobníka ku stroju môže byť taktiež plne automatizované. Všetko závisí len na type výroby, rozhodnutí užívateľa a vynaložených prostriedkoch. Tento princíp prináša ďalšie výhody v podobe kontroly a výmeny otupených nástrojov. Tento proces prebieha mimo pracovný priestor stroja a tak neprichádza k rušivým vplyvom na pracovnú prevádzku stroja. Rizikové zakladanie nástroja do zásobníka nástrojov musí byť konštrukčne vyriešené logikou riadenia, identifikáciou nástroja a organizačnými pokynmi už vo fáze jeho návrhu. V reálnej prevádzke musia byť všetky vopred nastavené pravidla striktne dodržiavane [1].

Výmena otupených alebo inak poškodených nástrojov v zásobníku za nástroje nové, nabrúsené a nastavené, je veľmi podstatné. Kontrola a výmena nástrojov v zásobníku musí čo najmenej ovplyvňovať alebo obmedzovať prevádzku stroja. Jednou z možností je využitie centrálného zásobníka. Centrálny zásobník neslúži len ako sklad nástrojov ale funguje aj ako plne autonómne pracovisko, ktoré má nastarost' starostlivosť o nástroje.

Kombinovaná výmena spojuje vyššie uvedené princípy nosných a skladovacích zásobníkov. U skladovacích zásobníkov rozoznávame nasledujúce typy výmen [17] :

- priama (pick-up)
- zásobník – výmenník – vreteno (nástrojový držiak)
- zásobník – manipulátor – výmenník – vreteno (nástrojový držiak)
- výmena viac vretenových hláv

Priame odoberanie nástroja zo zásobníku strojom (vretenom, šmýkadlom) je najľahšie riešenie pre výmenu nástrojov. Usporiadanie stroja musí umožňovať priblíženie stroja k zásobníku alebo naopak zásobníka k stroju. Zásobník môže byť umiestnený mimo pracovný priestor alebo v pracovnom priestore. Zásobník, ktorý je umiestnený v pracovnom priestore býva často inštalovaný u zvislých frézovacích centier, pričom osa zásobníka býva zvislá. Pri tomto rozmiestnení sa predpokladá s tým, že prostredie pracovného priestoru neznečistí upínaciu plochu nástrojov. Tento predpoklad však neplatí pri použití vysokotlakového chladenia, alebo pri obrábanie liatiny. [1]

Priama výmena – vretenom so zásobníku – je veľmi jednoduché riešenie a časovo nenáročné. Pracovné vreteno najskôr odloží pôvodný nástroj do zásobníka, otočením zásobníka sa do osy vretena dopraví nový nástroj. Posuv vretena pre odkladanie a odoberanie nástrojov realizuje pracovné vreteno vlastnými posunovými mechanizmami. Zásobník sa len otáča. Celkový čas výmeny je cca. 5s. Určitou nevýhodou je, že zásobník umiestnený v pracovnom priestore musí byť dostatočne vzdialený od pracovného miesta, a preto je časť posuvu v dvoch smeroch vyhradený len na výmenu nástroja. [16]

Zásobník nástrojov v pracovnom priestore s pick – up výmenou elegantne vyriešila firma Fanuc. Kotúčový zásobník je výškovo neprenastaviteľný a pohybuje sa spolu s vretenníkom vo vodorovnej ose. Zároveň je kývne umiestnený pod vretenníkom Obr. 42). Jeho poloha (naklonenie) je voči ose vretena zaistené odstupňovanou vodiaciu drážkou, ktorá je vytvorená na bočnej ploche vretenníka. Kladka pevne spojená s rámom zásobníka sa pohybuje v drážke a vo chvíli spustenia cyklu výmeny nástroja vyjde vretenník do hornej polohy a zásobník sa naklopí do polohy pre výmenu. Vretene zoberie/odloží nástroj a pri posuve do pracovného priestoru sa zásobník preklolí do pôvodnej polohy.[1]



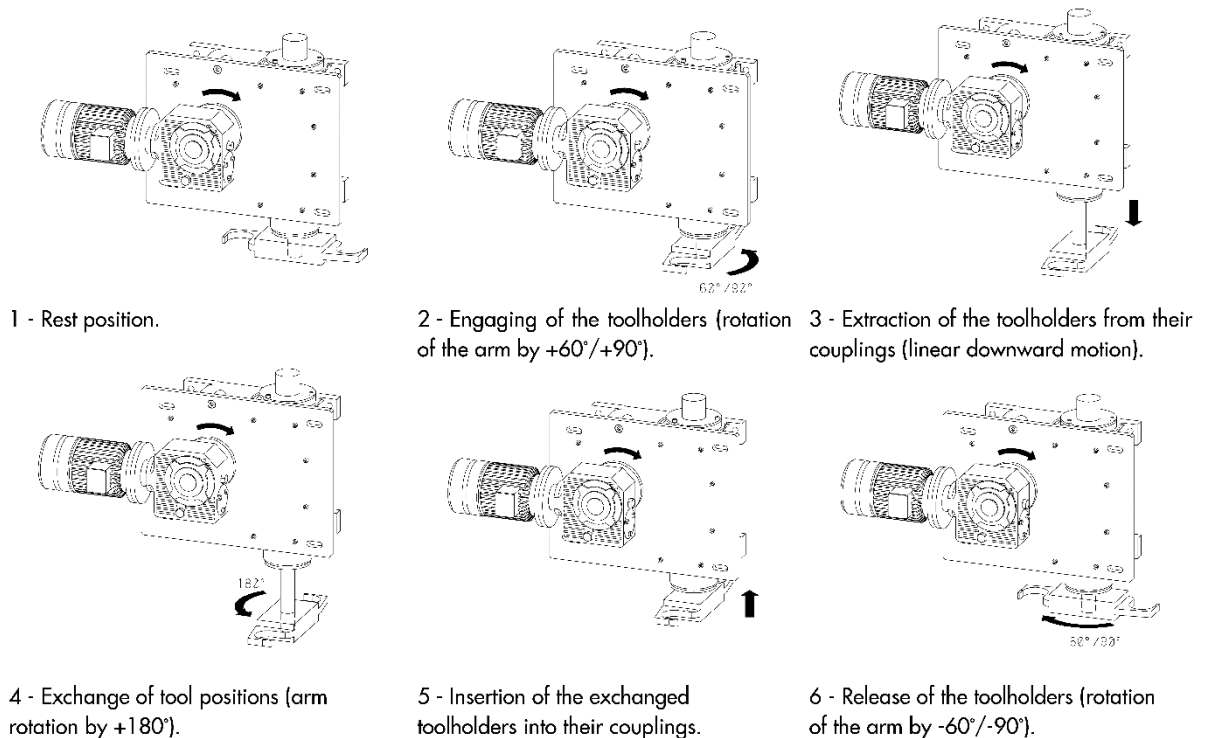
Obr. 42) Výkonný pick-up zásobník stroja Robodrill (Fanuc) [1]

Výmenník je medzičlánkom medzi strojom a zásobníkom v prípade, že sa nedá uskutočniť priama výmena. Napríklad, keď osa vretena zvierá s osou zásobníka iný uhol ako 90° . Výmenník je jednoúčelové zariadenie, ktoré manipuluje s nástrojom medzi zásobníkom a vretenom. Vo väčšine prípadov je tento manipulátor konštruovaný ako rameno s dvoma uchopovacími čeľusťami. Uhol medzi manipulačnými čeľusťami je 180° . Existujú variácie aj s inými uhlami. Dôvodom býva skrátenie času výmeny nástroja poprípade zastavaný priestor. V niektorých prípadoch je možné, aby výmenník manipuloval s viacerými než dvomi nástrojmi naraz.[1]

Najjednoduchšia výmena nástroja pomocou výmenníka je v prípade, že vzdialenosť osi vretena v mieste výmeny a osy nástroja v zásobníku sú rovné dĺžke výmenného ramena. V takom prípade stačí jedna rotačná osa a jeden tranzlačný pohyb ramena. Výmenník odoberá nový nástroj so zásobníka a v rovnakom okamihu odoberá nástroj z vretena. Po uchopení sa rameno výmenníka pootočí o 180° . Tým sa dostane starý nástroj pred zásobník a nový nástroj pred vreteno stroja. Následne dôjde k zasunutiu oboch nástrojov súčasne. V prípade, ak je osa nástroja v zásobníku pootočená o 90° , je nutné, aby sa lôžko vyklápalo rovnako o 90° . Ide o to, aby bola osa vretena a výmenníka v rovnobežnej rovine. [1]

Výmenník nemusí byť za každých okolností len priame rameno. Môže byť realizované aj v iných uhloch. Napríklad pri výmene nástroja z kotúčového alebo reťazového zásobníka, kde uhol nástroja je otočený o 90° voči osi vretena a pritom nie je potrebné, aby sa lôžko vyklápalo [1].

V konštrukcii výmenníkov sa používajú elektrické, hydraulické a kombinované mechanizmy náhonu. Mechanicky pomocou pružín sú upínané nástroje v chápadle. Aby bol výmenník za každých okolností spoľahlivý, rýchly a mal veľkú opakovateľnosť polohy, sú v jeho konštrukcii využívané priestorové a rovinné váčky. Princíp je zobrazený na Obr. 43). Pre riadenie sa potom používajú koncové spínače a narážky [1].



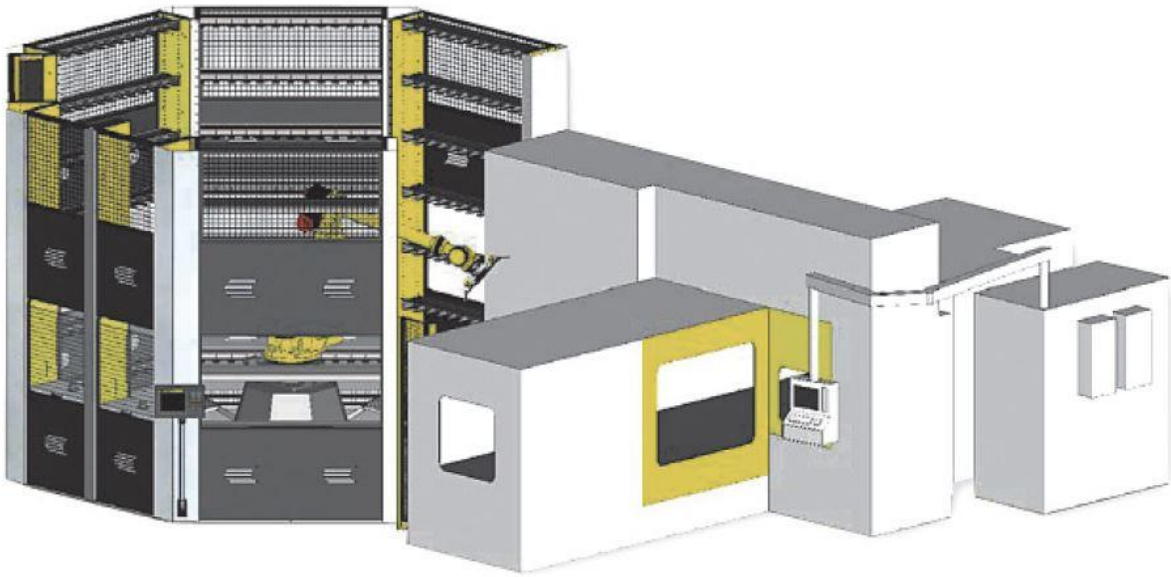
Obr. 43) Funkcia vačkového výmenníka s otočným ramenom (Miksch) [1]

Veľké rýchlosti výmeny nástrojov vyžadujú výkonné pohony, ale aj tlmenie celej sústavy – výmenníku. Ďalšie požiadavky, ktoré sú kladené na výmenník, ale aj odkladací priestor je zaistenie uhlovej orientácie nástroja voči upínaču nástroja, ktorý je umiestnený v stroji (táto požiadavka sa prevažne týka nerotačných nástrojov). Medzi pohony patrí napríklad: hydraulický pohon otáčania ramena, lineárny pneumatický aktuátor s kinematickým mechanizmom (výmenník), ktorý ma každý nástroj a iné [1].

Systém výmeny zásobník – manipulátor – výmenník – vreteno, je používaný pri zásobníkoch, pri ktorých to samotný výmenník nedokáže realizovať, ako napríklad pri horizontálnych strojoch kde je pinola veľmi vzdialená. Pri zásobníkoch s väčšími kapacitami sa jedná hlavne o aplikáciu manipulátora alebo robota [1].

Pri riešení pomocou robota sa prevažne využíva sériovo vyrábaná manipulačná technika s ohľadom na univerzálnosť takéhoto zariadenia. Robot býva stacionárny voči zásobníku Obr. 44). V prípade veľkokapacitných zásobníkov alebo v prípade, keď obsluhuje viac strojov býva umiestnený na koľajniciach alebo je zavesený v priestore. Vybavením robota vhodnými koncovými efektormi a vhodným riadiacim algoritmom sa s ním stáva veľmi schopné

zariadenie na výmenu nástrojov. Medzi hlavné nevýhody tohto riešenia býva väčší zastavaný priestor [1].



Obr. 44) Robotická výmena nástrojov (Cellro) [1]

8 SYSTÉM AUTOMATICKEJ VÝMENY NÁSTROJOV

Systémom AVN predstavuje celok zásobníka s nástrojmi alebo ak to konštrukčné riešenie vyžaduje, tak aj s výmenníkom nástrojov. Pri výbere správneho systému je dôležité určiť v prvom rade druh upínacej stopky, kapacitu a potom na základe kapacity vhodný typ zásobníka.

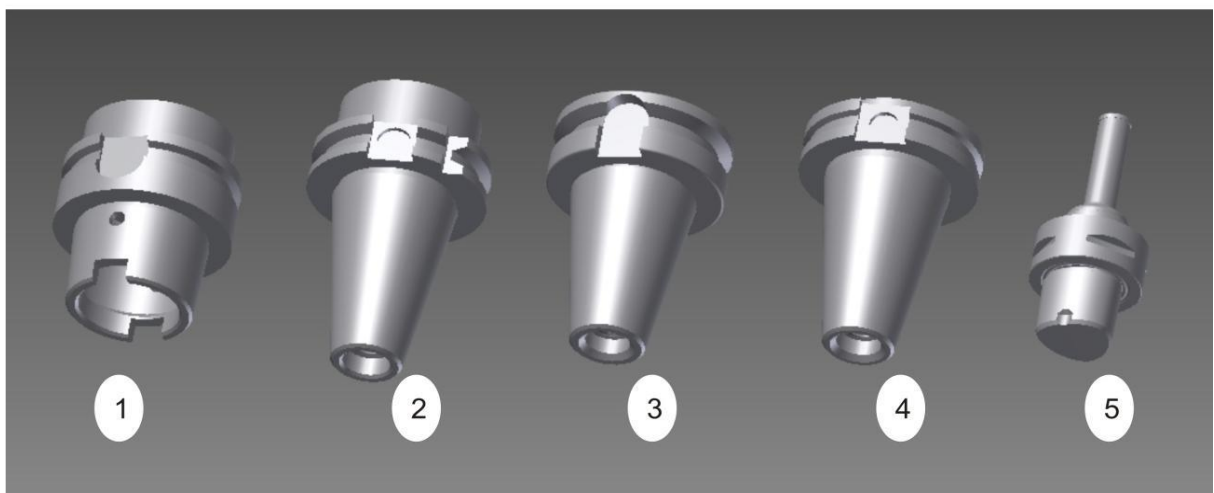
So zadania diplomovej práce vyplýva, že AVN má byť realizovaná pomocou výmenníka a zásobníka nástrojov. To vylučuje použitie systému z nosnými zásobníkmi. Výber riešenia sa obmedzuje na systém so skladovacím zásobníkom.

Systémov so skladovacím zásobníkom je viacero druhov a preto je treba ich vyselektovať a tým zúžiť možnosti. Výberom typu výmeny nástrojov pre splnenie zadania sa zameriame na typ výmeny: zásobník – výmenník – vreteno.

Typ zásobníku určuje hlavne jeho kapacita. Aby sme sa pohybovali v strednej veľkosti zásobníkov, zameral som sa na reťazový typ zásobníkov s kapacitou 60 – 100 ks nástrojov.

8.1 Typ nástrojovej stopky

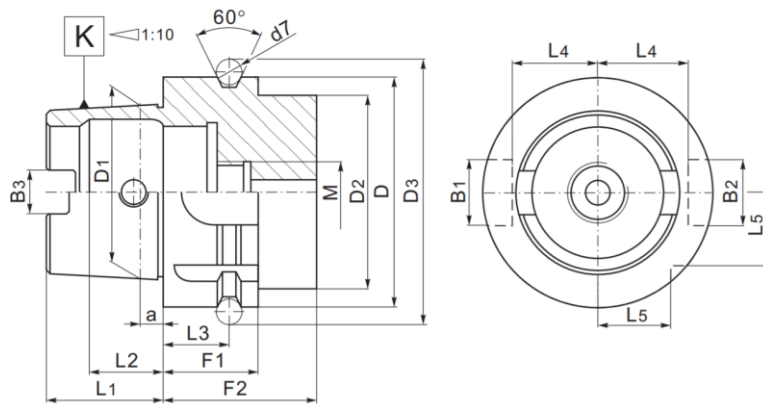
Nástrojová stopka je dôležitou súčasťou AVN. Je niekoľko variant, ktoré sa líšia tvarom, rozmermi a funkciou. Tieto rôzne tvary môžeme vidieť na Obr. 45). Rozmerové parametre kužeľa sa odvíjajú od otáčok vretena, typom obrábacej hlavy a veľkosti použitých nástrojov. S kolegami sme sa rozhodli použiť kužeľ HSK-63A. Maximálne otáčky pre tento typ sú 15 000 ot/min a maximálna hmotnosť nástroja aj s kužeľom do 10 kg. Základne rozmery kužeľa HSK-63A sú na Obr. 46). Tieto rozmery nám udávajú minimálne potrebný zdvih manipulátora: $L_1 = 32\text{mm}$.



Obr. 45) Druhy upínačov [23]

Popis Obr. 45) :

1. Upínací kužeľ HSK – 63A
2. ISO upínač pre strojnú výmenu
3. MAS BT 30, MAS BT 40
4. Nástrojový upínač CAT CV 40
5. Coromant Capto



$K_{\text{HSK-A}}$	D	D1	D2 _{max}	D3	B1	B2	B3	a	d7
63	63	48	53	72,3	18	16	12,54	6,3	7

$K_{\text{HSK-A}}$	L1	L2	L3	L4	L5	F1	F2	M
63	32	18,13	18	26,5	20	26	42	M18x1

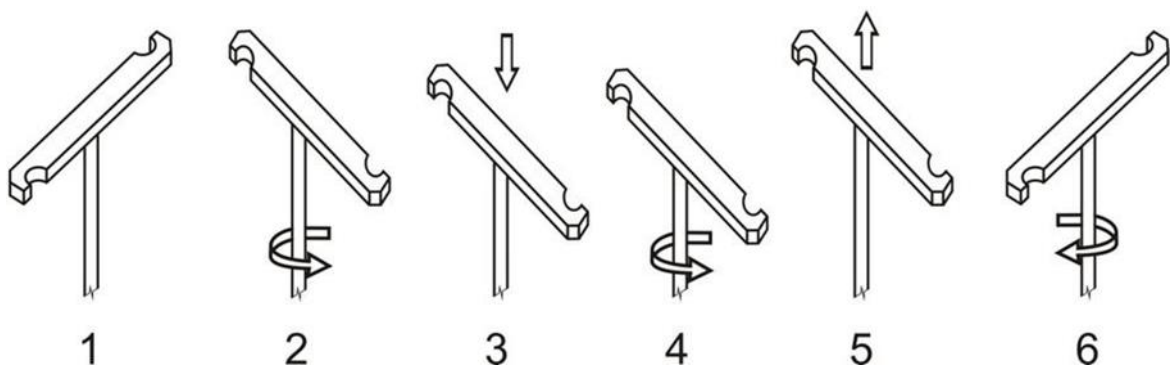
Obr. 46) Rozmery upínacieho kužeľa HSK – 63A podľa normy DIN 69893-A [19]

9 VÝMENÍK NÁSTROJOV

Je dôležitým komponentom automatickej výmeny nástrojov. Výmenník je medzičlenom medzi strojom a zásobníkom. Jeho použitie je nutné v prípade, keď sa nedá alebo z iných dôvodov nie je vhodná priama výmena – vretenom so zásobníka. Najjednoduchšou konštrukciou výmenníka je keď vzdialenosť medzi zásobníkom a miestom výmeny je rovnaká. V tomto prípade uhol medzi čeľusťami zvierá uhol 180° a je potrebná jedna rotačná osa a jeden tranzlačný pohyb ramena.

9.1 Fázy výmeny nástroja

Jednotlivé fázy výmeny nástroja, pomocou výmenníka sú znázornene na Obr. 47). Podľa týchto fáz musíme navrhnuť správnu konštrukciu celého mechanizmu AVN.



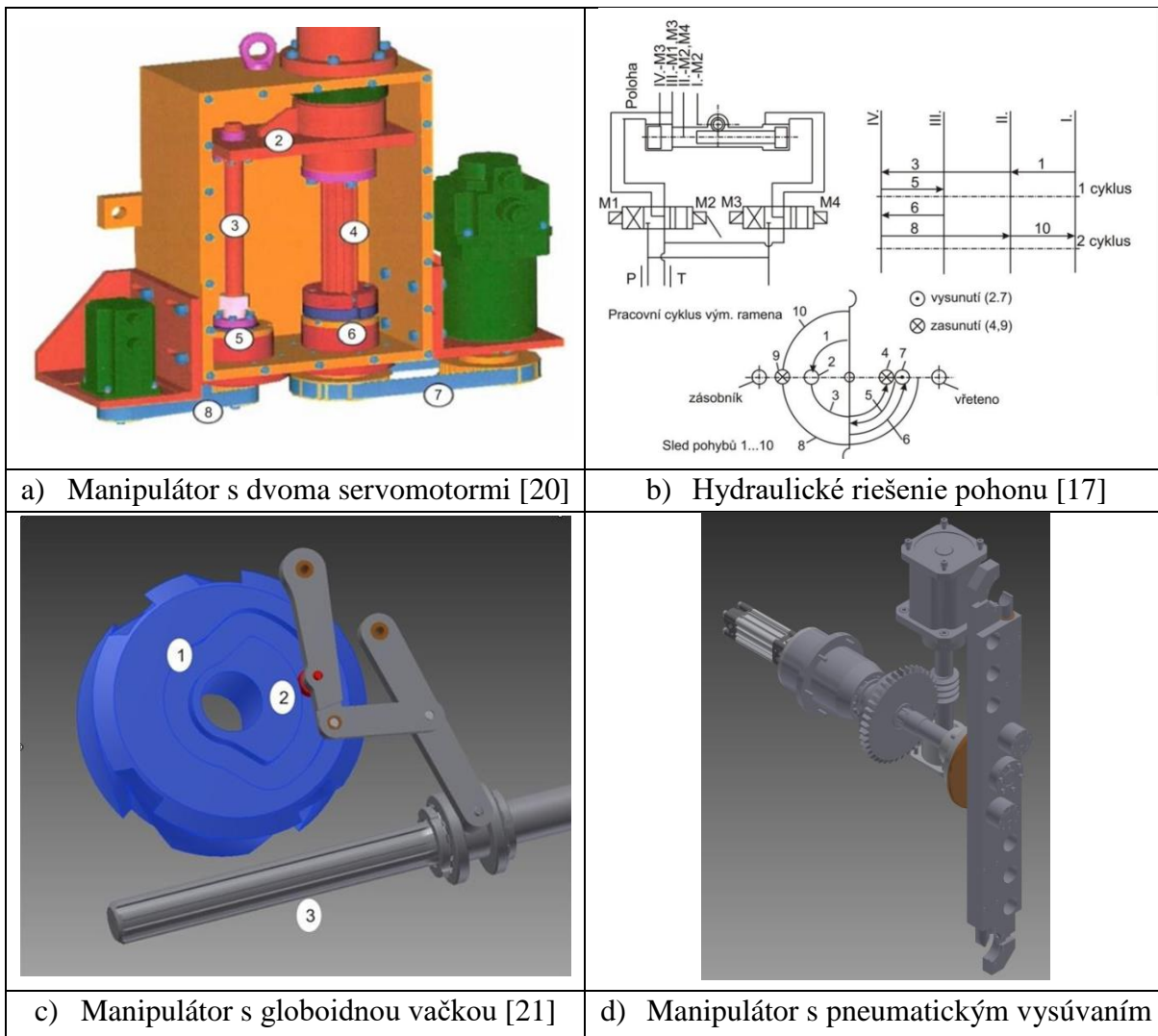
Obr. 47) Fázy výmeny nástroja

Popis fáz:

1. Referenčná poloha
2. Natočenie ramena okolo osy, zastavenie v drážke kužeľa HSK
3. Vysunutie ramena s nástrojom
4. Otočenie ramena o 180°
5. Zasunutie ramena s nástrojom
6. Návrat do referenčnej polohy

9.2 Varianty pre mechanizmus výmenníka nástrojov

Na Obr. 48) sú znázornené jednotlivé varianty pre mechanizmus výmenníka nástrojov.



Obr. 48) Varianty mechanizmu manipulátora

9.2.1 Výber optimálnej varianty

Pre výber vhodnej varianty boli navrhnuté parametre uvedené v Tab 21). Pre určenie dôležitosti sú jednotlivé parametre medzi sebou porovnávané v Tab 22). K jednotlivým parametrom z Tab 23) je priradená váha.

Tab 21) Tabuľka parametrov pre výber vhodnej varianty výmenníka

	Názov parametrov	Popis parametrov
P1	Presnosť	Presnosť polohovania
P2	Dynamika	Rýchlosť a zrýchlenie
P3	Hmotnosť	Celková váha stroja
P4	Zastavaný priestor	Veľkosť potrebného priestoru pre inštaláciu stroja
P5	Cena	Nákladnosť konštrukcie
P6	Zložitosť konštrukcie	Zložitosť konštrukcie

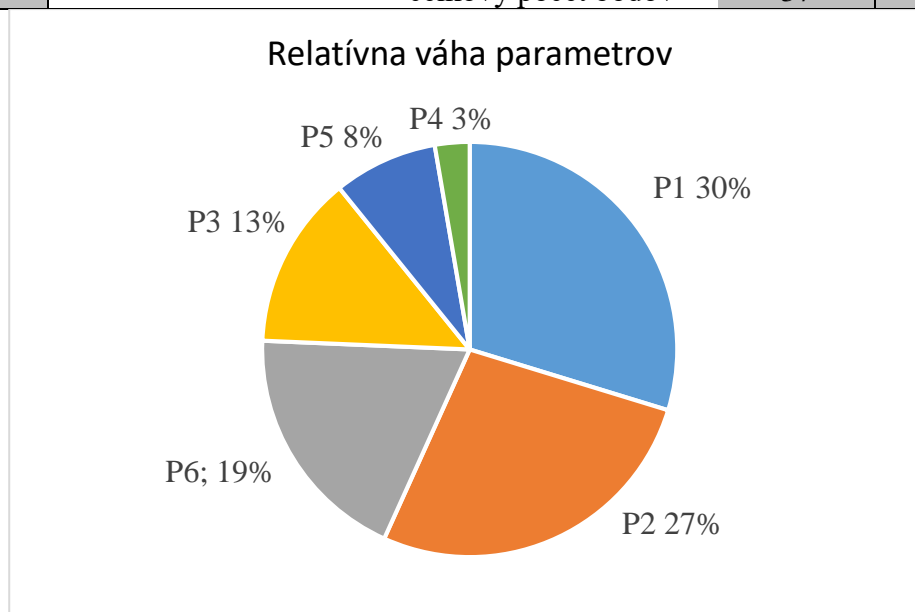
Tab 22) Porovnanie parametrov medzi sebou

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	SUMA	Poradie
P1	1	1	1	1	1	1	6	1
P2		2	2	2	2	2	5	2
P3			3	3	3	6	3	4
P4				4	5	6	1	6
P5					5	6	2	5
P6						6	4	3

Jednotlivým parametrom boli priradené váhy dôležitosti pomocou bodovej stupnice od 1 do 3, kde 1 reprezentuje malú závislosť medzi parametrami, 2 strednú a 3 silnú závislosť. Výsledné váhy parametrov z Tab 23) sú zobrazené v grafe na Obr. 49)

Tab 23) Určenie váhy jednotlivých parametrov

	P1	P2	P6	P3	P5	P4	SUMA	Relatívna váha
P1	3	3	1	1	1	2	11	30%
P2		3	1	2	1	3	10	27%
P6			3	1	1	2	7	19%
P3				1	2	2	5	13%
P5					1	2	3	8%
P4						1	1	3%
	celkový počet bodov						37	100%



Obr. 49) Graf s relatívnou váhou parametrov pre výber vhodnej varianty

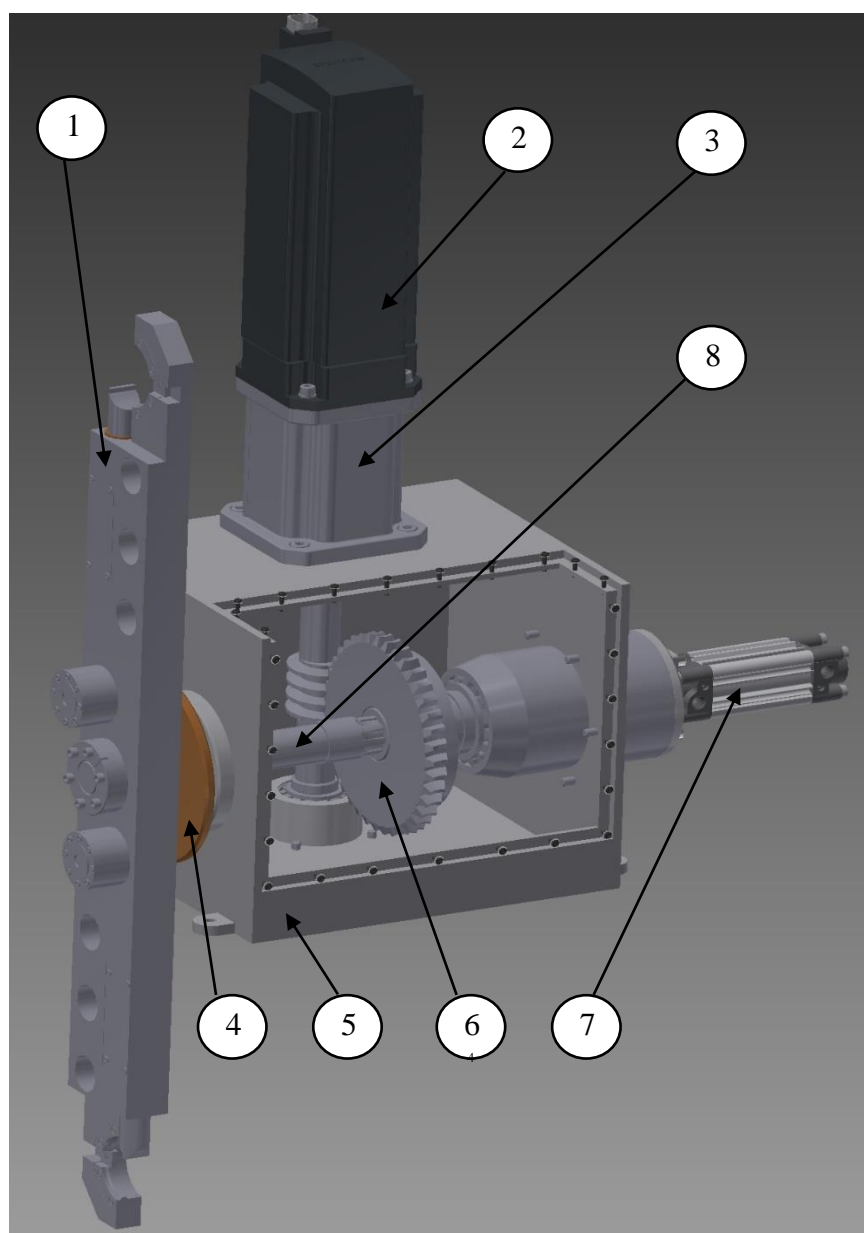
9.2.2 Výber varianty výmenníka nástrojov

Pre určenie najlepšej varianty sa pre každý parameter priradia body od 1 do 5 (1- najhoršie, 5 – najlepšie). Varianta, ktorá má vo výsledku najviac bodov je tá najvhodnejšia.

Tab 24) Rozdelenie bodov medzi jednotlivé navrhované varianty

	Váha parametrov		Varianta a)	Varianta b)	Varianta c)	Varianta d)
P1	30%	11	2	3	4	4
P2	27%	10	2	2	3	3
P6	19%	7	2	3	2	2
P3	13%	5	3	4	2	3
P5	8%	3	2	2	2	2
P4	3%	1	2	2	3	3
Celkové body			79	102	107	112
poradie			4	3	2	1

Podľa dosiahnutých bodov z Tab 24) je varianta d) najlepšou variantou pre výmenník nástrojov. Na Obr. 50) je výmenník nástrojov spolu s popisom.



Pozícia:

- 1) Chapadlo
- 2) Servo motor
- 3) Kryt spojky
- 4) Bronzová doska
- 5) Kryt
- 6) Šnekový prevod
- 7) Pneumatický valec
- 8) Drážkovaný hriadeľ

Obr. 50) Výmenník nástrojov

9.3 Voľba pohonu: servo motor

Pohon manipulátora sa volí s ohľadom na dynamiku celého manipulátora. Jedná sa o elektrický točivý stroj, ktorý pracuje na striedavý prúd. Na rozdiel od ostatných typov motorov sa natočenie osy dá presne nastaviť.

9.3.1 Výpočet pohonu

Pre návrh sústavy je dôležité zistiť hmotnosť a momenty zotrvačnosti jednotlivých prvkov. Hodnoty v Tab 25) sú z programu AutoDesk Inventor Porofesional 2019.

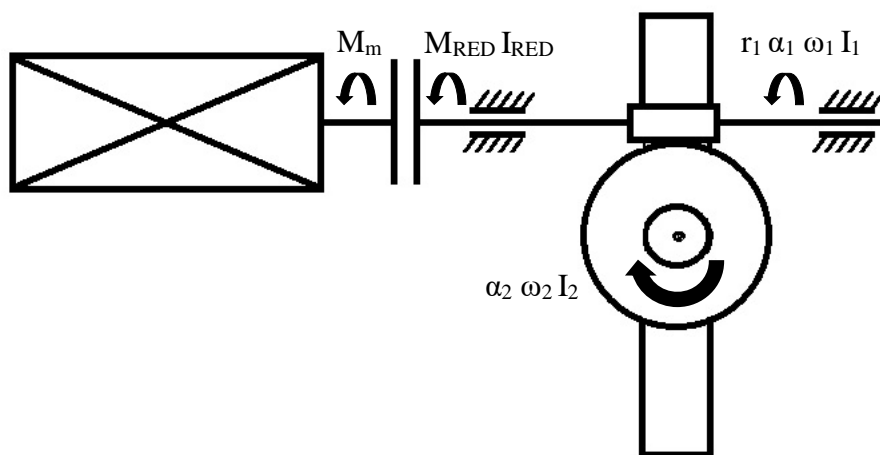
Tab 25) Hodnoty potrebné pre výpočet motora

Spoločná osa rotácie	Celková hmotnosť m [kg]	Moment zotrvačnosti vzhľadom k osi rotácie I [kg mm ²]
<ul style="list-style-type: none"> • Hriadeľ so šnekom • Spojka 	$m_1 = 3,5 \text{ kg}$	$I_1 = 832,23 \text{ kg mm}^2$
<ul style="list-style-type: none"> • Šnekové koleso • Unášač • Hriadeľ chapadla • Chapadlo • 2x nástroj 	$m_2 = 57,2 \text{ kg}$	$I_2 = 907\,881,4 \text{ kg mm}^2$

Na zistenie momentov zotrvačnosti bol použitý vzťah z rovnice 2, ktorý vychádza z homogénosti telesa.

$$I = \rho \int_v r^2 dv \quad (2)$$

Na Obr. 51) nižšie je zjednodušená schéma sústavy pre výpočet, kde M predstavuje jednotlivé krútiace momenty, I – zotrvačnosť momentov, r – polomer rotácie, α – uhlové zrýchlenie, ω – uhlová rýchlosť, i – prevodový pomer. Pri výpočte sa vychádza z dynamiky sústavy a jej redukcie na hriadeľ motora. Tým získame redukovaný moment M_{RED} , z ktorého sa vypočíta potrebný moment motora.



Obr. 51) Zjednodušená schéma

Metóda redukcie vychádza z rovnosti kinetických energií E_k sústavy a jej redukovanej sústavy E_{kRED} .

$$E_k = E_{kRED} \quad (3)$$

Poprípade z rovnosti práce

$$\delta A = \delta A_{RED} \quad (4)$$

Získanie I_{RED} z rovnosti kinetických energií

$$E_k = \frac{1}{2} I_1 \cdot \omega_1^2 + \frac{1}{2} I_2 \cdot \omega_2^2 \quad (5)$$

$$\omega_1 = i_{12} \cdot \omega_2 \quad (6)$$

Kde $i_{12} = 39$

Po dosadení

$$I_{RED} = I_1 + I_2 / i_{12}^2 \quad (7)$$

Výsledný moment určíme s rovnosti práce a to s rovnice (4)

$$\delta A_{RED} = M_{RED} \cdot \delta \varphi_1 \quad (8)$$

$$\delta A = M_m \cdot \delta \varphi_1 - M_{o1} \cdot \delta \varphi_1 - M_{o2} \cdot \delta \varphi_2 \quad (9)$$

$$\delta \varphi_2 = i_{12} \cdot \delta \varphi_1 \quad (10)$$

Kde φ je uhol natočenia sústavy, M_o je odporový moment

Dosadením rovnice (10) do rovnice (9) jej dosadením spolu s rovnicou (8) do rovnice (4) a jej úpravou a zanedbaním odporových momentov (ktoré budú nahradené konštantou $k_m = 1,2$) dostanem vzťah s rovnice (11), kde $M_m = M_{RED}$.

$$M_{RED} = I_{RED} \cdot \alpha_1 \quad (11)$$

Je potrebné zredukovať rotačný pohyb chápadla na hriadeľ motora. Je zrejmé, že najväčší moment bude, keď sa chápadlo bude nachádzať v kolmej polohe na hriadeľ motora a to pri natočení $\varphi = 90^\circ$ a $\varphi = 270^\circ$. Po dosadení do rovnice (5) a (9):

$$M_{RED} = 2,27 \text{ Nm}$$

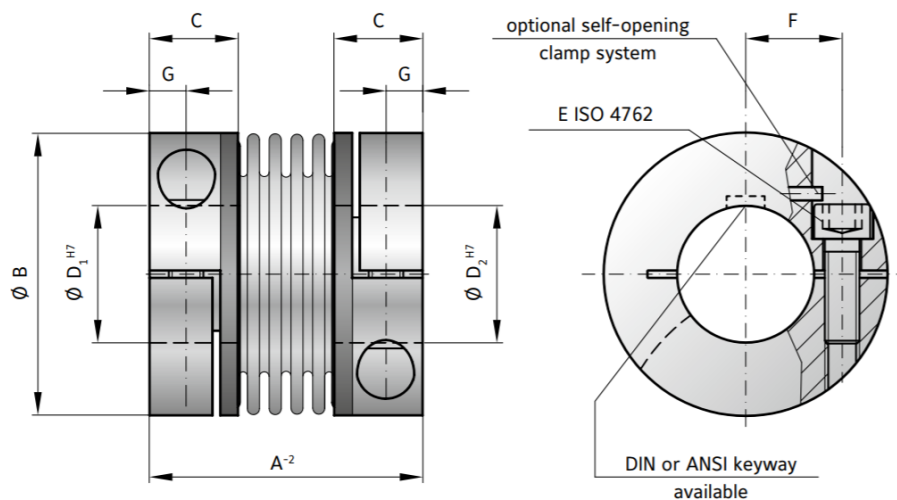
Po vynásobení koeficientom k_m dostaneme výsledný moment pre voľbu motora


$$M_m = 2,73 \text{ Nm}$$

Po započítaní účinnosti do predchádzajúcich výsledkov bol zvolený motor SIEMENS SIMOTICS S-1FK7 High Dynamic - Natural cooling kde $n = 2000 \text{ ot/min}$ a $M_m = 3,5 \text{ Nm}$

9.4 Spojka

Na prenos krútiaceho momentu medzi šnekovým prevodom a motorom je potrebný spojovací medzičlen. Ako najvhodnejšie riešenie bola zvolená spojka BKLS30. Jej hlavnými výhodami sú vysoká tuhosť a jej bezvôľovosť pre oba spojované hriadele. Na Obr. 52) je spojka spolu so základnými rozmermi.



Model BKL-S30	Přenášený kroučící moment	Průměr hřídele od Ø do Ø H7	Dotahovací šrouby	Vzdálenost mezi hřídelemi	Dovolené montážní nepřesnosti	
					Axiální  mm	Vyosení  mm
	≤ 30 Nm	10-32 mm	M6	23 mm	1	0,20
Rozměry dle schématu (mm)						
	C	G	A	Ød _{1,2}	ØD	F
	26	7,5	70	10-32	56	20

Obr. 52) Spojka BKL S30 [22]

9.5 Prevod šnekovým ozubením

Výhodou takéhoto prevodu je, že dokáže prenášať krútiaci moment medzi mimo bežnými hriadeľmi, bez toho, aby bolo nutné využiť viacero prevodov s čelnými alebo kužeľovými ozubeniami.

Výhody:

- Veľké prevodové pomery – silové prevody $i = 10$ až $i = 100$
- kinematické prevody $i = 500$ až $i = 1000$
- Prenos veľkých výkonov $P = 50$ až 60 kW
- Väčší počet zubov v zábere
- Malé rozmery, malá hmotnosť, kompaktná konštrukcia

Nevýhody:

- Veľký sklz, čo vedie k vyšším stratám v trení
- Nižšia účinnosť $\eta = 45$ až 90 % (účinnosť klesá s rastúcim prevodovým číslom)
- Nákladnejšia výroba
- Nižšia životnosť

9.5.1 Geometria šnekového súkolia

Na návrh šnekového prevodu bol použitý software Autodesk Inventor Professional 2019. Do ktorého bol zadaný výkon motora a jeho otáčky. Materiál šneku: tvrdená oceľ a bronz pre šnekové koleso. Z voľby materiálu plynú konštanty, ktoré sú použité vo výpočte.

Zvolené hodnoty :

- Prevodové číslo $i = 39$
- Uhol profilu $\alpha_n = 20^\circ$
- Normalizovaný osový modul $m = 4,5$
- Počet chodov $z_1 = 1$
- Súčiniteľ priemeru $q = 10$
- Dĺžka $l_s = 60\text{mm}$

Výpočet súkolia:

- Rovnaké hodnoty ako v programe
- Súčiniteľ dotyku $K_w = 0,861$

$$F_t P = C_s \cdot d_2 \cdot 0,8 \cdot b_{e2} \cdot C_m \cdot C_v \quad (12)$$

- d_2 : priemer roztečenej kružnice v strednej rovine [mm]
- b_{e2} : účinná šírka kolesa [mm]
- C_m : súčiniteľ prevodového čísla
- C_v : súčiniteľ sklzovej rýchlosti
- Pretože je šnekové koleso odlievane z bronzu

$$C_s = 13,164 \quad (13)$$

- Súčiniteľ prevodového čísla je pre prevodový pomer $i = 39$

$$C_m = 0,010 \cdot \sqrt{-i^2} + 56i + 5145 \quad (14)$$

- Po dosadení do rovnice získame hodnotu súčiniteľa prevodového čísla

$$C_m = 0,762$$

- Sklzová rýchlosť na roztečenom valci šneku v_k [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

$$v_k = \frac{\pi \cdot n_1 \cdot d_1}{6000 \cdot \cos \gamma} \quad (15)$$

- n_1 : frekvencia otáčania šneku [min^{-1}]
- d_1 : roztečený priemer šneku
- γ : uhol stúpania šróbovice 23°
- Po dosadení do rovnice (12) dostanem hodnotu sklzovej rýchlosti

$$v_k = 1,741 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- Súčiniteľ sklzovej rýchlosti C_v pre vypočítanú hodnotu sklzovej rýchlosti je

$$C_v = 0,659 \cdot \exp(-0,216 \cdot v_k) \quad (16)$$

- Po dosadení získame hodnotu koeficientu sklzovej rýchlosti

$$C_v = 0,4524$$

- Súčiniteľ trenia pre hodnotu sklzovej rýchlosti (rovnica (14))

$$f = 0,103 \exp(-1,185 \cdot v_k^{0,45}) + 0,012 = 0,0345 \quad (17)$$

K určení geometrie šneku a šnekového kola bol použitý softwre AutoDESK Inventor Profesional 2019. Nižšie sú uvedené vzťahy pre výpočet geometrie daného súkolia.

- Normálový modul šneku

$$m_m = m \cdot \cos \gamma \quad (18)$$

- Roztečný uhol stúpania šenku

$$\gamma = \arctan\left(m \cdot \frac{z_1}{d_1}\right) = \arctan\left(\frac{z_1}{q}\right) \quad (19)$$

- Priemer roztečenej kružnice v strednej rovine šneku

$$d_1 = \left(\frac{m \cdot z_1}{\tan \gamma}\right) = q \cdot m \quad (20)$$

- Priemer roztečenej kružnice v strednej rovine šnekového kola

$$d_2 = z_2 \cdot m \quad (21)$$

$$z_2 = z_{12} \cdot i \quad (22)$$

- Priemer hlavovej kružnice v strednej rovine šneku

$$d_{a1} = d_2 \cdot 2m \quad (23)$$

- Priemer hlavovej kružnice v strednej rovine šnekového kola

$$d_{a2} = d_2 \cdot 2m \cdot (1 + x) \quad (24)$$

- Priemer pätnjej kružnice v strednej rovine pre šnek

$$d_{f1} = d_2 - 2 \cdot (m + c) \quad (25)$$

- Priemer pätnjej kružnice v strednej rovine pre šnekové koleso

$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot (m + c - x) \quad (26)$$

- Roztečná vzdialenosť medzi osami

$$a = 0,5 \cdot (d_1 + d_2) \quad (27)$$

9.5.2 Výpočet účinnosti šnekového súkolia

V prípade, keď je šnek hnacím členom šnekového súkolia, vychádza mechanická účinnosť prevodu z rovnice (25):

$$\eta = \frac{\cos \alpha_n - f \cdot \tan \gamma}{\cos \alpha_n + f \cdot \tan \gamma} = 0,9 \quad (28)$$

9.5.3 Kontrolný výpočet šnekového súkolia

Kontrola prebehla v softvare AutoDESK inventor profesional 2019. Z výsledkov je zrejmé, že súkolie nie je namáhané veľkými silami ani veľkým krútiacim momentom. Z tohto dôvodu je potrebné preveriť súkolie na zadieranie.

- Koeficienty a výpočet sú volené podľa normy ČSN 01 4686-88
- Súčiniteľ tvaru zubu

$$Z_{H12} = \sqrt{\frac{4 \cdot \cos \gamma}{\sin 2\alpha_n}} = 2,393 \quad (29)$$

- Poissonová konštanta pre oceľ $\mu_1 = 0,3$
- Poissonová konštanta pre bronz $\mu_2 = 0,3$
- Modul pružnosti šneku $E_1 = 210\,000$ Mpa
- Modul pružnosti šnekového kolesa $E_2 = 127\,000$ Mpa
- Dosadením hodnôt získame súčiniteľ materiálu prevodu

$$Z_{E12} = \left[\pi * \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right) \right]^{-\frac{1}{2}} = 166,38 \text{ MPa} \quad (30)$$

- Súčiniteľ trvania záberu profilu

$$\varepsilon_{\alpha 12} = 1,88 - 3,2 * 1z2 * \cos \gamma_{12} = 1,655 \quad (31)$$

- Súčiniteľ súčtovej dĺžky stykových čiar zubov

$$Z_{\varepsilon 12} = \sqrt{\frac{\cos \gamma_{12}}{\varepsilon_{\alpha 12}}} = 0,754 \quad (32)$$

- Obvodová sila na roztečenej kružnici šnekového kolesa

$$F_{t2} = F_{t1} * \frac{\cos \alpha_n * \cos \gamma - f * \sin \gamma}{\cos \alpha_n * \cos \gamma + f * \sin \gamma} \quad (33)$$

- Kde F_{t1} je tečna sila na šneku

$$F_{t1} = \frac{2 * T_1}{d_1} = 156N \quad (34)$$

- Dosadením rovnice (31) do rovnice (32) získame hodnotu F_{t2}

$$F_{t2} = 333N$$

- Súčiniteľ vnútorných dynamických síl je volený na základe klznej rýchlosti a stupňa presnosti IT7

$$K_{v12} = 1$$

- Koeficient pre výpočet súčiniteľa rozdelenia zaťaženia spolu zaberajúcich zobov

$$K_{\varepsilon} = 0,75$$

- Súčinitele rozdelenia zaťaženia na spolu zaberajúce páry zubov

$$K_{H\alpha 12} = \frac{1}{K_{\varepsilon} * \varepsilon_{\alpha 12}} = 0,806 \quad (35)$$

- Súčiniteľ deformácie šneku je zvolený podľa normy

$$\theta = 108$$

- Koeficient pre silno premenne zaťaženie

$$K = 0,3$$

- Súčiniteľ dynamických síl podľa normy

$$K_A = 2,9$$

- Súčiniteľ zaťaženia

$$K_{H12} = K_A * K_{V12} * K_{H\alpha 12} * K_{H\beta 12} \quad (36)$$

- Pomocný koeficient pre výpočet súčiniteľa zaťaženia

$$K_{H\beta 12} = 1 + \left(\frac{z_1}{\theta}\right)^3 * (1 - K) = 1 \quad (37)$$

- Dosadením výsledku z rovnice (31) a da rovnice (32) získame hodnotu súčiniteľa zaťaženia

$$K_{H12} = 2,337$$

- Napätie v dotyku sa vypočíta z rovnice (35), kde hodnota b_2 znamená aktívnu šírku šnekového kolesa $b_2 = 20\text{mm}$

$$\sigma_{H12} = Z_{H12} * Z_{E12} * Z_{\varepsilon 12} * \sqrt{\frac{F_{t2} * K_{H12}}{b_2 * d_2}} = 54,08 \text{ MPa} \quad (38)$$

- Únavová pevnosť materiálu v dotyku s ohľadom na zadieranie je

$$\sigma_{2H} = 660 \text{ MPa}$$

- Výpočet pokračuje zistením súčiniteľa trvanlivosti pre dotyk

$$Z_{N12} = \sqrt[8]{\frac{25 * 10^7}{L_h * n_1}} = 1,492 \quad (39)$$

- Hodnota $L_h = 15000\text{h}$ znamená požadovanú trvanlivosť

- Súčiniteľ bezpečnosti voči zadieraniu je $S_{H4\text{min}} = 1,1$

$$S_{H4} = \frac{\sigma_{2H} * Z_{N12}}{\sigma_{H12}} = 18,2086 \quad (40)$$

Z nerovnosti rovnice (35) vyplýva splnenie podmienky bezpečnosti pre zadieranie šnekového prevodu a teda šnekový prevod vyhovuje. Súčiniteľ bezpečnosti je väčší ako požadovaný.

$$S_{H4min} < S_{H4} \quad (41)$$

9.6 Výpočet ložísk

Návrh a kontrola ložísk bola prevedená pomocou softwaru AutoDesk inventor Profesional 2019. Dole je uvedený výpočet pôsobiacich síl a kontrolou ložísk pre hriadeľ so šnekom.

9.6.1 Výpočet silových pomerov u šnekového súkolia

- V prvom rade zistíme tečné sily pôsobiace na šnekové súkolie. Tieto hodnoty máme vypočítané v predchádzajúcej kapitole.

$$F_{t1} = 156 \text{ N}$$

$$F_{t2} = 333 \text{ N}$$

- Súčiniteľ trenia medzi oceľou a bronzom

$$f_{12} = 0,8$$

- Nutný uhol pre výpočet síl pôsobiacich na šnekové súkolie

$$\theta_{12} = \text{atan}\left(\frac{f}{\cos \alpha_n}\right) = 2,1^\circ \quad (42)$$

- Axiálna sila na šneku

$$F_{a1} = \frac{F_{t3}}{\tan(\gamma_{12} + \theta_{12})} = 710,20 \text{ N} \quad (43)$$

- Axiálna sila na šnekovom kolese

$$F_{a2} = F_{t2} * \tan(\gamma_{12} + \theta_{12}) = 156 \text{ N} \quad (44)$$

- Radiálna sila na šneku

$$F_{r1} = F_{t1} * \frac{\tan \alpha_{12}}{\sin \gamma_{12} + \cos \gamma_{12} * \tan \theta_{12}} = 134 \text{ N} \quad (45)$$

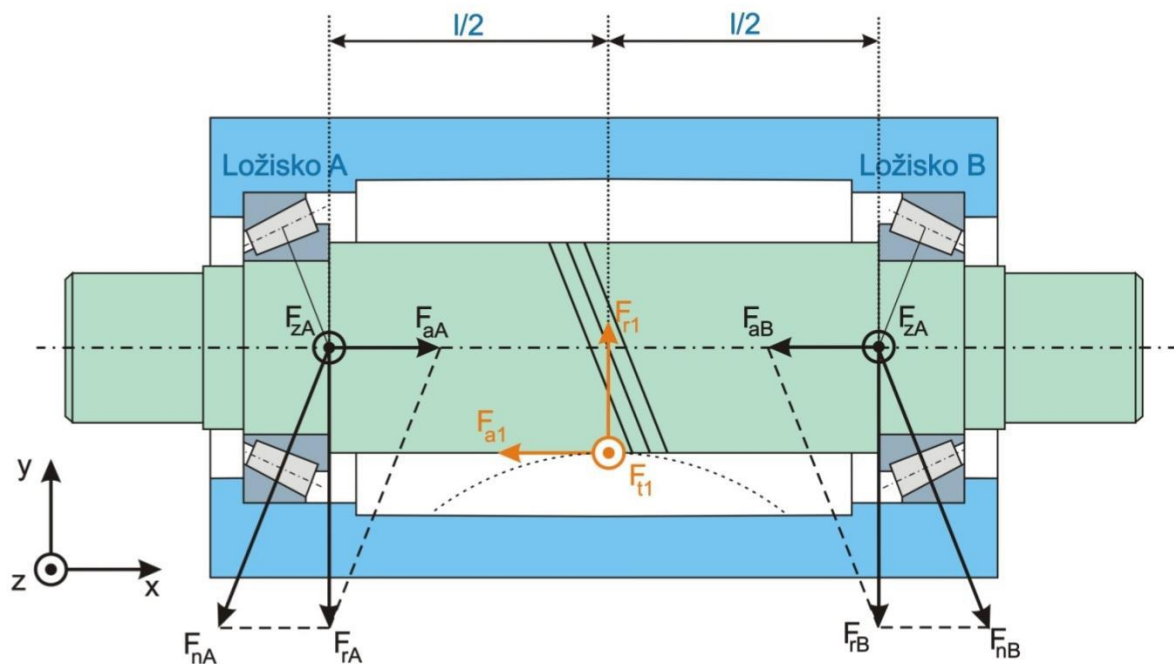
- Radiálna sila na šnekovom kolese

$$F_{r2} = F_{t2} * \frac{\tan \alpha_{12}}{\cos \gamma_{12} - \sin \gamma_{12} * \tan \theta_{12}} = 134 \text{ N} \quad (46)$$

Rovnosť radiálnych síl u šneka a šnekového koleša je pravdepodobne s toho dôvodu, že radiálna sila šneku je reakciou na radiálnu silu šnekového koleša.

9.6.2 Výpočet výsledných stykových síl v podporách

Na Obr. 53) sú znázornené sily, ktoré pôsobia na la ložisko A a B. Pri výpočte jednotlivých síl sa vychádza z rovnováhy síl a momentu v jednotlivých osách.



Obr. 53) Schéma pôsobenia síl v podporách [24]

Reakcie vo väzbách v rovine xz:

- $l = 212 \text{ mm}$: vzdialenosť medzi podporami A a B

$$R_{ZA} = \frac{F_{t1} \cdot \frac{l}{2}}{l} = 78 \text{ N} \quad (47)$$

$$R_{ZB} = \frac{F_{t1} \cdot \frac{l}{2}}{l} = 78 \text{ N} \quad (48)$$

Hodnoty R_{ZA} a R_{ZB} majú rovnakú veľkosť a opačný smer z dôvodu súmerného uloženia ložísk vzhľadom ku stredu šneka a ich usporiadaniu do X (čelom k sebe).

Reakcie vo väzbách v rovine xy:

$$R_{yA} = \frac{F_{r1} \cdot \frac{l}{2}}{l} + \frac{F_{a1} \cdot \frac{l}{2}}{l} = 422 \text{ N} \quad (49)$$

$$R_{yB} = \frac{F_{r1} \cdot \frac{l}{2}}{l} + \frac{F_{a1} \cdot \frac{l}{2}}{l} = 422 \text{ N} \quad (50)$$

K rovnosti reakcie dochádza z rovnakého dôvodu ako pred tým a to vplyvom súmerného uloženia ložísk.

Radiálne sily zaťažujúce ložiska A a B sú:

$$F_{rA} = R_A = (R_{ZA}^2 + R_{yA}^2)^{1/2} = 430 \text{ N} \quad (51)$$

$$F_{rB} = R_B = (R_{ZB}^2 + R_{yB}^2)^{1/2} = 430 \text{ N} \quad (52)$$

V katalógových údajoch o kúzelníkových ložiskách spoločnosti TIMKEN sú uvedené nasledujúce hodnoty.

- Základná dynamická únosnosť $C_{90} = 9,4$ kN
- Základná dynamická únosnosť $C = 36,3$ kN
- Základná statická únosnosť $C_0 = 45,3$ kN
- Súčiniteľ $K = 1,36$

V prvom rade musí byť zaistené pôsobenie axiálnych síl.

- Axiálne zaťaženie ložísk

$$F_{aA} = \frac{0,47 * F_{rA}}{K_A} = 858,8 \text{ N} \quad (53)$$

$$F_{aB} = \frac{0,47 * F_{rB}}{K_A} = 148,6 \text{ N} \quad (54)$$

Výsledné sily v osi hriadeľa je:

$$F_v = F_{AB} + F_{a1} - F_{aA} \quad (55)$$

- Sily F_{aB} a F_{aA} sú vzniknuté axiálne sily v ložiskách od radiálnych síl

$$F_v = F_{a1} = 710,2 \text{ N}$$

Na základe toho, že sme použili rovnaké ložiska vzhľadom k stredu šneku, nastane vyrušenie axiálnych účinkov od radiálnych síl F_{aA} a F_{aB} . Z toho vyplýva, že na uloženie v osi hriadeľa pôsobí iba vonkajšie zaťaženie F_{a1} . Vplyvom tohto zaťaženia sa vzhľadom k usporiadaniu ložísk krúžky ložiska A sa zovrú, takémuto ložisku sa hovorí zovreté. Naopak ložisko B neprenáša axiálne zaťaženie a tým pádom je ložisko odľahčené a nazýva sa uvoľnené.

9.6.3 Trvanlivosť ložísk

Dynamické radiálne ekvivalentné zaťaženie sa pre obe ložiská stanoví pomocou nasledujúceho vzťahu.

$$P_a = 0,4 * F_{rA} * K_A * F_{aA} = 1340 \text{ N} \quad (56)$$

$$P_b = F_{rB} = 430 \text{ N} \quad (57)$$

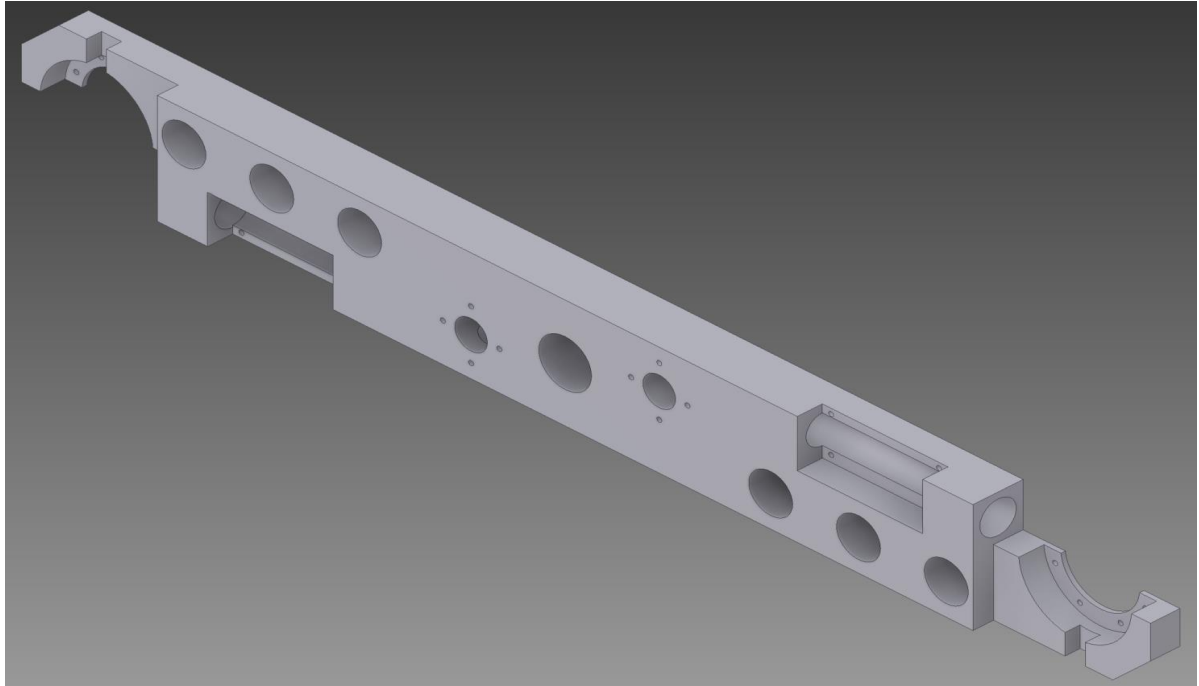
- Trvanlivosť ložísk

$$L_{10A} = \left(\frac{C_{90}}{P_A} \right)^{10/3} * \frac{90 * 10^6}{60 * n} = 1,46 * 10^6 \text{ hod} \quad (58)$$

Pre viac namáhané ložisko vyšla dlhá životnosť a to s toho dôvodu, že prenášané momenty nie sú tak veľké ako v prevodovkách.

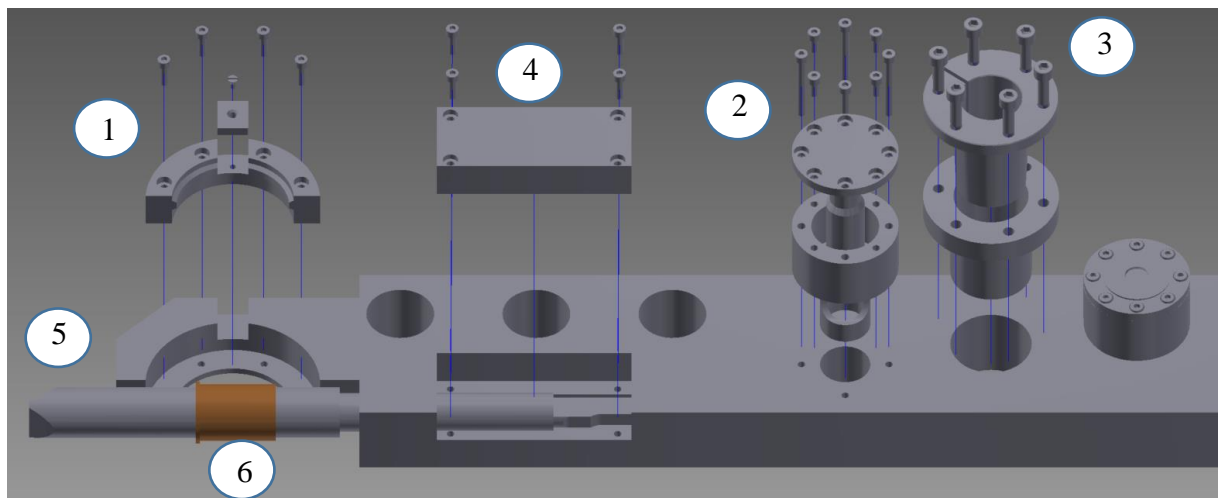
9.7 Konštrukcia chapadla

Chapadlo je dvojramenné na Obr. 54), kde obe ramená medzi sebou zvierajú uhol 180° . Rozteč medzi upínaním kuželov HSK je $l = 790$ mm. Materiál pre súčasť bola zvolená oceľ 11 500, ktorá je charakteristická dobrou obráňiteľnosťou a je určená k výrobe strojných súčiastok.



Obr. 54) Dvojramenne chapadlo

Na Obr. 55) Sú znázornené jednotlivé časti umiestnené v chapadle. Jednotlivé časti sú popísané nižšie.



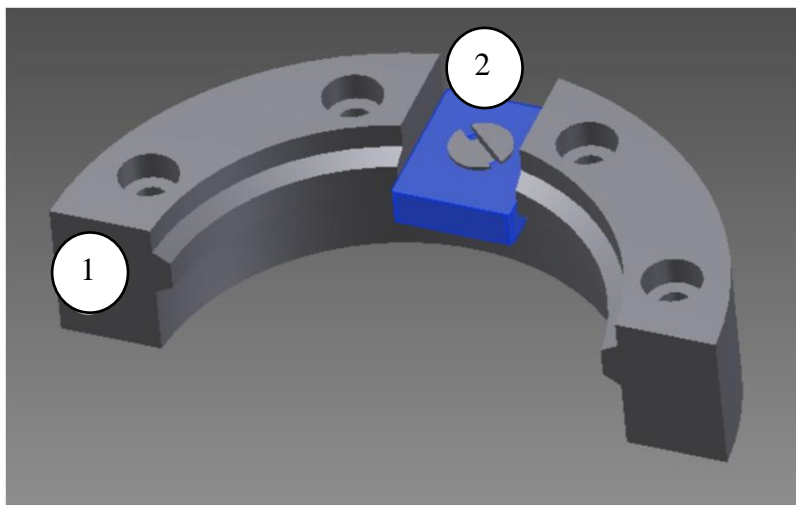
Obr. 55) Umiestnenie jednotlivých komponentov v ramene výmenníka

- Pozícia:
- 1) Vložka chapadla
 - 2) Tvarový zámok
 - 3) Samostrediacie puzdro
 - 4) Kryt uchopovacieho palca
 - 5) Uchopovací palec
 - 6) Bronzová klzná vložka

9.8 Vložka chapadla pre kužeľ HSK 63 – A

Kvôli veľkému opotrebeniu a zvýšenému namáhaniu je vhodné do ramena umiestniť vložku, ktorá je znázornená na Obr. 56) pozícia (1) Vložka bude týmto opotrebeniam odolávať vo väčšej miere ako samotné rameno. Pozícia (2) znázorňuje vložku, ktorá slúži na zaistenie nástrojového kužeľa proti pretočeniu. Pre tento druh namáhania bol zvolený materiál 14 240 podľa normy ČSN 41 4240, pre ktorý je doporučené tepelné opracovanie: cementovanie.

Cementovaním sa dosiahne zvýšenia obsahu uhlíku v povrchovej vrstve súčiastky a tým sa zvýši povrchová tvrdosť pričom sa zachová húževnaté jadro. Cementovanie musí byť urobené s ohľadom na tvrdosť upínacieho kužeľa HSK, ktorá musí byť vyššia ako tvrdosť upínacej vložky. Ak by mala vložka po tepelnej úprave väčšiu tvrdosť ako upínací kužeľ prichádzala by k jeho nadmernému opotrebeniu, ktorému sa chceme vyhnúť. Podľa normy DIN 69893-A, podľa ktorej sme volili upínací kužeľ, je jeho tvrdosť $58 \pm 2 \text{ HRC}$, tým pádom pri cementovaní nesmieme prekročiť hranicu 56 HRC.

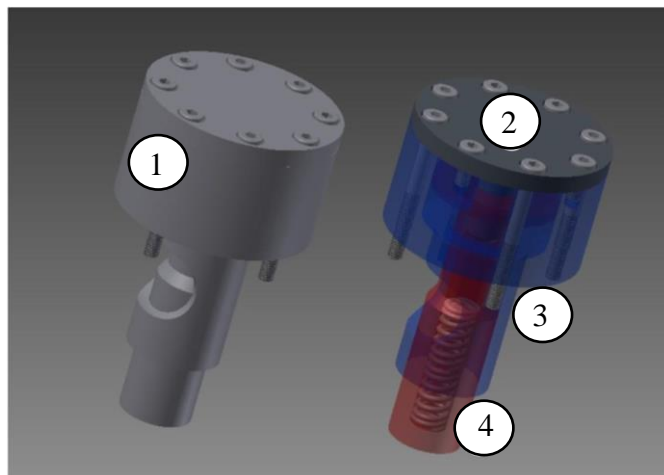


Obr. 56) Vložka pre upnutie kužeľa HSK

9.9 Tvarový zámok

Tvarový zámok slúži k zaisteniu uchopovacieho palca a tým dôjde k zaisteniu kužeľa vo vložke chapadla. Týmto sa zamedzí pootočeniu nástroja v ramena manipulátora.

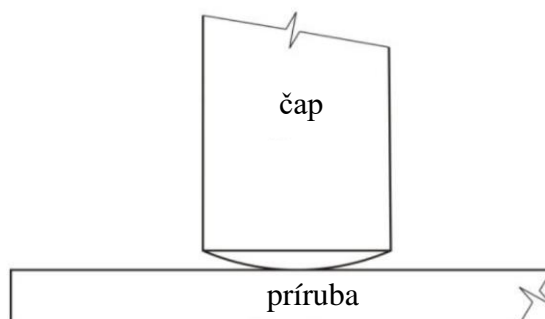
Na Obr. 57) sú vidieť jednotlivé konštrukčné prvky tvarového zámku (1). Vrchný kryt čapu (2) je pripevnený skrutkami. Teleso tvarového zámku je zobrazené na pozícii (3) a pozícia (4) je dutý čap. Pri zasúvaní ramena sa dutý čap opiera o prírubu a tým postupne podopiera uchopovací palec. Pri plnom zasunutí čapu do zámku je uchopovací palec plne uvoľnený. Tým dôjde k uvoľneniu nástroja z vložky pre upnutie.



Obr. 57) Tvarový zámok

9.10 Čap tvarového zámku

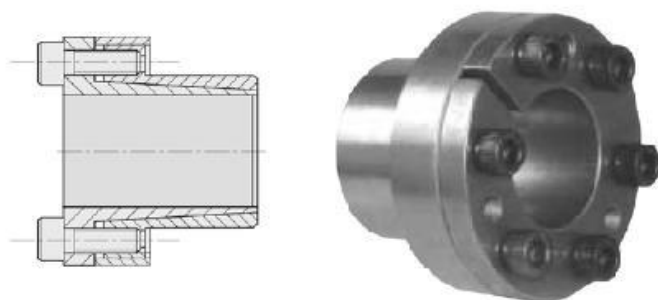
Tento čap plní zaist'ovaciú funkciu pri podopieraní uchopovacieho palca v danej polohe. Jeho poloha je riadená pomocou bronzovej príruby. Príruba tlačí na čap smerom do chápadla a zároveň sa pri rotácii ramena trie o plochu príruby. Z toho vyplýva, že medzi týmito komponentami dochádza k veľkému treniu a oteru. Trenie sme znížili guľovou dosedavou plochou. Táto plocha umožňuje teoretický bodový dotyk ako znázorňuje Obr. 58). Príruba je vyrobená z bronzu a čap je podľa normy ČSN 41 4240 vyrobená z ocele 14 240. Pre čap je doporučené tepelné opracovanie cementovaním a následným kalením, vďaka čomu sa zvýši odolnosť voči oteru.



Obr. 58) Dotyk čapu a príruby

9.11 Samostrediacé zverné puzdro

Spojenie medzi ramenom a drážkovaným hriadeľom je zabezpečené pomocou samostrediacieho zverného puzdra KLCC0032 (zobrazené na Obr. 59). Toto puzdro slúži na prenos krútiaceho momentu medzi jednotlivými súčiastkami.

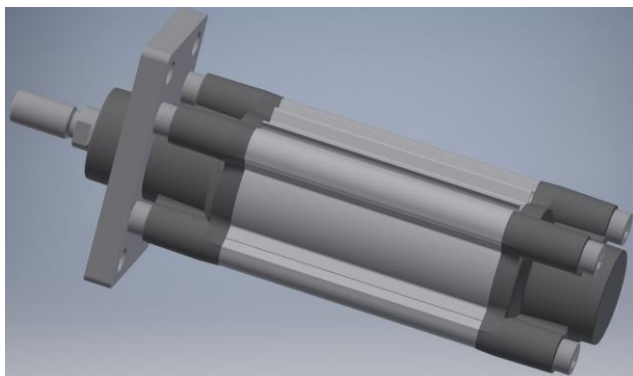


Typ	Tlak, blokováci síla			Odblokování		Měrné tlaky			
	NV	Tv [Nm]	Šroub	NV	Šroub	Mt [Nm]	Pa [N/mm ²]	Ta [kN]	Pm [N/mm ²]
KLCC032	M6	17	6	M6	3	505	97	31	72

Obr. 59) Samostrediace zverné puzdro [25]

9.12 Vysúvanie pomocou pneumatického valca

Vysúvanie otočného ramena je realizovaný pomocou pneumatického valca.

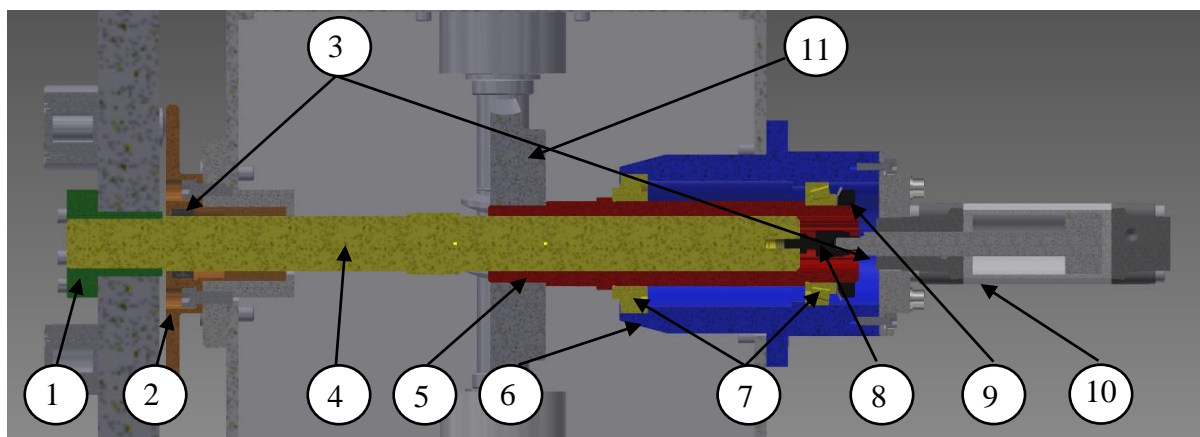


Obr. 60) Pneumatický svorníkový valec ISOLine [26]

Tab 26) Parametre

Priemer piestu	40 mm
Zdvih	50 mm
Ťah (vytiahnutie) pri tlaku 6 bar	753 N
Ťah (zasunutie) pri tlaku 6 bar	633 N
Rýchlosť	1 m.s ⁻¹

9.13 Popis funkcie



Obr. 61) Rez výmenníkom

Pozícia :

- 1) Samozverné púzdro
- 2) Bronzová doska
- 3) Tesnenie
- 4) Drážkovaný hriadeľ
- 5) Unášač s vnútorným drážkovaním
- 6) Puzdro
- 7) Ložisko
- 8) Spojka
- 9) KM matica
- 10) Pneumatický valec
- 11) Šnekové koleso

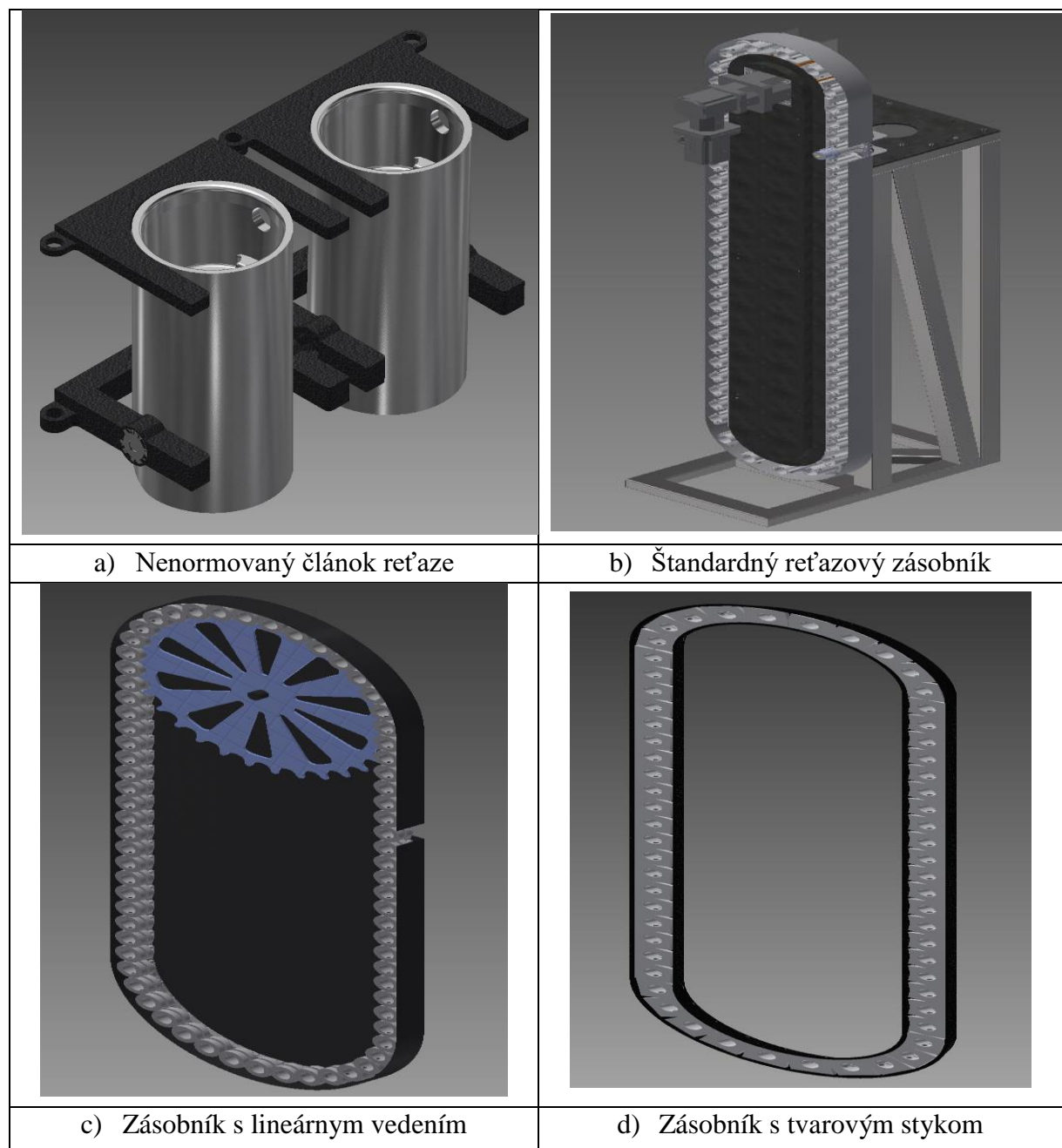
Na Obr. 61) je rez výmenníkom nástrojov s jednotlivými pozíciami komponentov. Rotačný pohyb od pohonu sa prenáša zo šneka na šnekové koleso. Šnekové koleso (pozícia 11) rotuje spoločne s unášačom (pozícia 5) umiestneným v puzdre (pozícia 6) s ložiskami (pozícia 7). Uloženie je zaistené KM maticou (pozícia 9). Unášač má vnútorné drážkovanie, do ktorého je zasunutý drážkovaný hriadeľ (pozícia 4). Cez toto drážkovanie sa prenáša rotačný pohyb od unášača na hriadeľ. Hriadeľ je k ramenu pripojený samozverným puzdrom (pozícia 1). Po uchopení nástroja pneumatický valec (pozícia 10) vysunie hriadeľ. Spojenie medzi hriadeľom a pneumatickým valcom je realizované pomocou spojky (pozícia 8). Spojka odľahčuje pneumatický valec od rotačného zaťaženia. Tesnenia (pozícia 3) zabráňujú úniku maziva s vnútorného priestoru.

10 ZÁSObNÍK NÁSTROJOV

Typ zásobníka a jeho umiestnenie určuje maximálny počet nástrojov a taktiež čas výmeny. Aby obrábacie centrum pracovalo čo najefektívnejšie, musí byť čas výmeny čo najkratší. Veľkokapacitné zásobníky pracujú pomaly a naopak nosné zásobníky pracujú veľmi rýchlo. Je dôležité určiť si prioritu a to buď čas alebo počet nástrojov. Ak nechceme ubrať ani z jedného parametra, vhodným kompromisom je použitie reťazového zásobníka ktorý patri do kategórie so strednou kapacitou.

10.1 Varianty pre zásobník

Na Obr. 62) sú znázornené jednotlivé varianty pre mechanizmus výmenníka nástrojov.



Obr. 62) Varianty zásobníka nástrojov

10.1.1 Varianta a)

Návrh danej varianty spočíva vo vytvorení vlastných článkov reťaze, pričom stredná časť do ktorej sa zasúva nástroj, tvorí valček reťazového článku. V spodnej časti je umiestnený čap umožňujúci rotáciu okolo osi a tým vyklápanie nástrojového puzdra o 90° do polohy pre výmenu nástroja. Oba držiaky (horný a spodný) sú prepojené čapom. V strednej časti je umiestnené puzdro, ktorým prechádza čap určujúci rozostup medzi držiakmi.

10.1.2 Varianta b)

Táto varianta je zastavená s článkov ewartovej reťaze a k ním príslušným ozubeným kolesám. K článku je priskrutkovaný adaptér pre držanie nástrojovej stopky. Medzi adaptérom a nástrojovou stopkou je umiestnený čap určený pre rotáciu okolo osi o 90°.

10.1.3 Varianta c)

Návrh varianty spočíva v použití lineárneho vedenia typu HMG, ktorý umožňuje priamy aj kruhový pohyb s použitím jediného vozíka. Veľmi presné vedenie umožňuje vysoké rýchlosti. Každý nástroj má vlastný vozík. Konštrukcie nad vozíkom umožňuje rotáciu okolo osi o 90°.

10.1.4 Varianta d)

Jedná sa o typ reťazového zásobníka bez použitia reťaze. Vystačí si s jedným hnacím ozubeným kolesom. Vedenie jednotlivých nástrojov je realizované pomocou profilovej lišty. Nástrojové držiaky sú vedľa seba umiestene takmer bez vôle a tak sa tlačia navzájom. Veľmi náročné opracovanie jednotlivých nástrojových držiakov a vysoké nároky na trecie plochy sú zásadnou nevýhodou tohto návrhu.

10.1.5 Výber optimálnej varianty

Pre výber vhodnej varianty boli navrhnuté parametre uvedené v Tab 27) Tab 21) . Pre určenie dôležitosti sú jednotlivé parametre medzi sebou porovnávané v Tab 22) . K jednotlivým parametrom s Tab 29) je priradená váha.

Tab 27) Tabuľka parametrov pre výber vhodnej varianty výmenníka

	Názov parametrov	Popis parametrov
P1	Presnosť	Presnosť polohovania
P2	Kapacita	Maximálny počet nástrojov
P3	Dynamika	Rýchlosť a zrýchlenie
P4	Hmotnosť	Celková váha stroja
P5	Zastavaný priestor	Veľkosť potrebného priestoru pre inštaláciu stroja
P6	Cena	Nákladnosť konštrukcie
P7	Max priemer nástroja	Max priemer nástroja
P8	Zložitosť konštrukcie	Zložitosť konštrukcie

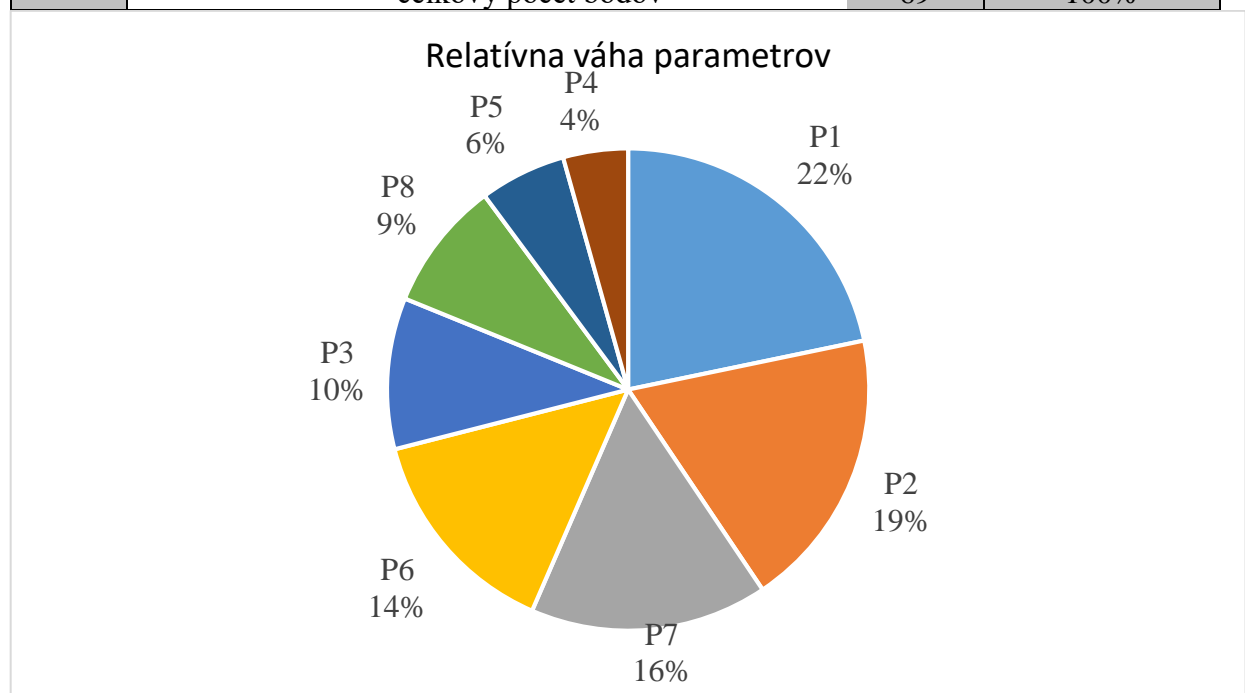
Tab 28) Porovnanie parametrov medzi sebou

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	SUMA	Poradie
P1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	1
P2		2	2	2	2	2	2	2	7	2
P3			3	3	3	6	7	3	4	5
P4				4	5	6	7	8	1	8
P5					5	6	7	8	2	7
P6						6	7	6	5	4
P7							7	7	6	3
P8								8	3	6

Jednotlivým parametrom boli priradená váha dôležitosti pomocou bodovej stupnice od 1 do 3, kde 1 reprezentuje malú závislosť medzi parametrami, 2 strednú a 3 silnú závislosť. Výsledné váhy parametrov z Tab 23) sú zobrazené v grafe na Obr. 63)

Tab 29) Určenie váhy jednotlivých parametrov

	P1	P2	P7	P6	P3	P8	P5	P4	SUMA	Relatívna váha
P1	3	3	1	3	1	1	2	1	15	22%
P2		3	1	2	2	1	3	1	13	19%
P7			3	2	1	1	3	1	11	16%
P6				3	1	1	3	2	10	14%
P3					3	1	2	1	7	10%
P8						3	2	1	6	9%
P5							3	1	4	6%
P4								3	3	4%
celkový počet bodov									69	100%



Obr. 63) Graf s relatívnou váhou parametrov pre výber vhodnej varianty

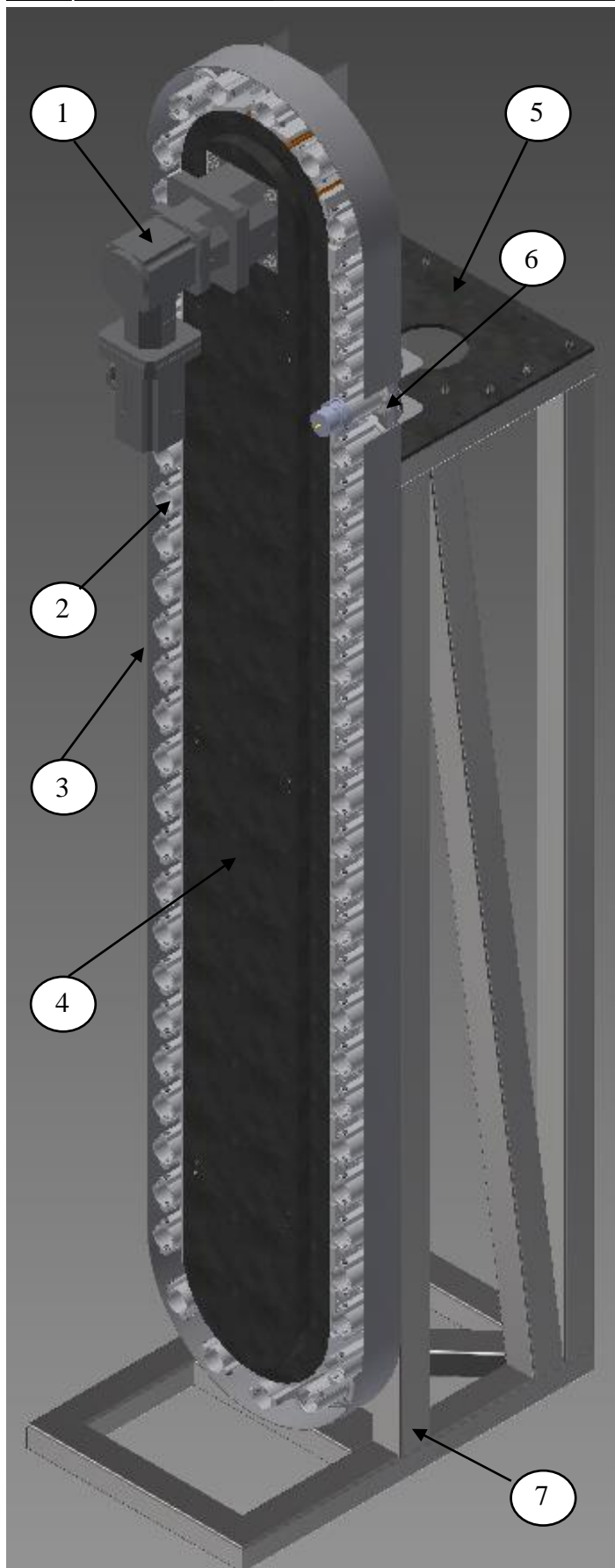
10.1.6 Výber varianty výmenníka nástrojov

Pre určenie najlepšej varianty sa pre každý parameter priradia body od 1 do 5 (1- najhoršie, 5 – najlepšie). Varianta ktorá má vo výsledku najviac bodov je tá najvhodnejšia.

Tab 30) Rozdelenie bodov medzi jednotlivé navrhované varianty

	Váha parametrov		Varianta a)	Varianta b)	Varianta c)	Varianta d)
P1	22%	15	3	4	5	4
P2	19%	13	4	4	4	4
P7	16%	11	3	3	3	3
P6	14%	10	3	5	1	2
P3	10%	7	3	3	5	2
P8	9%	6	2	4	5	1
P5	6%	4	3	4	4	3
P4	4%	3	4	3	4	3
Celkové body			217	265	263	206
poradie			3	1	2	4

Podľa dosiahnutých bodov z Tab 24) je varianta b) zobrazená na Obr. 64) je najlepšou variantou pre zásobník nástrojov.



Pozícia:

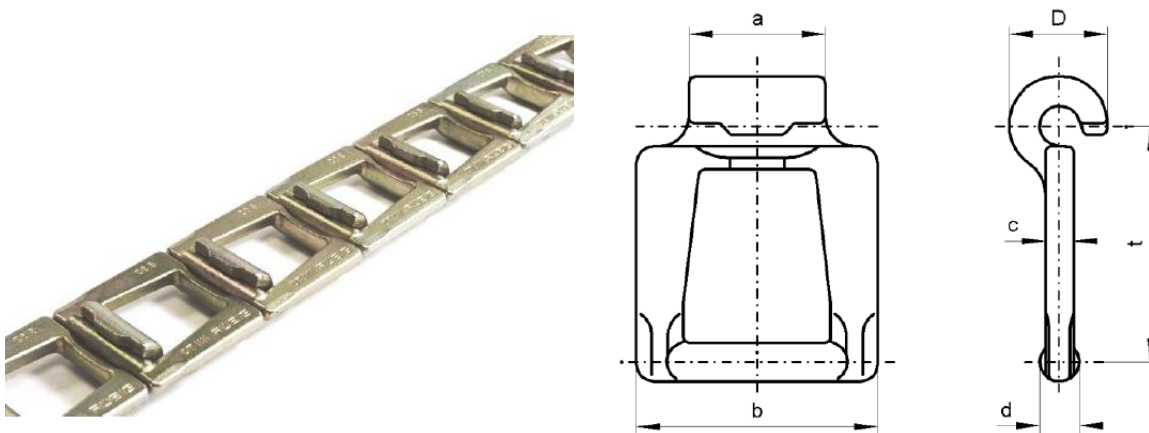
- 1) Servo motor s prevodovkou
- 2) Nástrojový držiak
- 3) Vonkajší kryt
- 4) Doska pre výmenník
- 5) Kryt
- 6) Výklopný priestor
- 7) Rámová konštrukcia

Obr. 64)

Reťazový zásobník s kapacitou 60ks

10.2 Reťazový mechanizmus

Pohon zásobníka je realizovaný pomocou Ewartovej reťaze. Konkrétne sa jedná o RÜBIG REŤAZOVÝ SYSTÉM - SÉRIE „C“ [27]. Jej rozmery sú na Obr. 65).



Typ Druh	Obj.c.:	Rozmery v [mm]						odporúčané max. (*) prevádzkové zaťaženie	zaťaženie na medzi pevnosti - priemer
		t	a	b	d	c	D		
C10 V	07100700	100	49	85	14	10	35	64 kN	230 kN

Obr. 65) Ewartova reťaz: REŤAZOVÝ SYSTÉM - SÉRIE „C“ [27]

- Špecifické vlastnosti [27]:
- predĺžená doba životnosti
 - nedochádza k samovoľnému odpojeniu
 - odolná voči znečisteniu
 - zvarateľná
 - rozoberateľná rokov

10.2.1 Návrh reťazového mechanizmu

Na začiatku boli stanovené parametre, s ktorých plynú výpočty pre potrebný krútiaci moment a výkon elektromotora.

Dráha pre presun nástroja	$s = 6 \text{ m}$
Rýchlosť reťaze	$v = 0,38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Roztečná kružnica	$d = 0,350 \text{ m}$
Doba rozbehu	$t = 2 \text{ s}$

Zrýchlenie reťaze:

$$a_p = \frac{v}{t \cdot 60} = 0,19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (59)$$

Uhlová rýchlosť reťazového kola:

$$\omega = \frac{v}{\frac{d}{2}} = 2,19 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (60)$$

Uhlová zrýchlenie reťazového kola:

$$\alpha = \frac{a}{\frac{d}{2}} = 1,09 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2} \quad (61)$$

Otáčky reťazového kola:

$$n = \frac{\omega \cdot 60}{2 \cdot \pi} = 20,91 \text{ ot/min} \quad (62)$$

Redukovaný moment zotrvačnosti reťazového kola $J_R = 0,22 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2]$

Dĺžka reťaze $l = 6 \text{ [m]}$

Hmotnosť článku reťaze s nástrojom $q = 100 \text{ [kg / m]}$

Hmotnosť reťaze celkom:

$$m_r = l \cdot q = 600 \text{ kg} \quad (63)$$

Redukovaný moment zotrvačnosti na výstupný hriadeľ prevodovky:

$$J_{\text{red}} = 2 \cdot J_R + m_r \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 18,9 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (64)$$

Moment pôsobiaci od zrýchlenia:

$$M_{\text{red}} = J_{\text{red}} \cdot \alpha = 20,7 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (65)$$

Moment pôsobiaci od záťaže:

$$M_{\text{za}} = 1030 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Celkový moment :

$$M_{\text{cel}} = M_{\text{za}} + M_{\text{red}} = 1050,7 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (66)$$

Výkon, ktorý je prenášaný reťazou :

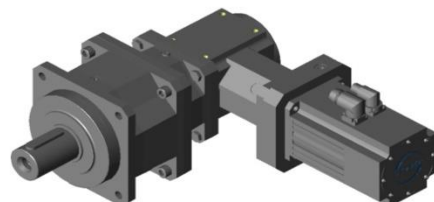
$$P = M_{\text{cel}} \cdot \omega = 2296,2 \text{ W} \quad (67)$$

10.2.2 Zvolený pohon

Pre pohon reťazového je použitý pravouhlý synchronný servo motor dodávaný s planétovou prevodovkou a brzdou zobrazený na Obr. 66). Tento typ bol zvolený na základe kompaktných rozmerov a vhodných parametrov pre danú aplikáciu.

P822KX701MFEZ502U

Moment servo motora	$M_m = 20 \text{ N} \cdot \text{m}$
Účinnosť	$\eta = 0,9$
Prevodový pomer	$i = 140$
Moment zotrvačnosti	$J_m = 0,002 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Otáčky motora	$n_m = 2940 \text{ ot / min}$
Otáčky na výstupe prevodovky	$n_v = 21 \text{ ot / min}$
Výkon P	$P = 3,5 \text{ kW}$



Obr. 66) PKX servo motor s planétovou prevodovkou [28]

Výstupné otáčky z prevodovky:

$$n_v = \frac{n_m}{i} = 21 \text{ ot / min} \quad (68)$$

Redukovaný moment zotrvačnosti na hriadeľ motora:

$$J_{redm} = J_m + \frac{J_{red}}{i^2} = 0,0029 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (69)$$

Krútiaci moment:

$$M_m = J_{redm} * \alpha + \frac{M_{za}}{i} = 10,11 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (70)$$

Výkon:

$$P_m = M_m * \frac{2 * \pi * n_m}{60} = 3,1 \text{ kW} \quad (71)$$

10.2.3 Prenos krútiaceho momentu

Prenos krútiaceho momentu medzi výstupným hriadeľom prevodovky a ozubeným kolesom je realizovaný pomocou tesného pera.

Tesné pero ČSN 02 2507 16e7x10x56

Materiál reťazového kolesa : oceľ C45

Dovolený tlak pre oceľ zaťaženú striedavými a malými rázmi $P_{Dh} = 150 \cdot 0,45 = 67,5 \text{ MPa}$

Materiál pera : 11600

$R_{ep} = 325 \text{ MPa}$

$\tau_{ep} = 0,577 * R_{ep} = 187,83 \text{ MPa}$

Šírka pera:

$b = 16 \text{ mm}$

Výška pera:

$h = 10 \text{ mm}$

Hrúbka drážky v hriadeľi:

$t = 3,8 \text{ mm}$

Hrúbka drážky v náboji:

$t_1 = 6,2 \text{ mm}$

Dĺžka pera:

$l = 56 \text{ mm}$

Priemer hriadeľa:

$d_h = 55 \text{ mm}$

Bezpečnosť perového spoja:

$$F_{hr} = \frac{2 * M_{cel}}{\frac{d_h * 2}{1000}} = 19102,76 \text{ N} \quad (72)$$

Kontrola na otláčenie:

$$P_D = \frac{F_{hr}}{l * t_1} = 57 \text{ MPa} \quad (73)$$

$P_D < P_{Dh}$ pero vyhovuje

Kontrola na strih:

$$\tau_p = \frac{F_{hr}}{l * b} = 34,11 \text{ MPa} \quad (74)$$

$\tau_p < \tau_{ep}$ pero vyhovuje

10.2.4 Ložisko

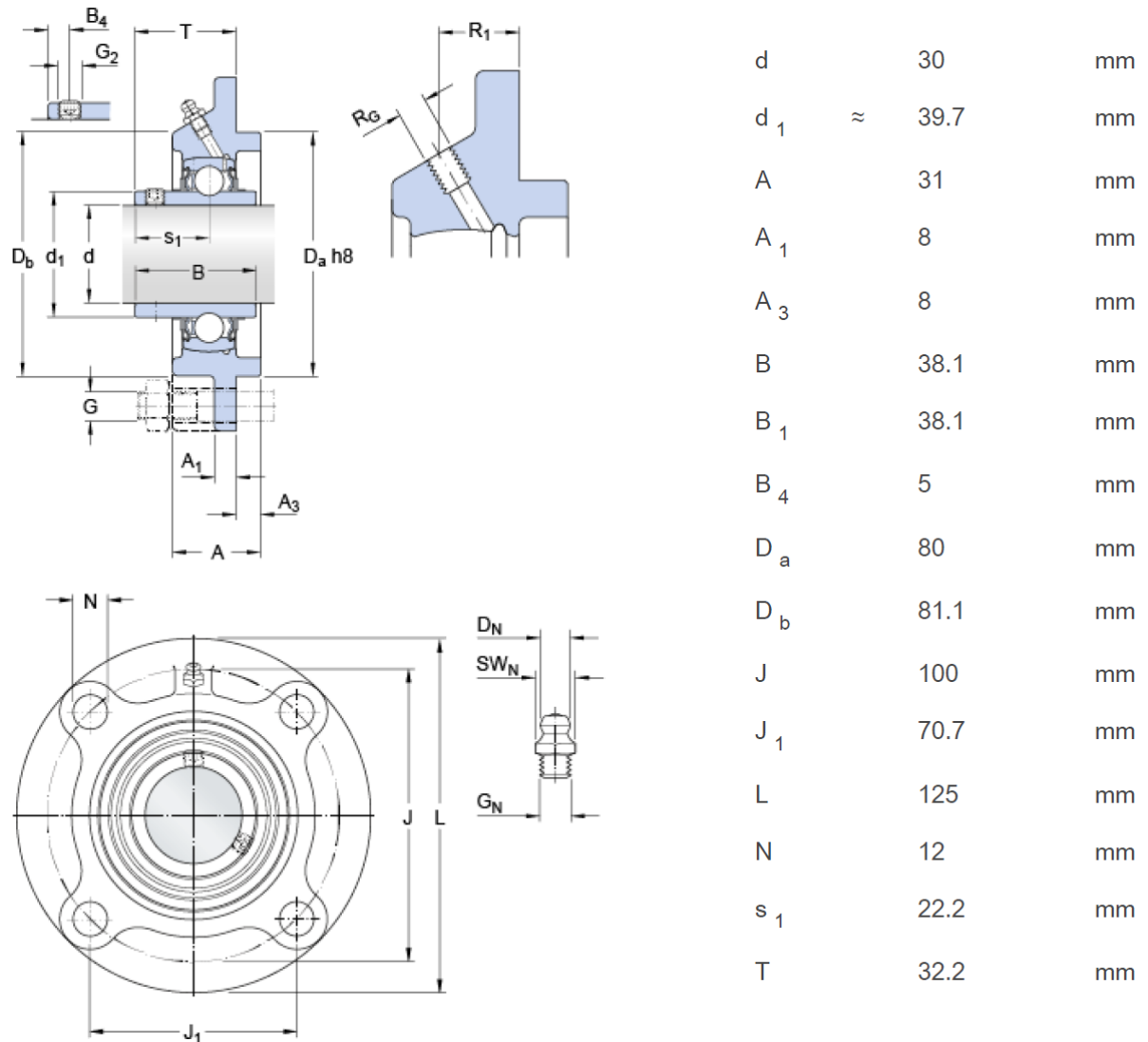
Pri návrhu ložiska je potrebné vypočítať radiálnu silu na os hriadeľa.

Zaťažujúca sila na hriadeľ v radiálnom smere :

$$F_{rh} = \frac{M_{cel}}{\frac{d}{2}} = 5920 \text{ N} \quad (75)$$

Zvolené ložiskova prírubová jednotka s typovým označením FYC 30 TF. Skladá sa z ložiskovej jednotky (FYC 506), ložiska (YAR 206-2F) a tesnenia. Jednotka je od výroby zmontovaná a naplnená plastickým mazivom. Výhodou jednotky je, že môžu vyrvonávať mierne montážne nepresnosti. [29]

Statická únosnosť $C_0 = 15,3 \text{ kN}$
 Dynamická unosnosť $C = 25,5 \text{ kN}$
 Maximálne otáčky $n = 4300 \text{ ot/min}$



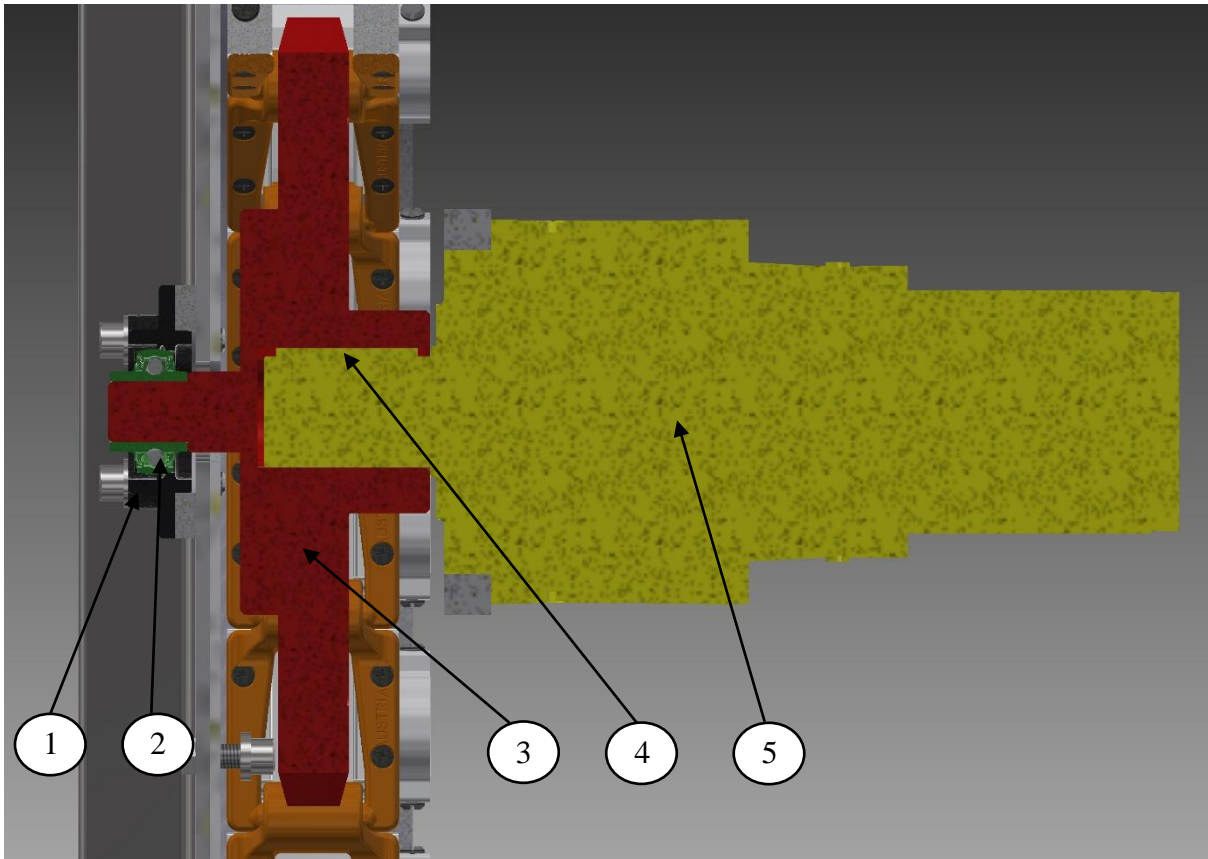
Obr. 67) Ložisková prírubová jednotka FYC 30 TF [29]

Statický súčiniteľ bezpečnosti:

$$S_{ol} = \frac{C_0}{F_{rh}} = 2,58 \quad (76)$$

10.2.5 Uloženie komponentov

Na Obr. 68) je znázornený rez vyššie popísaných komponentov v zostave Reťazového zásobníka.



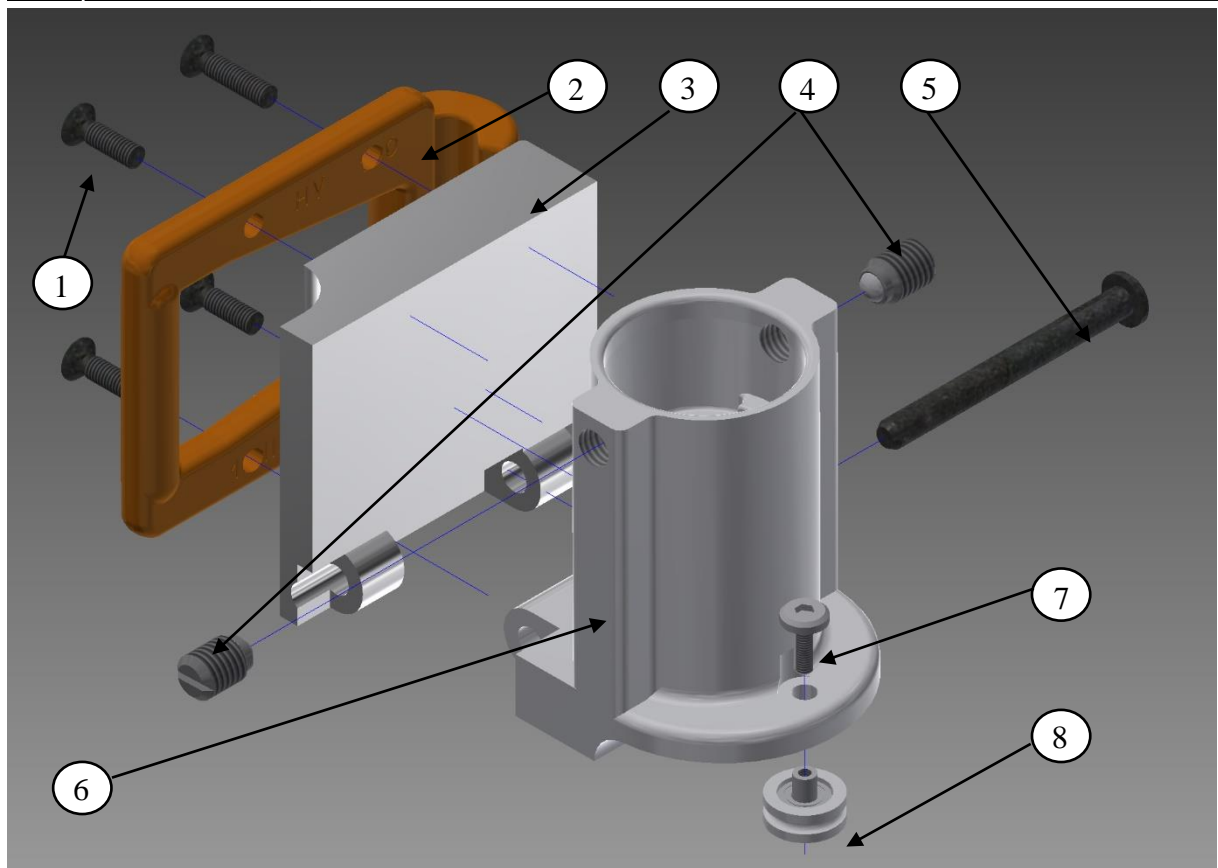
Obr. 68) Uloženie komponentov

Pozícia :

- 12) Ložisková jednotka FYC 506
- 13) Ložisko YAR 206-2F
- 14) Ozubené reťazové koleso
- 15) Tesné pero ČSN 02 2507 16e7x10x56
- 16) Servo motor s planétovou prevodovkou P822KX701MFEZ502U

10.3 Nástrojové kapsy

Nástrojová kapsa patrí medzi hlavné časti zásobníka, zobrazená na Obr. 69) pozícia 6. Jeho typ určuje použitá nástrojová stopka. Jeho úlohou je zaistiť nástroj proti vypadnutia alebo pootočeniu. Na výrobu sa používajú rôzne typy materiálov ako napríklad ABS plast, hliník, oceľ. Na pevné uchytenia nástroja sa najčastejšie využíva plastická deformácia kapsy, alebo systém pružín.



Obr. 69) Konštrukcia nástrojovej kapsy

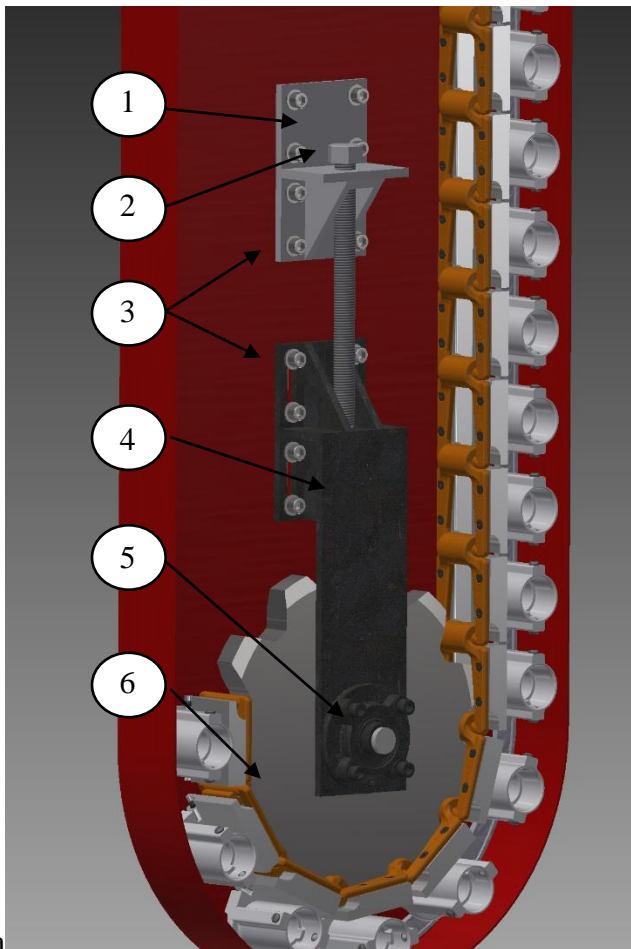
Pozícia :

- 1) Skrutky ISO 7046-1 4x M6 x 20
- 2) Článok Ewartovej reťaze
- 3) Nástavec
- 4) Nastavovacia skrutka s odpruženou guľôčkou M12 x 21
- 5) Čap DIN EN 22341 B 8x80
- 6) Nástrojová kapsa
- 7) Skrutka DIN 923 M5 x20
- 8) Vodiaca kladka polyamidová s guľôčkovým ložiskom

Čap (pozícia 5) dovoľuje natočenie okolo osi o 90° a to do polohy pre výmenu nástroja, zároveň je spojovacím členom medzi nástavcom (pozícia 3) a nástrojovou kapsou. Vložený nástroj na mieste zaisťujú nastavovacie skrutky (pozícia 4). Po zasunutí nástroja do kapsy (pozícia 6) guľôčky zapadnú do vybratia nástrojovej stopky a tým ju zaisťujú. Vodiaca kladka (pozícia 8) slúži na zaisťovanie polohy, ale aj ako uchopený člen na vyklápanie. V nástrojovej kapsy je pripevnený skrutkou (pozícia 7). Kapsa, ako aj nástavec, je vyrobená z ABS plastu.

10.4 Prestavenie reťaze

Aby bolo možné reťazový zásobník zostaviť prípadne rozobrať je nutné použiť systém znázornený na Obr. 70), ktorý slúži na prenasťavenie. V tejto konkrétnej aplikácii bola zvolená prenasťavovacia skrutka s lichobežníkovým závitom. Lichobežníkový rovnoramenný jednoduchý závit je samosvorný.



Pozícia :

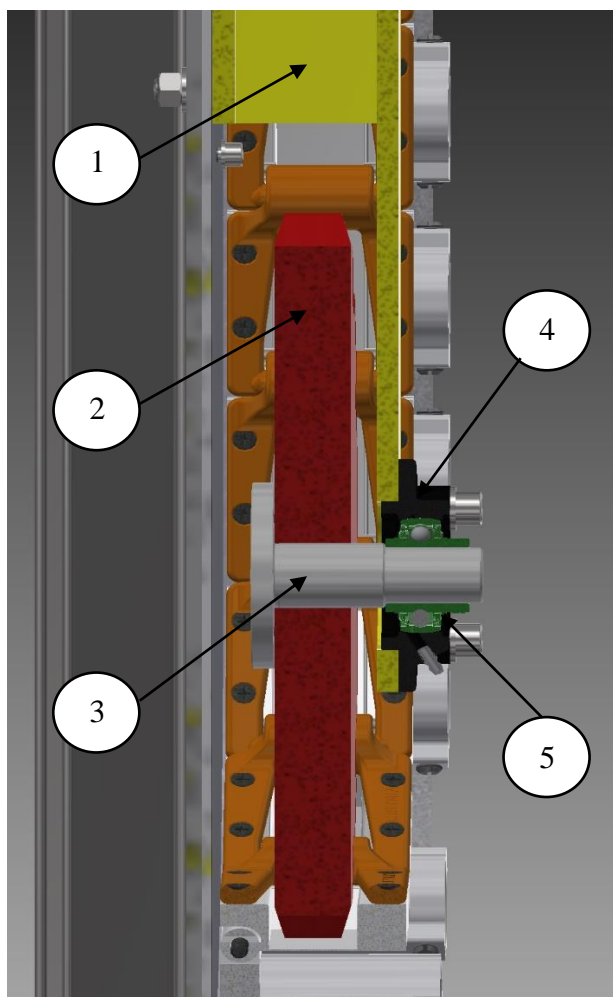
- 1) Konzola
- 2) Závitová trapézová tyč DIN 103 C45 M24x5
- 3) Skrutkový spoj ISO 4762 M12x40
Podložka 2x ISO 7089
Matica ISO 4032 M12
- 4) Konzola
- 5) Ložisková prírubová jednotka FYC 30 TF
- 6) Ozubené reťazové koleso

na

Obr. 70) Prestavenie reťazového kolesa

Konzola (pozícia 1) je pevne spojená s rámom pomocou skrutkového spoja (pozícia 3). V konzole je diera so závitom pre závitovú trapézovú tyč (pozícia 2). Táto konzola je nepohyblivá. Rotačný pohyb skrutky sa premieňa na lineárny pohyb, čím dôjde k tlačeniu alebo uvoľneniu konzoly (pozícia 4) a tým k prenastaveniu ozubeného reťazového kolesa. Konzola s ozubeným reťazovým kolesom sa pohybuje v drážkach. Po prenastavení na požadovanú súradnicu sa zaistí skrutkovým spojom.

10.5 Uloženie spodného ozubeného reťazového kolesa



Pozícia :

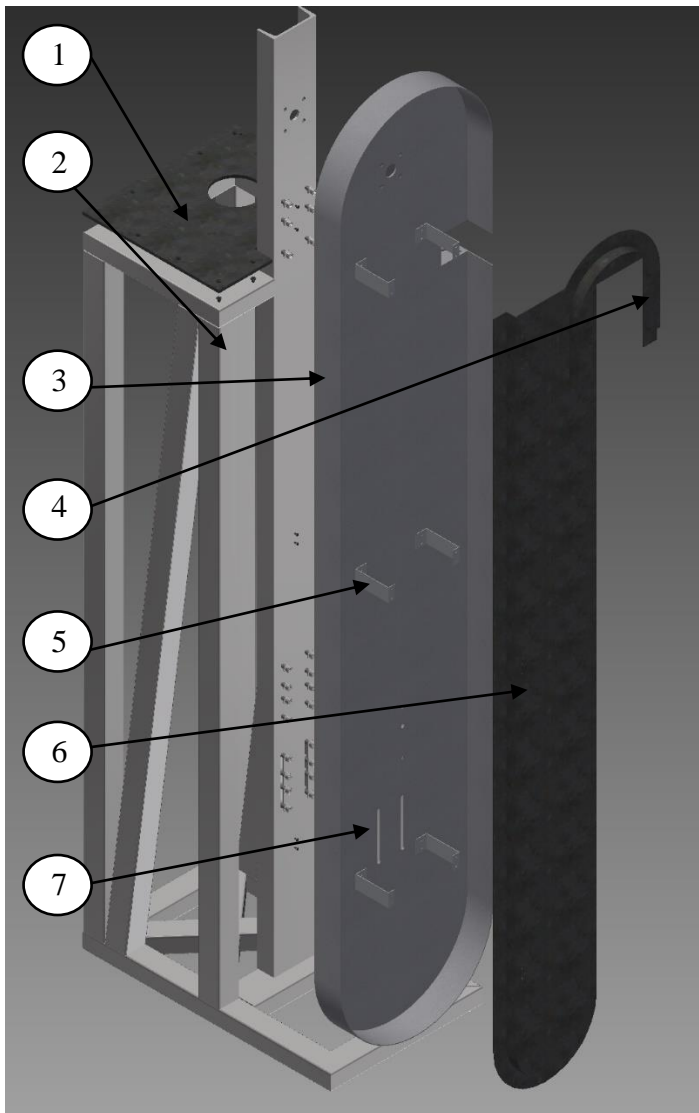
- 1) Konzola
- 2) Ozubené reťazové koleso
- 3) Hriadeľ
- 4) Ložisková jednotka FYC 506
- 5) Ložisko YAR 206 -2F

Obr. 71) Uloženie spodného reťazového kolesa

Na Obr. 71) je zobrazené uloženie spodného ozubeného reťazového kolesa. Koleso je zavesené na konzole spojením cez hriadeľ, ktorý je ku kolesu priskrutkovaný. Hriadeľ je zastrčený v ložiskovej jednotke, kde je zaistený pomocou skrutiek.

10.6 Rám

Rám zásobníku tvorí zvaraná oceľová konštrukcia z normalizovaných profilov Obr. 72) pozícia 2. K tomuto rámu sú pripevnené všetky nosné časti zásobníka spolu s ochranným rámom a krytom. Ochranný kryt (pozícia 3) zabraňuje náhodnému dotyku s pohybujúcimi sa dielmi. Kryt (pozícia 4, 6) sa skladá z dvoch častí, spodnej a hornej. V hornej časti je výrez okolo prevodovky. Kryt je pripevnený pomocou držiakov (pozícia 5) k ochrannému krytu.



Pozícia :

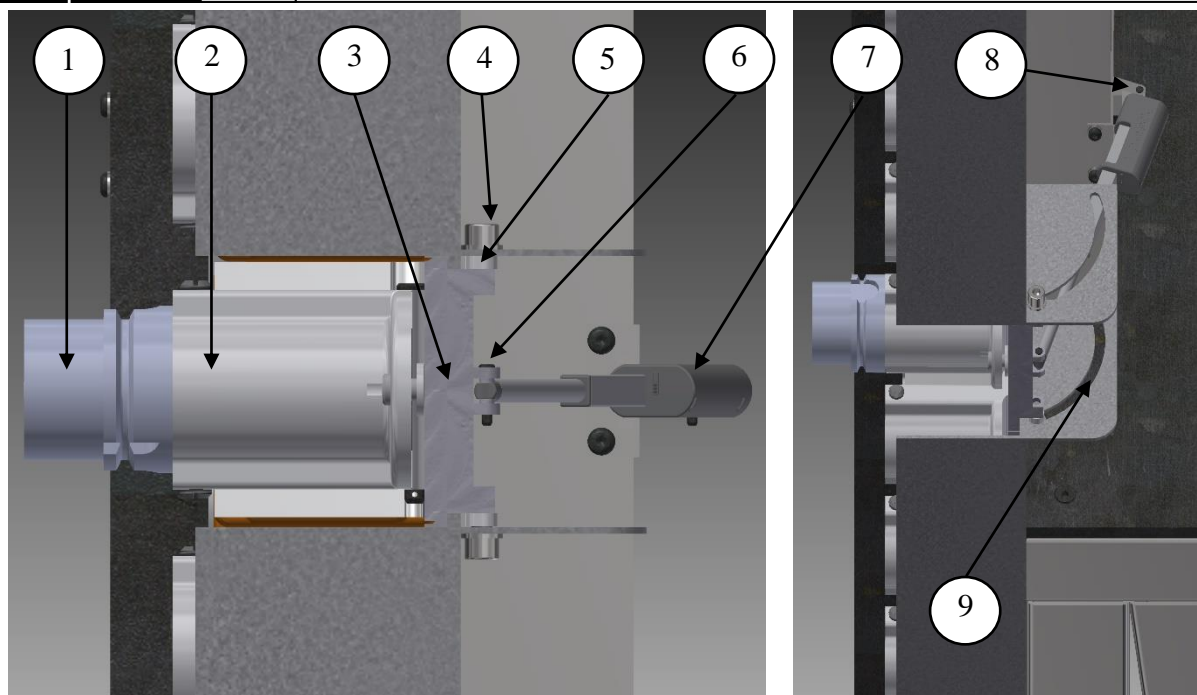
- 1) Platňa pre uchytienie výmenníka
- 2) Rámová konštrukcia
- 3) Ochrany kryt
- 4) Vrchný diel krytu
- 5) Držiak krytu
- 6) Spodný diel krytu
- 7) Drážky pre prestavenie

Obr. 72) Rámová konštrukcia s krytovaním

10.7 Vyklápanie do polohy pre výmenu

Systém automatickej výmeny je navrhnutý tak, že je potrebné vyklopenie nástrojovej kapsy spolu s nástrojom o 90° a to do polohy pre výmenu nástroja. Nutnosť vyklápacej kapsy plynie z návrhu výmenníka, ktorý koná len rotačný pohyb. S toho dôvodu je potrebné využiť vyklápacie kapsy.

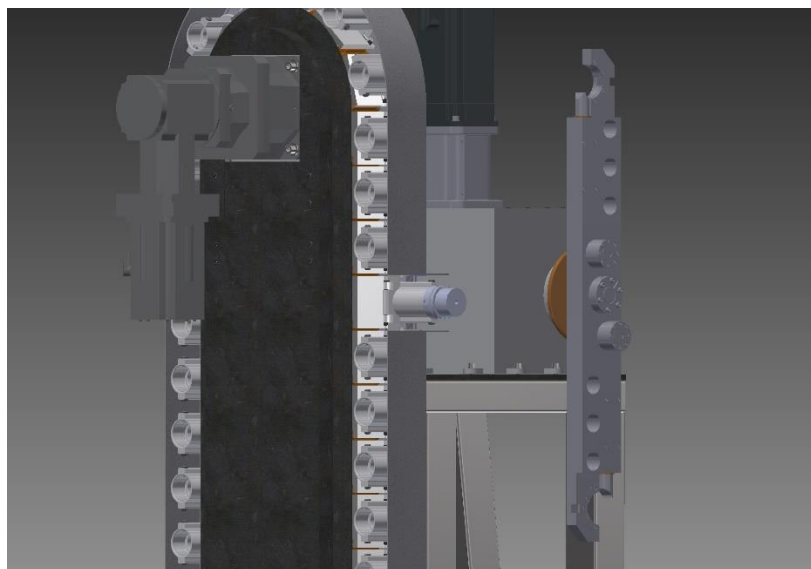
Navrhnutý systém je na Obr. 73). Lineárny motor (pozícia 7) pri zasúvaní ťahá C- profil (pozícia 3) vo vodiacich drážkach (pozícia 9). V drážkach je vedený pomocou lícovaných skrutiek (pozícia 4). Medzi profilom a vodiacou plochou sú vložené teflónové krúžky ktoré znižujú trenie. Pri plnom zasunutí lineárneho motora sa nástroj presunie do pozície pre výmenu. Na Obr. 74) je znázornená vyklopená nástrojová kapsa, čím sa nástroj dostal do polohy určenej na výmenu nástroja.



Obr. 73) Vyklápací systém nástrojové kapsy

Pozícia :

- 1) Nástroj
- 2) Nástrojová kapsa
- 3) Ocelový C profil 25 x 10 x 2,5mm
- 4) Lícovaná skrutka ISO7379 – 8 M6
- 5) Teflonová vložka
- 6) Čap ISO 2341 a 4x22
- 7) Lineárny pohon ACTUONIX P16 – P
- 8) Čap ISO 2341 a 4x22
- 9) Vodiace drážky



Obr. 74) Vyklopená nástrojová kapsa

Lineárny pohon ACTUONIX P16 Obr. 75) je vybavený spätnou väzbou. To zaručuje presné polohovanie. Pohon slúži na vyklápanie nástrojovej kapsy do polohy určenej k výmene nástroja.



Obr. 75) Lineárny pohon ACTUONIX P16 – P [30]

Parametre [30]:

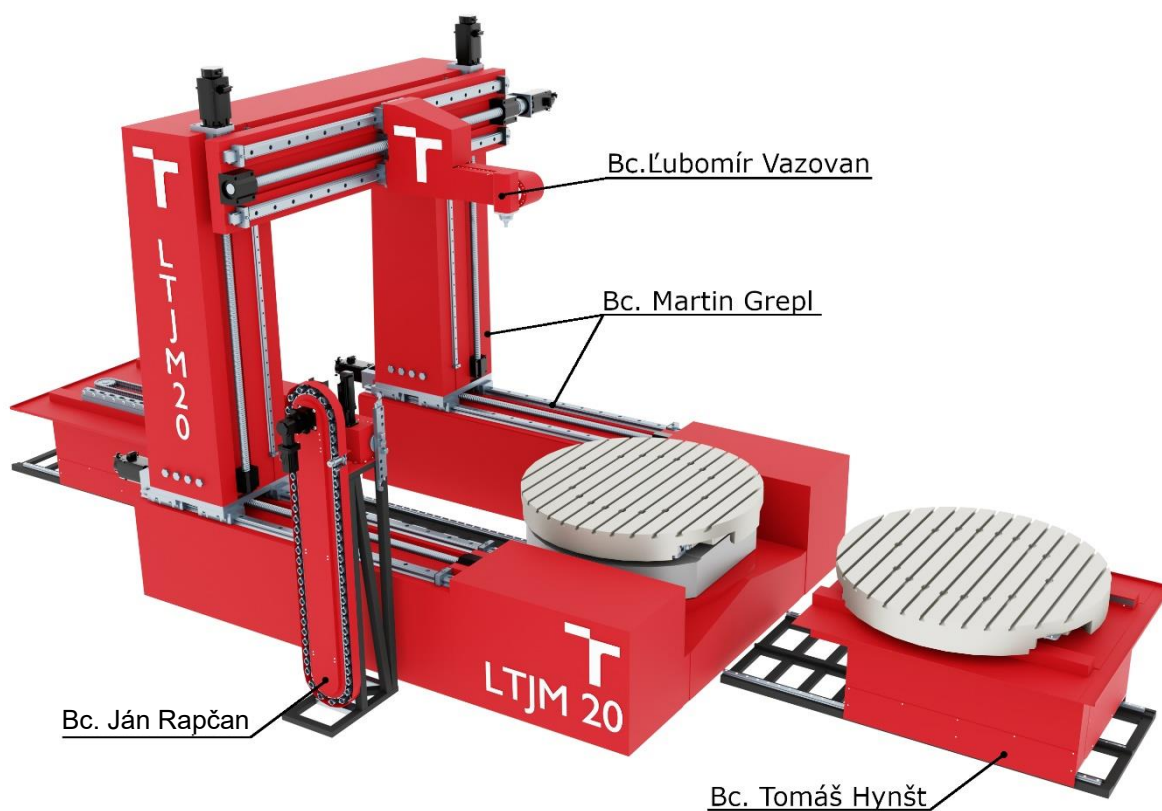
- | | |
|-------------------------|---|
| - Prevodový pomer | $i = 256$ |
| - Max. sila zdvihu | $F_z = 300 \text{ N}$ |
| - Max sila pri zasúvaní | $F = 500 \text{ N}$ |
| - Max rýchlosť | $v = 18 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| - Max zdvih | $h = 100 \text{ mm}$ |

11 ZHODNOTENIE A DISKUSIA

Navrhnutý systém automatickej výmeny nástrojov disponuje kapacitou 60 ks nástrojov s maximálnym priemerom 100 mm a dĺžkou nástrojov 400 mm. Je zostavený zo skladovacieho reťazového zásobníka a výmenníkom nástrojov. Skladovací reťazový zásobník je vybavený výklopnými nástrojovými kapsami.

Táto práca by sa dala rozšíriť o ďalšie zadanie diplomovej práce na návrh riadiaceho systému.

Výsledkom spoločného zadania diplomovej práce je návrh frézovacieho multifunkčného obrábacieho centra s vodorovnou osou vretena na Obr. 76). Na práci by sa dalo ďalej pokračovať v návrhu otočného stola, riadiaceho systému a všetkých elektrických častiach.



Obr. 76) Navrhnuté multifunkčné obrábacie centrum s vodorovnou osou vretena

12 ZÁVER

Prvá časť diplomovej práce je spoločná. V tejto časti sa venujeme rozdeleniu multifunkčných obrábacích centier, následnej analýze trhu s frézovacími multifunkčnými obrábacími centrami s vodorovnou osou vretena, návrhom a výberom kinematiky stroja, výpočtom rezných síl pôsobiacich na stroj pri obrábaní a stanovením výsledných parametrov. Na spoločnej časti som spolupracoval s Martinom Greplom, Tomášom Hynštom a Ľubomírom Vazovanom. Na základe analýzy trhu sme zvolili parametri stroja tak, aby sme zaplnili medzeru na trhu.

Druhá časť diplomovej práce je samostatná. V úvode tejto časti sa zaoberám automatickou výmenou nástrojov a jej základným rozdelením.

V praktickej časti som volil výmenník nástrojov z niekoľkých variant. Zvolil som netypickú variantu s tranzlačným pohybom pomocou pneumatického valca napriek tomu, že vo väčšine prípadov je tento pohyb riešený pomocou globoidných a priestorových vačiek.

Boli urobené všetky potrebné technické výpočty pre návrh pohonu, kontrolu šnekového súkolia a výpočet ložísk.

V chapadle nástrojov je umiestnená vložka, ktorá je negatívnym tvarom nástrojovej stopky HSK-63A. Výmenník je primárne navrhnutý pre tento typ nástrojovej stopky. Pre iný typ by musela byť výmenená vložka a upravený zdvih.

Zásobník nástrojov som vyberal s ohľadom na kapacitu, rozmery a zadanie diplomovej práce. Z viacerých navrhnutých variant som zvolil skladovací reťazový zásobník s kapacitou 60ks a s maximálnou hmotnosťou nástroja 8kg, priemerom 100mm a dĺžkou 400 mm. Priame vybratie nástroja s daným typom výmenníka nie je možné, preto sú nástrojové kapsy výklopné.

Pri dimenzovaní pohonu som sa postrelol s problémom nájsť vhodný pohon ktorý by vyhovoval nielen parametrami ale aj rozmermi. Kompaktné riešenie som našiel u firmy STOBBER, ktorá dodáva servomotory s planétovými prevodovkami ako celok.

Výsledné rozmery zásobníka spolu s výmenníkom sú (d x š x v) 980 x 730 x 3140 mm s hmotnosťou bez nástrojov 450kg, maximálna prípustná hmotnosť s nástrojmi 930kg.

13 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

Bibliografické citace dokumentu podle CSN ISO 690 a CSN ISO 690-2

- [1] MAREK, J. a kol. Konstrukce CNC obráběcích strojů. MM Speciál. Praha: MM publishing, s.r. o, 2010. 420 s. 2. upravené a doplněné vydání. ISBN: 978-80-254-7980-3.
- [2] MM-Průmyslové spektrum. Praha: Vogel Publishing, 1997. ISSN 1212-2572.
- [3] DMG MORI. Přehled technologie obrábění [online]. : , 2018 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://1url.cz/IMdtz>
- [4] Soustružnická centra [online]. Kovosvit MAS, 2018 [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <http://www.cnckonstrukce.cz/clanek-118/multifunkcni-obrabeci-centra-14043.html>
- [5] Boring and milling centers. In: Mrm-machinery [online]. Brno: MRM Machinery s.r.o., 2015 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://mrm-machinery.cz/wp-content/uploads/2017/03/PAMA_cat_SPEEDMAT-HP-2015-EN_OK.pdf
- [6] SORALUCE FMT multitasking milling turning centre. Soraluca [online]. Osintxu Auzoa: SORALUCE, 2019 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.soraluce.com/en/fmt-multitasking-milling-turning-centre>
- [7] Machines Our product ranges. Reiden [online]. Reiden: Reiden Technik AG, 2019 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.reiden.com/en/machines.html>
- [8] INTEGREGX e. In: MAZAK [online]. Florence: Mazak Corporation, 2019 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.mazakusa.com/machines/integrex-e-1250v-8s/>
- [9] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Vyd. 2., přeprac. A rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80254-7980-3.
- [10] KAREL, V. Studie inteligentní kapotáže odděluující komplexně stroj od okolí a monitorující interakce. Praha, 2010. Bakalářská práce. ČVUT FS.
- [11] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [12] DE VOS, Patrick. MM Průmyslové spektrum [online]. b.r. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-jak-je-to-s-reznymi-silami.html>
- [13] WALTER GPS 5.0 [online]. b.r. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://gps.walter-tools.com>
- [14] ČEP, PH.D., doc. Ing. Robert a Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, PH.D. TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ. Ostrava, 2013. VÝUKOVÝ MATERIÁL. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [15] KAREL, V. Studie inteligentní kapotáže odděluující komplexně stroj od okolí a monitorující interakce: Bakalářská práce. Praha: ČVUT, FS, šk.rok 2009/2010. 61, 4 p
- [16] BORSKÝ, V. Základy stavby obráběcích strojů. 2st ed. Brno: VUT Brno – FS, 1991. 214s. ISBN 80-214-0361-6
- [17] BORSKÝ, V. Obráběcí stroje. 1st ed. Brno: VUT Brno – FS, 1992. 216s. ISBN 80-214-0470-1
- [18] BORSKÝ, V. Jednoučelové stroje a víceúčelové obráběcí stroje II. 2st ed. Brno: VUT Brno – FS, 1992. 216s. ISBN 80-214-0175-3

- [19] Skj.cz [online]. 2019 [cit. 2019-04-18]. Upínače HSK. Dostupné z WWW:<http://www.zjp.cz/upload/File/HSK-A_69893%20A.pdf>.
- [20] TYČ, Ondřej. Automatická výměna nástrojů na obráběcím stroji. [s.l.], 2007. 38 s. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [21] ZBOŽÍNEK, A. Konstrukce multifunkčního obráběcího centra. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 86 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
- [22] rem-technik.cz [online]. 2019, 18.04.2019 [cit. 2019-04-17]. Vlnovcové spojky BKL Dostupné z WWW: <<https://www.rem-technik.cz/files/upload/64.pdf>>.
- [23] HUŇKA, Radek. Rešerše nástrojových upínacích rozhraní frézovacích strojů . [s.l.], 2010. 41s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [24] SHINGLEY E., Joseph; MISCHKE R., Charles; BUDYNAS G., Richard. Konstrukce strojních součástí. Brno : VUTIUM, 2010. 1159 s. ISBN 987-80-214-2629-0.
- [25] Matis.cz [online]. 2019 [cit. 2019-05-05]. Svěrná pouzdra. Dostupné z WWW: <<http://www.skf.com/files/515994.pdf>>.
- [26] Imi-precision [online]. Brno: IMI International, s.r.o., [cit. 2019-05-05]. Dostupné z WWW: <https://www.imi-precision.com/cz/cs/list/valce/iso_-vdma-valce>
- [27] RÜBIG SK, [online]. Prievidza: RÜBIG SK, k. s., [cit. 2019-05-15]. Dostupné z WWW: <https://www.rubig.com/fileadmin/user_upload/ST/Datenblaetter/Kettensysteme/Slowakisch/DBL_C-Kette_SK.pdf>
- [28] STOBER Headquarter, [online]. Nemecko: STOBER Headquarter GmbH + Co.KG , [cit. 2019-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://cad.stoeber.de/>>
- [29] SKF, [online]. Praha: SKF CZ, a.s. , [cit. 2019-05-15]. Dostupné z WWW: <<https://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/y-bearing-flanged-units/Y-brg-round-triang-flanged-units/index.html?designation=FYC%2030%20TF&unit=metricUnit>>
- [30] Actuonix, [online]. Canada: Actuonix motion devices Inc.. , [cit. 2019-05-15]. Dostupné z WWW: <<https://www.actuonix.com/P16-P-Linear-Actuator-p/p16-p.htm>>

14 ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK

14.1 Zoznam obrázkov

Obr. 1)	Základní rozdělení multifunkčních obráběcích strojů:.....	17
Obr. 2)	Rozdělení frézovacích multifunkčních center	18
Obr. 3)	Vlevo - vřeteno s koníkem proti sobě, vpravo - dvě vřetená proti sobě [4]	19
Obr. 4)	Speedmat HP/T od firmy PAMA [5].....	21
Obr. 5)	Speedmat VMT od firmy PAMA [5]	22
Obr. 6)	SORALUCE FMT 4000 [6]	23
Obr. 7)	SORALUCE FTM 4000 vřetenové hlavy [6].....	24
Obr. 8)	REIDEN RX 12 [7]	25
Obr. 9)	Schéma stroje řady INTEGREGX e-V a e-RAMTEC (upravené pozadí obrázku) [8].....	26
Obr. 10)	Detail pracovního prostoru stroje INTEGREGX e-RAMTEC [8]	26
Obr. 11)	Požadavky kladené na obrábací stroj [9]	29
Obr. 12)	Technické faktory které mají vplyv na konstrukci obráběcího stroja [10]	30
Obr. 13)	Vstupy a výstupy vo výrobnom stroji [10].....	30
Obr. 14)	Schéma obráběcího centra s popisem hlavních částí.....	32
Obr. 15)	Varianta 1 – Pohyblivý stojan s výsuvným vřeteníkem	34
Obr. 16)	Varianta 2 – Pevný stojan s příčnickem	35
Obr. 17)	Varianta 3 – S pevným stojanem a výsuvným vřeteníkem	36
Obr. 18)	Varianta 4 – Spodní gantry s vnějším příčnickem.....	37
Obr. 19)	Varianta 5 – Spodní gantry s vnitřní příčnickem.....	38
Obr. 20)	Výšečový graf s relativní váhou parametrů pro výběr kinematiky stroje.....	40
Obr. 21)	Rezné sily při frézování [11]	43
Obr. 22)	Rohové frézování - radiální síla	44
Obr. 23)	Rohové frézování - krútiaci moment	45
Obr. 24)	Rohové frézování - výkon	45
Obr. 25)	Čelné frézování - radiální síla	46
Obr. 26)	Čelné frézování - krútiaci moment	47
Obr. 27)	Čelné frézování - výkon	47
Obr. 28)	Rezné sily při sústružení [12].....	48
Obr. 29)	Teleso sústružnickeho nástoja [13].....	48
Obr. 30)	Podmienky pri sústružení	49
Obr. 31)	Rezné sily při vrtání [14].....	49
Obr. 32)	Teleso vrtáku od firmy WALTER [13].....	49
Obr. 33)	Vrtání – axiální síla	50
Obr. 34)	Vrtání – krútiaci moment	50
Obr. 35)	Vrtání – výkon	51
Obr. 36)	Automatickej výmeny nástrojov a jej typy [1].....	56
Obr. 37)	Rozdelenie automatickej výmeny nástrojov [1]	57
Obr. 38)	Rozdelenie revolverových hláv [1].....	57
Obr. 39)	Typy diskových revolverových hláv (Sauter) [1]	58
Obr. 40)	Patentované hviezdicové usporiadanie zásobníka nástrojov [1]	59
Obr. 41)	Reťazový zásobník s možnosťou zvýšenia kapacity (Averex) [1]	60
Obr. 42)	Výkonný pick-up zásobník stroja Robodrill (Fanuc) [1]	62
Obr. 43)	Funkcia vačkového výmenníka s otočným ramenom (Miksch) [1].....	63
Obr. 44)	Robotická výmena nástrojov (Cellro) [1].....	64
Obr. 45)	Druhy upínačov [23].....	65
Obr. 46)	Rozmery upínacieho kužela HSK – 63A podľa normy DIN 69893-A [19]	66

Obr. 47)	Fázy výmeny nástroja	67
Obr. 48)	Variety mechanizmu manipulátora	68
Obr. 49)	Graf s relatívnou váhou parametrov pre výber vhodnej variety	69
Obr. 50)	Výmenník nástrojov	70
Obr. 51)	Zjednodušená schéma	71
Obr. 52)	Spojka BKL S30 [22]	73
Obr. 53)	Schéma pôsobenia síl v podporách [24]	79
Obr. 54)	Dvojramenne chapadlo	81
Obr. 55)	Umiestnenie jednotlivých komponentov v ramene výmenníka	81
Obr. 56)	Vložka pre upnutie kužeľa HSK	82
Obr. 57)	Tvarový zámok	83
Obr. 58)	Dotyk čapu a príruby	83
Obr. 59)	Samostrediacie zverné puzdro [25]	84
Obr. 60)	Pneumatický svorníkový valec ISOLine [26]	84
Obr. 61)	Rez výmenníkom	85
Obr. 62)	Variety zásobníka nástrojov	87
Obr. 63)	Graf s relatívnou váhou parametrov pre výber vhodnej variety	89
Obr. 64)	Reťazový zásobník s kapacitou 60ks	91
Obr. 65)	Ewatova reťaz: REŤAZOVÝ SYSTÉM - SÉRIE „C“ [27]	92
Obr. 66)	PKX servo motor s planétovou prevodovkou [28]	93
Obr. 67)	Ložisková prírubová jednotka FYC 30 TF [29]	95
Obr. 68)	Uloženie komponentov	96
Obr. 69)	Konštrukcia nástrojovej kapsy	97
Obr. 70)	Prestavenie reťazového kolesa	98
Obr. 71)	Uloženie spodného reťazového kolesa	99
Obr. 72)	Rámová konštrukcia s krytovaním	100
Obr. 73)	Vyklápací systém nástrojovej kapsy	101
Obr. 74)	Vyklopená nástrojová kapsa	101
Obr. 75)	Lineárny pohon ACTUONIX P16 – P [30]	102
Obr. 76)	Navrhnuté multifunkčné obrábacie centrum s vodorovnou osou vretena	103

14.2 Zoznam tabuliek

Tab 1)	Tabulka parametrov typu stroje Speedmat HP1/T, HP2/T, HP3/T, HP5/T [5]	22
Tab 2)	Parametry stroje Speedmat VMT1/VMT2/VMT3 [5]	23
Tab 3)	Tabulka parametrov SORALUCE FTM 4000 [6]	24
Tab 4)	Parametry stroje REIDEN RX10, RX12 [7]	25
Tab 5)	MAZAK INTEGREGX eV [8]	27
Tab 6)	Srovnání maximálních parametrů analyzovaných strojů a navrhovaného stroji	33
Tab 7)	Tabulka parametrov pro výběr kinematiky stroje	39
Tab 8)	Porovnání parametrů mezi sebou výběr kinematiky stroje	39
Tab 9)	Určení váhy parametrů pro výběr kinematiky stroje	40
Tab 10)	Dosažení bodů parametrů pro jednotlivé navržené varianty kinematiky stroje	41
Tab 11)	Telesá nástroja na rohové frézovanie	44
Tab 12)	Telesá nástroja na čelné frézovanie	46
Tab 13)	Rezné parametre pri sústružení	48
Tab 14)	Telesá nástroja na vrtanie	50
Tab 15)	Ekvivalentná radiálna sila pre jednotlivé operácie	52
Tab 16)	Výsledná ekvivalentná radiálna sila	52
Tab 17)	Výsledná ekvivalentná axiálna sila	52
Tab 18)	Ekvivalentný krútiaci moment na vretene	53
Tab 19)	Výsledný ekvivalentný krútiaci moment na vretene	53

Tab 20)	Výsledný ekvivalentný krútiaci moment otočného stola	54
Tab 21)	Tabuľka parametrov pre výber vhodnej varianty výmenníka	68
Tab 22)	Porovnanie parametrov medzi sebou	69
Tab 23)	Určenie váhy jednotlivých parametrov	69
Tab 24)	Rozdelenie bodov medzi jednotlivé navrhované varianty	70
Tab 25)	Hodnoty potrebné pre výpočet motora	71
Tab 26)	Parametre	84
Tab 27)	Tabuľka parametrov pre výber vhodnej varianty výmenníka	88
Tab 28)	Porovnanie parametrov medzi sebou	89
Tab 29)	Určenie váhy jednotlivých parametrov	89
Tab 30)	Rozdelenie bodov medzi jednotlivé navrhované varianty	90

14.3 Zoznam skratiek a symbolov

Symbol veličiny	Význam skratky	Jednotka
μ_1	Poissonova konštanta pre oceľ	[-]
μ_2	Poissonova konštanta pre bronz	[-]
a	Roztečná vzdialenosť os	[mm]
a	Zrýchlenie	[m·s ⁻²]
AVN	Automatická výmena nástroja	
b_{e2}	Účinná šírka šnekového kola	[mm]
C, C ₉₀	Základná dynamická únosnosť	[-]
C _m	Súčiniteľ prevodového čísla	[-]
C _θ	Základná statická únosnosť	[-]
CNC	Číslicovo riadený počítačom	
C _s	Súčiniteľ materiálu	[-]
C _v	Súčiniteľ sklzovej rýchlosti	[-]
d ₂	Priemer roztečnej kružnice šnekového kola	[mm]
d _{a1}	Priemer hlavovej kružnice šneku	[mm]
d _{a2}	Priemer hlavovej kružnice šnekového kola	[mm]
d _{f1}	Priemer pätnjej kružnice šneku	[mm]
d _{f2}	Priemer pätnjej kružnice šnekového kola	[mm]
d _m	Element hmotnosti	[kg]
D _{max}	Maximálny priemer nástroja	[mm]
DP	Diplomová práca	
d _v	Element objemu	[m ³]
E ₁	Modul pružnosti pre oceľ	[MPa]
E ₂	Modul pružnosti pre bronz	[MPa]
E _k	Kinetická energia	[J]
E _{kRED}	Kinetická energia redukovaného členu	[J]
f	Súčiniteľ trenia	[-]

f_{12}	Súčiniteľ trenia medzi oceľou a bronzom	[-]
F_{a1}	Axiálna sila na šneku	[N]
F_{a2}	Axiálna sila na šnekovom kole	[N]
F_{aA}	Axiálna reakcia na radiálnu silu na ložisko A	[N]
F_{aB}	Axiálna reakcia na radiálnu silu na ložisko B	[N]
F_{r1}	Radiálna sila šneku	[N]
F_{r2}	Radiálna sila na šnekovom poly	[N]
F_{rA}	Radiálna sila v ložisku A	[N]
F_{rB}	Radiálna sila v ložisku B	[N]
F_{t1}	Obvodová sila na roztečnej kružnici šneku	[N]
F_{t2}	Obvodová sila na roztečnej kružnici šnekového kola	[N]
F_v	Výsledná sila v ose hriadeľa	[N]
i	Prevodový pomer	[-]
I	Moment zotrvačnosti	[kg·mm ²]
K_A	Súčiniteľ dynamických síl	[-]
K_{H12}	Súčiniteľ zaťaženia	[-]
$K_{H\alpha 12}$	Súčiniteľ rozdelenia zaťaženia spoluzbierajúcich párov zubov	[-]
$K_{H\beta 12}$	Pomocný koeficient pre výpočet súčiniteľa zaťaženia	[-]
k_m	Konštanta zahrňujúca odpory trenia	[-]
KOS	Konvenční obrábací stroj	
K_{v12}	Súčiniteľ vnútorných dynamických síl	[-]
K_w	Súčiniteľ dotyku šneku	[-]
K_ε	Súčiniteľ rozdelenia zaťaženia spoluzbierajúcich zubov	[-]
l	Vzdialenosť ložísk	[mm]
L_1	Dĺžka kužeľa HSK-63A	[mm]
L_{10A}	Trvanlivosť ložiska A	[hod]
L_h	Požadovaná trvanlivosť	[hod]
L_{max}	Maximálna dovolená dĺžka nástroja	[mm]
l_s	Dĺžka šneku	[mm]
M	Celková hmotnosť	[kg]
M	Osový modul šnekového súkolia	[-]
m	Hmotnosť	[kg]
M_h	Moment motoru	[Nm]

m_n	Normálový modul	[-]
M_{RED}	Redukovaný moment	[Nm]
n	Otáčky motora	[min ⁻¹]
n	Počet nástrojov	
n_1	Frekvencia otáčania šneku	[min ⁻¹]
n_{max}	Maximálny počet nástrojov	
OC	Obrábacie centrum	
OS	Obrábací stroj	
P_A	Dynamické radiálne ekvivalentné zaťaženie pre ložisko A	[N]
P_B	Dynamické radiálne ekvivalentné zaťaženie pre ložisko B	[N]
q	Súčiniteľ priemeru šneku	[-]
r	Polomer rotácie	[mm]
R_{yA}	Väzbová reakcia v ložisku A v rovine xy	[N]
R_{yB}	Väzbová reakcia v ložisku B v rovine xy	[N]
R_{zA}	Väzbová reakcia v ložisku a v rovine xz	[N]
R_{zB}	Väzbová reakcia v ložisku B v rovine xz	[N]
S_{H4}	Súčiniteľ bezpečnosti voči zadieraniu	[-]
S_{H4min}	Minimálny súčiniteľ bezpečnosti voči zadieraniu	[-]
T_1	Svorný moment od motoru	[Nm]
V	Objem	[m ³]
v_3	Rýchlosť hriadeľa 3	[m·s ⁻¹]
v_k	Sklzová rýchlosť na roztečnom valci šneku	[m·s ⁻¹]
VOC	Viacvretenové obrábacie centrum	
z_1	Počet chodov šnekov	[-]
z_2	Počet zubov šnekového kola	[-]
Z_{H12}	Súčiniteľ tvaru zubov	[-]
Z_{N12}	Súčiniteľ trvanlivosti pre dotyk	[-]
$Z_{\epsilon 12}$	Súčiniteľ diaľky stykových čiar zubov	[-]
$Z_{\epsilon 13}$	Súčiniteľ diaľky stykových čiar zubov	[-]
α	Uhlové zrýchlenie	[rad·s ⁻²]
α_n	Uhol šnekového súkolia	[°]
γ	Roztečný uhol stúpania skrutkovice	[°]
δA	Zmena práce	[J]
δA_{RED}	Zmena práce redukovaného členu	[J]

$\delta\varphi_1$	Zmena natočenia uhlu 1	[rad]
$\delta\varphi_2$	Zmena natočenia uhlu 2	[rad]
$\delta\varphi_3$	Zmena natočenia uhlu 3	[rad]
$\varepsilon_{\alpha 12}$	Súčiniteľ trvania záberu profilu	[-]
η	Účinnosť šnekového kola	[-]
θ	Súčiniteľ deformácie šneku	[-]
K	Koeficient pre silno premenné zaťaženie	[-]
ρ	Hustota	[kg·mm ⁻³]
σ_{H12}	Napätie v dotyku u šnekového súkolia	[MPa]
σ_{H2}	Únavová pevnosť materiálu v dotyku	[MPa]
φ_1	Uhlové natočenie uzlu 1	[rad]
ω	Uhlová rýchlosť	[rad·s ⁻¹]

15 ZOZNAM PRÍLOH

Výkresová dokumentácie:

- Zostava:
 - ZÁSOBNÍK DP 01 00 1/2
 - VÝMENNÍK DP 01 00 2/2
- Výrobný výkres:
 - RAMENO DP 03 01
 - HRIADEL DP 03 02
 - UNÁŠAČ DP 03 03
 - DOSKA DP 03 04
 - PUZDRO DP 04 05

