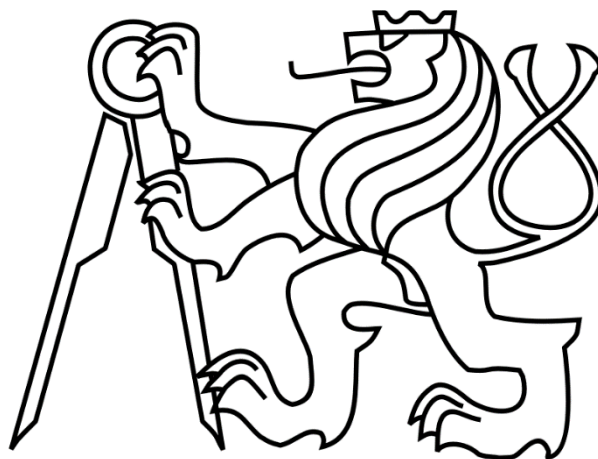


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Bakalářská práce

**Konstrukce univerzálního nuceně otevíraného ramene manipulátoru
nástrojů s rozhraním ISO50 / HSK100 / HSK63**

2018

Alexander Skorobogatov

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Skorobogatov** Jméno: **Alexander** Osobní číslo: **438300**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Konstrukce univerzálního nuceně otevíraného ramene manipulátoru nástrojů s rozhraním ISO50 / HSK100 / HSK63.

Název bakalářské práce anglicky:

Construction of a Universal Forced Arm of Tool Manipulator with Interface ISO50 / HSK100 / HSK63

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Návrh konstrukce univerzálního ramene manipulátoru nástrojů nuceně otevírané pro nástroje ISO50 / HSK100 / HSK63 včetně základních návrhových a kontrolních výpočtů.; Osnova práce: 1. Analýza řešení AVN, návrhy možných variant, 2. Volba řešení, návrhové a kontrolní výpočty, 3. Konstrukční zpracování zvolené varianty; Rozsah grafické části: Výkresy sestavy s kusovníky a vybrané výrobní výkresy; Rozsah textové části: 40 - 60 stran;

Seznam doporučené literatury:

HOUŠA, Jaromír a Bedřich RUDOLF. Výrobní stroje. 3. přeprac. vyd. Praha: ČVUT, 1993. ISBN 80-01-00993-9.; Firemní literatura a katalogy

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Petr Kolář, Ph.D., ústav výrobních strojů a zařízení FS

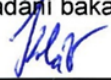
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


Josef Proch, TOS VARNSDORF

Datum zadání bakalářské práce: **23.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13.07.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2018**


Ing. Petr Kolář, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce



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


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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

30.4.2018
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

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

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

V Praze dne

.....

podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Petru Kolářovi, Ph.D. za vedení, cenné poznámky, podněty a trpělivost. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům TOS VARNSDORF panu Josefu Prochovi za přínosné konzultace a panu Ing. Jindřichu Kocmanovi za podnětné připomínky k výkresové dokumentaci BP.

Anotace

Autor:	Alexander Skorobogatov
Název BP:	Konstrukce univerzálního nuceně otevíraného ramene manipulátoru nástrojů s rozhraním ISO50 / HSK100 / HSK63
Rozsah práce:	73 str., 59 obr., 12 tab.
Akademický rok vyhotovení:	2017/2018
Škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Petr Kolář, Ph.D.
Konzultant:	Josef Proch, TOS VARNSDORF
Zadavatel:	TOS VARNSDORF
Využití:	Automatická výměna nástrojů s rozhraním ISO50 / HSK100 / HSK63 univerzálním ramenem manipulátoru
Klíčová slova:	automatická výměna nástrojů, AVN, ISO50, HSK100, HSK63, otočné rameno, manipulátor
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá návrhem univerzálního otočného ramene manipulátoru systému AVN s nástrojovým rozhraním ISO50, HSK100 a HSK63 pro obráběcí stroje TOS VARNSDORF. Byla provedená analýza existujících řešení AVN a bylo navrženo 4 varianty možných konstrukčních řešení dle požadavků zadavatele BP. Jedna z variant byla detailně rozpracovaná včetně výkresů sestavy a vybraných dílů.

Annotation

Author:	Alexander Skorobogatov
Title of bachelor dissertation:	Construction of a Universal Forced Arm of Tool Manipulator with Interface ISO50 / HSK100 / HSK63
Extent:	73 p., 59 fig., 12 tab.
Academic year:	2017/2018
University:	CTU In Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135 – Department of Production Machines and Equipment
Supervisor:	Ing. Petr Kolář, Ph.D.
Consultant:	Josef Proch, TOS VARNSDORF
Submitter of the Theme:	TOS VARNSDORF
Application:	Automatic tool change with interface ISO50 / HSK100 / HSK63 by universal manipulator arm
Key words:	automatic tool change, ATC, ISO50, HSK100, HSK63, tool changer arm, manipulator
Annotation:	The bachelor thesis deals with the design of the universal arm of the ATC system manipulator with ISO50, HSK100 and HSK63 tool holders interface for TOS VARNSDORF machines. An analysis of existing ATC solutions was carried out and 4 variants of possible design solutions were proposed according to the requirements of the BT sponsor. One variant has been elaborated in detail, and there were assembly drawings and drawings of selected parts.



Obsah

Použité veličiny a jednotky	9
1. Úvod.....	11
2. Cíle práce	12
3. Přehled současných řešení.....	13
3.1. Automatická výměna nástrojů	13
3.2. Základní prvky systémů AVN.....	13
3.3. Zásobníky	14
3.3.1. Nosné zásobníky	14
3.3.2. Skladovací zásobníky.....	15
Nepohyblivé zásobníky.....	16
Pohyblivé zásobníky	17
3.4. Výměna nástrojů	19
3.4.1. Výměna u nosných zásobníků	19
3.4.2. Výměna u skladovacích zásobníků	20
Přímá výměna (PICK – UP).....	20
Nepřímá výměna	21
3.5. Manipulátor s otočným ramenem.....	22
3.5.1. Zasekávací typ	22
3.5.2. Napichovací typ.....	24
Jedna pohyblivá čelist.....	25
Dvě pohyblivé čelisti	26
3.6. Univerzální výměník nástrojů	27
4. Vlastní návrh a volba řešení	29
4.1. Výchozí parametry pro návrh.....	29
4.1.1. Shrnutí možných variant řešení	29
4.1.2. Rozměry nástrojových držáků	30
4.1.3. Rozměry a požadavky na otočné rameno	31
4.1.4. Síla pro uchopení nástroje.....	32
4.2. Navrhovaná řešení.....	34
Varianta 1, paralelní chapadlo	34
Varianta 2, krokový motor a pohyb čelistí přes pákový mechanismus	35
Varianta 3, pneumatický motor a pohyb čelistí přes pákový mechanismus	36
Varianta 4, pneumatický válec	37
Porovnání navržených variant.....	38
4.3. Volba řešení.....	39
5. Popis finálního konstrukčního řešení	40



6. Návrhové a kontrolní výpočty	44
6.1. Kontrola upínací síly	45
6.1.1. Návrhový výpočet tuhosti pružiny.....	45
6.1.2. Volba pružiny	46
6.1.3. Kontrola upínací síly čelistí.....	47
6.1.4. Výpočet síly pneumatického válce.....	48
6.1.5. Volba pneumatického válce.....	50
6.2. Kontrola tlaku v posuvném vedení.....	51
6.3. Kontrola čepu tlačný kámen-táhlo	52
6.3.1. Kontrola na smyk a tlak	52
6.3.2. Výpočet trvanlivosti kluzného pouzdra PCMF 182017 E	53
6.4. Kontrola čepu táhlo-čelist	57
6.4.1. Kontrola na smyk a tlak.....	57
6.4.2. Výpočet trvanlivosti kluzného pouzdra PCM 161820 E	58
6.5. Kontrola čepu čelist-rameno	60
6.5.1. Kontrola na smyk a tlak.....	60
6.5.2. Výpočet trvanlivosti kluzného pouzdra PCM 202320 E	62
6.6. Výpočet nakroucení a ohybu otočného ramene	64
6.6.1. Nakroucení ramene	65
6.6.2. Ohyb ramene	67
7. Závěr	68
Seznamy	69
Seznam použitých zdrojů	69
Seznam tabulek	72
Seznam obrázků	72
Seznam příloh.....	73
Elektronické (na CD)	73
Výkresová dokumentace	73



Použité veličiny a jednotky

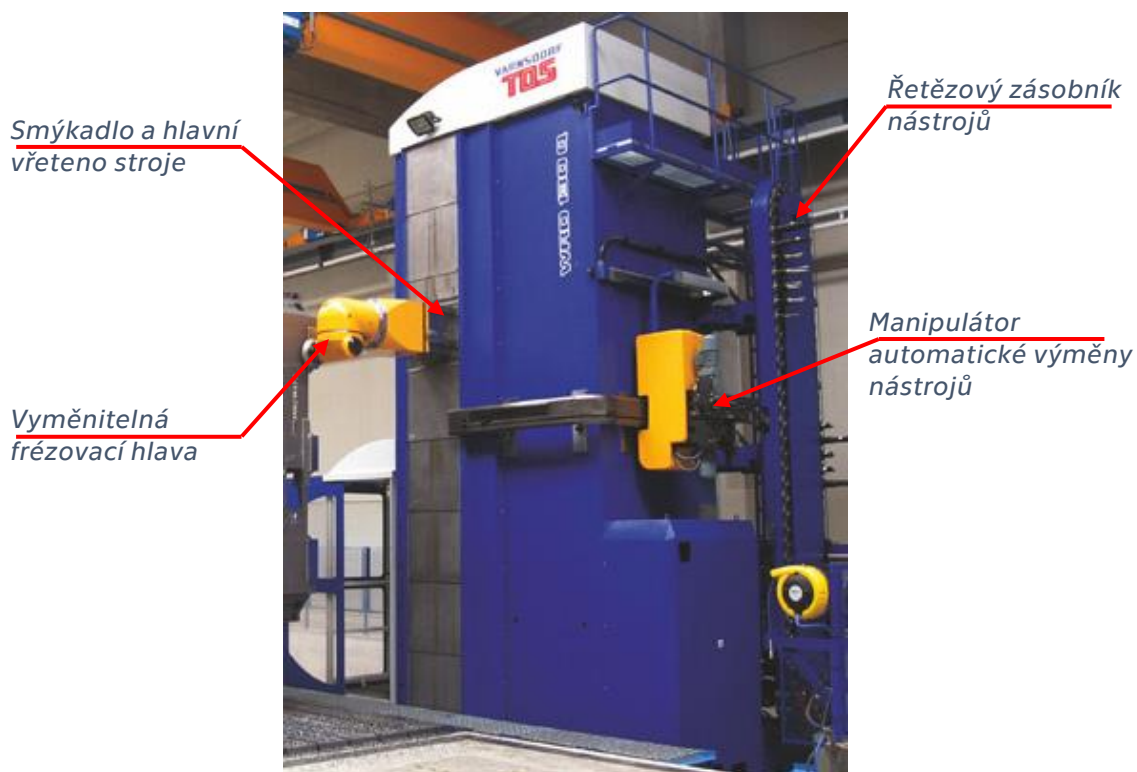
Veličina	Jednotka	Název
A	$[mm^2]$	plocha
c	[1]	součinitel pro výpočet kvadratického momentu v krutu
C	$[kN]$	základní dynamická únosnost kluzného pouzdra
C_i	[1]	koeficienty pro výpočet trvanlivosti kluzného pouzdra
C_0	$[kN]$	základní statická únosnost kluzného pouzdra
D_N	$[N]$	normálová setrvačná síla
D_T	$[N]$	tečná setrvačná síla
E	$[N/mm^2]$	modul pružnosti v tahu
F	$[N]$	síla
$F_{\check{c}}$	$[N]$	síla čelisti
F_d	$[N]$	síla na čep čelisti při otevření
F_o	$[N]$	síla pneumatického válce
F_p	$[N]$	síla pružiny
F_s	$[N]$	síla na čep čelisti při uchopeném nástroji
F_t	$[N]$	osová síla v táhle
F_{ts}	$[N]$	svislá složka osové síly v tahle
g	$[m/s^2]$	tíhové zrychlení
G	$[N/mm^2]$	modul pružnosti ve smyku
G_f	$[Mil. cyklů]$	trvanlivost kluzného pouzdra
G_h	$[hod]$	základní trvanlivost kluzného pouzdra
J_k	$[mm^4]$	kvadratický moment v krutu
J_z	$[mm^4]$	kvadratický moment v ohybu
K	$[N/mm^2]$	součinitel měrného dynamického zatížení kluzného pouzdra
K_m	[1]	součinitel závislý na materiálu kluzného pouzdra
m	$[kg]$	hmotnost nástroje



m^i	[1]	parameter pro výpočet kvadratického momentu v krutu
M_k	[N. mm]	krouticí moment
M_o	[N. mm]	ohybový moment
n	[ot/min]	otáčky
n'	[1]	exponent závislý na materiálu kluzného pouzdra
p	[MPa]	tlak
p	[N/mm ²]	měrné zatížení kluzného pouzdra
R	[N. mm]	konstanta tuhosti pružiny
t	[s]	čas
v	[m/s]	střední kluzná rychlost
α	[rad/s ²]	uhlové zrychlení
ω	[rad/s]	uhlová rychlost
τ	[N/mm ²]	smykové napětí
β, φ, γ	[rad], [°]	úhel

1. Úvod

Bakalářská práce se věnuje konstrukčnímu návrhu univerzálního otočného ramene manipulátoru pro automatickou výměnu nástrojů se třemi různými nástrojovými rozhraními ISO50 a HSK100, HSK 63. Zadavatelem práce je firma TOS VARNSDORF, která se zabývá vývojem a výrobou horizontálních vyvrtávacích strojů, jedno z možných provedení stroje TOS VARNSDORF je znázorněno na Obr. 1.



Obr. 1: Vyvrtávačka desková WRD 130/150 (Q) [5]

Podle požadavků zákazníků mohou být stroje TOS VARNSDORF vybavené vyměnitelnými víceosými frézovacími hlavami s nástrojovým rozhraním ISO50, HSK100 nebo HSK63, zatímco hlavní vřeteno stroje má kuželovou dutinu pro nástroje s rozhraním ISO50. Stávající manipulátor automatické výměny nástrojů umožňuje výměnu nástrojů s jedním nástrojovým rozhraním ze třech možných, nové otočné rameno manipulátoru by mělo tento nedostatek odstranit.

2. Cíle práce

Cíle této bakalářské práce jsou následující:

- Analýza existujících řešení automatické výměny nástrojů včetně univerzálních řešení
- Návrh několika variant možných řešení konstrukce ramene podle následujících požadavků zadavatele BP:
 - výměna nástrojů s držáky ISO50 / HSK100/HSK63
 - zachování vzdálenosti osy nástroje od osy rotace ramene pro uvedená nástrojová rozhraní
 - nucené otevírání ramene aktuátorem
 - pneumatický nebo elektrický aktuátor
 - zachování připojovacích rozměrů pro montáž ramene na existující manipulátor
- Volba řešení, návrhové a kontrolní výpočty
- Konstrukční zpracování:
 - Výkres sestavy s kusovníkem
 - Výkresy vybraných dílů

Údaje pro konstrukční návrh od zadavatele BP:

- Rotační osově vyvážený nástroj
- Hmotnost nástroje – 25 kg (těžiště v polovině délky)
- Délka nástroje maximálně – 500 mm
- Průměr nástroje maximálně – 320 mm
- Čas přetočení ramene o 180° – 2 s
- Vzdálenost osa nástroje – osa rotace ramene – 420 mm.

3. Přehled současných řešení

3.1. Automatická výměna nástrojů

Automatická výměna nástrojů (dále AVN) se zajišťuje skupinou uzlů pro odkládání, polohování a upnutí nástrojových jednotek bez zásahu lidské obsluhy stroje. U moderních obráběcích center AVN je nezbytným doplňkem pro zajištění nepřetržitého a plynulého provozu stroje. [2]

Hlavními účely AVN jsou:

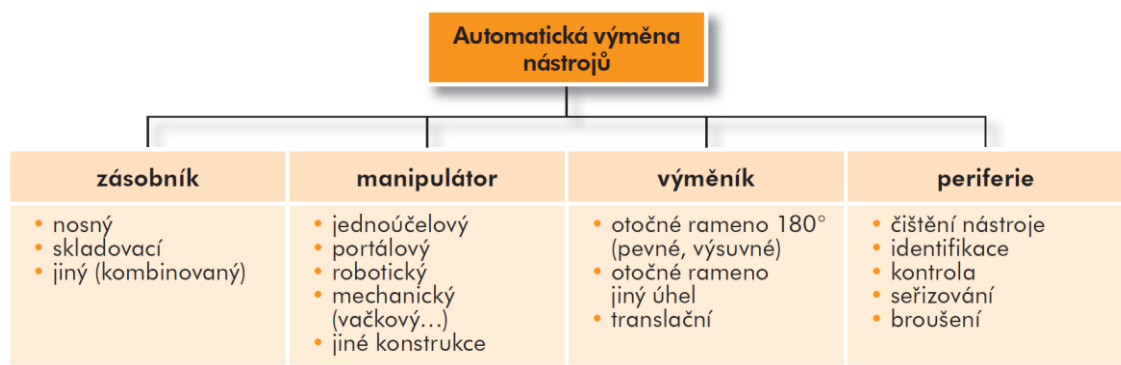
- Vyloučení chyby obsluhy stroje při výměně nástroje
- Zkrácení vedlejších strojních časů
- Možnost bezobslužného provozu stroje

Výměna nástrojů se realizuje v případech: buď se vyměňuje opotřebovaný nástroj za nový, nebo si jiný nástroj vyžaduje pořadí technologických operací obrábění. V obou případech AVN výrazně zkracuje vedlejší strojní časy, poněvadž četnost výměn nástrojů je mnohem větší než například četnost výměn obrobků. Zvlášť je to v kombinacích víceosých obráběcích center a velký obrobek, kde se obrobek vyměňuje jednou za několik hodin, ale při jeho obrábění se používá několik desítek obráběcích (často i měřících) nástrojů. [2] [3]

3.2. Základní prvky systémů AVN

AVN je těsně spjata s velikostí, typem stroje a základním principem obrábění – hlavní řezný pohyb koná nástroj nebo obrobek. Od toho se odvíjí různá konstrukční řešení zařízení, která nástroj vyměňuje, počet a velikost nástrojů, umístění a typ zásobníku nástrojů, periferie. [2]

Systémy AVN se skládají ze zásobníku nástrojů, manipulátoru, výměníku a periferie pro pomocné operace. Toto složení je znázorněno na Obr. 2.



Obr. 2: Morfologie automatické výměny nástrojů [2]

Dá se říct, že se ustálilo použití určitých řešení AVN pro určité typy obráběcích strojů. Například systémy s nosným zásobníkem jsou více používané u soustružnických obráběcích strojů, zatímco různé kombinace skladovacích zásobníků a výměníků nástrojů se více používají u frézovacích obráběcích center. [3]

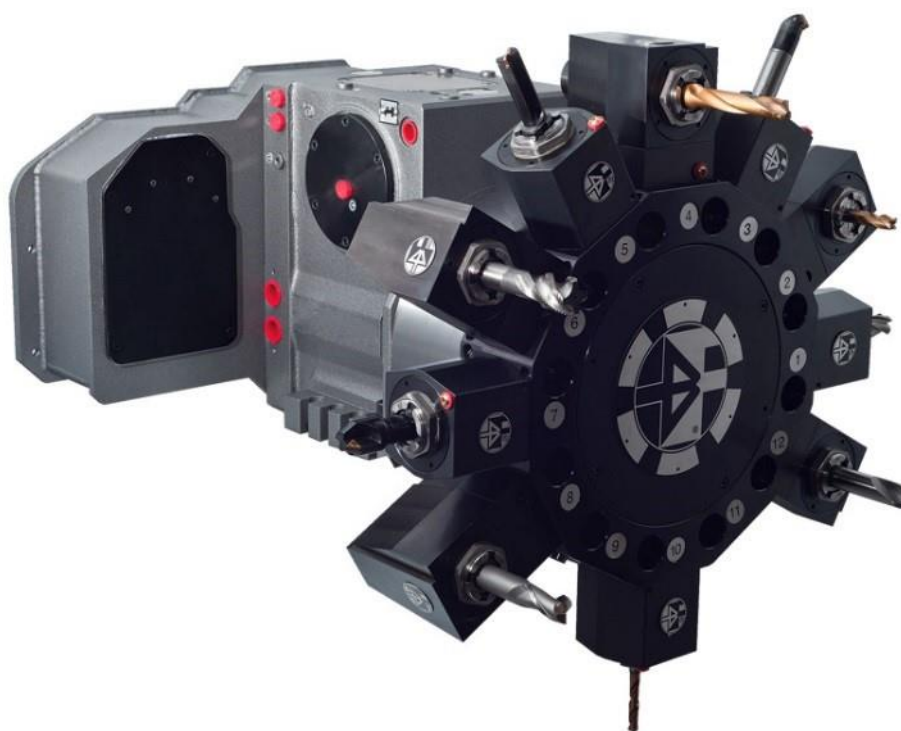
3.3. Zásobníky

Konstrukční řešení zásobníku je ovlivněno typem stroje, pro který se zásobník navrhuje, typem nástroje (nástroj pro frézovací nebo soustružnické operace), způsobem upínání nástroje ve stroji, v neposlední řadě i počtem a hmotností nástrojů. Základní rozdělení zásobníků je podle přenášených sil od nástroje. [2]

3.3.1. Nosné zásobníky

Nosné zásobníky nástrojů přenášejí do rámu stroje všechny síly působící na nástroj během procesu obrábění i mimo něho. Častěji se používají u soustružnických obráběcích strojů a jsou uloženy na rámu stroje. Přenášení rezných sil klade vysoké požadavky na tuhost nosného zásobníku a jeho uložení na rámu. [2]

Typickým případem nosného zásobníku je revolverová hlava. Nástroje se upínají rovnoběžně nebo kolmo na osu otáčení revolverové hlavy a můžou být nepoháněné a pohaněné. Jedno z možných provedení revolverové hlavy je znázorněno na Obr. 3.



Obr. 3: Revolverová hlava s poháněnými nástroji, Dífak s.r.o. [6]

Dalším případem nosného zásobníku je nástrojová lišta. Typický se používá ve dlouhotočných automatech. Existují provedení nástrojových lišt pohyblivá a nepohyblivá. Na Obr. 4 je znázorněno provedení pohyblivé nástrojové lišty s nástroji pro soustružnické operace a několika poháněnými nástroji.



Obr. 4: Nástrojová lišta dlouhotočného automatu MANURHIN K'MX 413 [7]

Zvláštní případ nosného zásobníku je upevnění nástroje přímo na rám obráběcího stroje. [2]

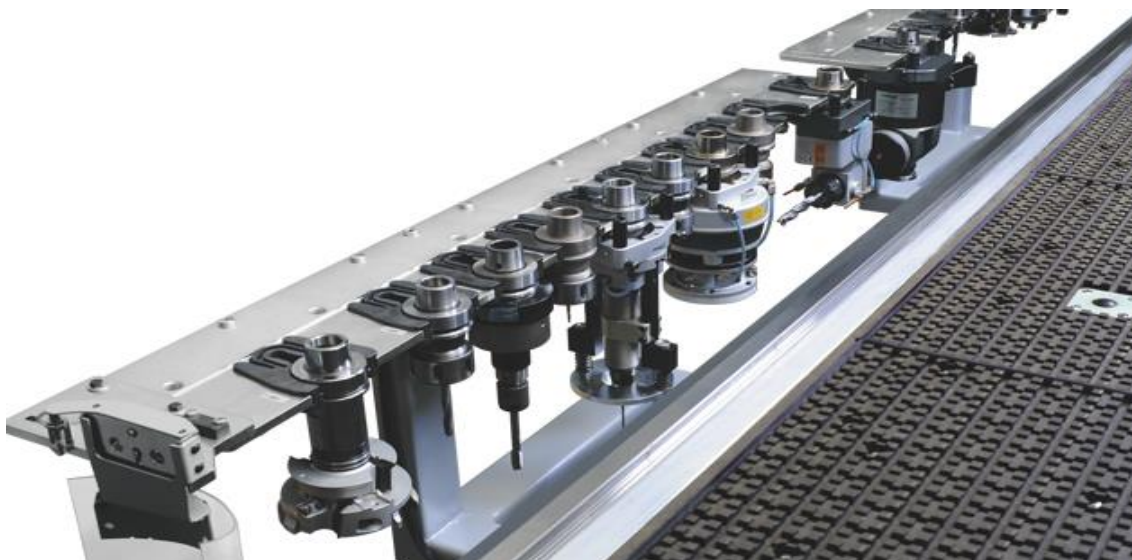
3.3.2. Skladovací zásobníky

Zásobníky skladovací nepřenášejí řezné síly a slouží pouze ke skladování nástrojů. Tento typ se častěji používá u frézovacích obráběcích strojů. Úkolem skladovacích zásobníků je bezpečné uložení nástrojových jednotek v blízkosti pracovního prostoru stroje, proto se menší zásobníky často ukládají na rám stroje a větší zásobníky na zvláštní základně vedle stroje. Ve větších automatických výrobních soustavách vedle stroje se umísťuje menší skladovací zásobník (mezizásobník), který se propojuje s centrálním velkokapacitním zásobníkem. Skladovací zásobníky se nejčastěji dělí na pohyblivé a nepohyblivé. [2] [3]

Nepohyblivé zásobníky

Do skupiny nepohyblivých zásobníků patří jak menší lineární zásobníky pro jednotky nástrojů, tak i velké regálové zásobníky pro stovky nástrojů různé velikosti. [2]

Lineární zásobníky mají jednoduchou konstrukci a umísťují se do pracovního prostoru stroje, jedno z možných provedení je na Obr. 5.



Obr. 5: Lineární zásobník stroje Felder profit H10 [8]

Větší regálové zásobníky se častěji používají jako centrální zásobníky pro několik obráběcích strojů (Obr. 6). Počet skladovaných nástrojů a jejich velikost jsou z velké části omezené jen únosností konstrukce zásobníku. [3]



Obr. 6: Zásobník nástrojů PAMA SPA [9]

Pohyblivé zásobníky

Pohyblivé zásobníky představují širokou škálu konstrukčních řešení skladování nástrojů. Jejich umístění je možné jak na rámu obráběcího stroje, tak i odděleně v závislosti na rozměrech zásobníků a velikostí nástrojů i orientací osy nástrojů. V pohyblivých zásobnicích skladované nástroje mění svoji polohu a podle toho by se dalo rozdělit tento typ zásobníků na zásobníky s kruhovým a obecným pohybem nástrojů. [3]

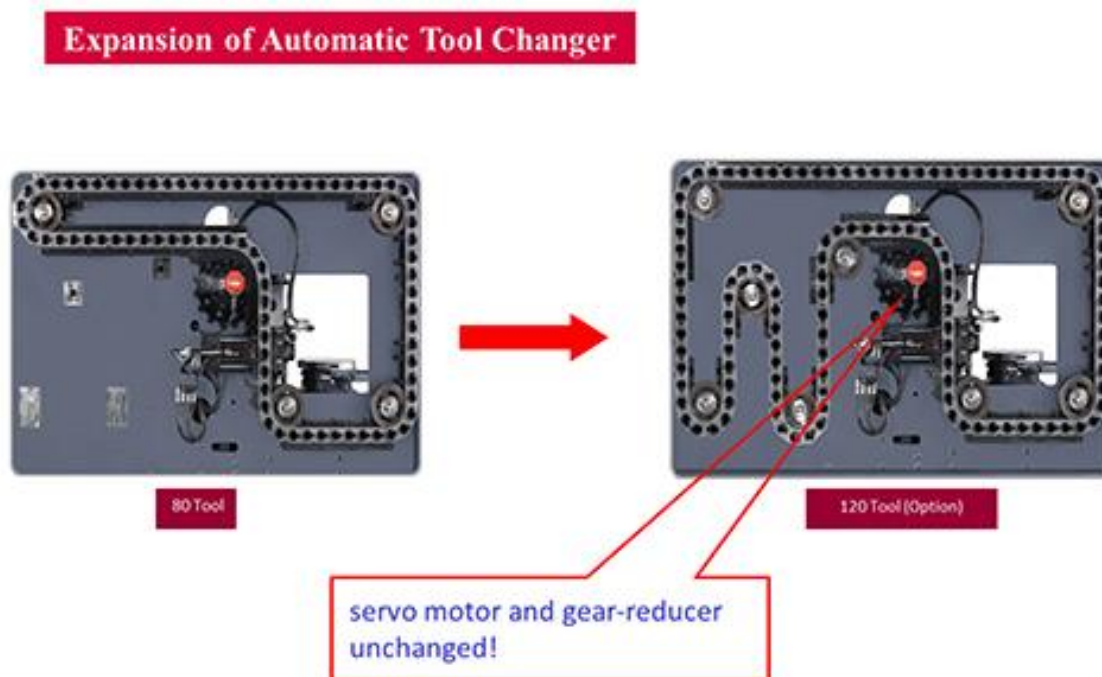
Pohyblivé zásobníky s kruhovým pohybem obvyklé mají kapacitu do 30 nástrojů. Typické konstrukce se odvíjí od umístění osy nástroje vůči ose rotace zásobníku, s tím souvisí i jejich názvy – bubnové, kotoučové, hvězdicové atd. [3] Na Obr. 7 je jedno z možných provedení pohyblivého zásobníku.



Obr. 7: Bubnový zásobník ATC 2450 ZAMAQ Tech s.r.o. [10]

Typickými představiteli skupiny pohyblivých zásobníků, kde nástroj vykonává obecný pohyb, jsou zásobníky řetězové. Konstrukční řešení řetězových zásobníků umožňuje docílit větších kapacit při zachování menších rozměrů. [3]

Dá se setkat se stavebnicovou konstrukcí řetězových zásobníku (Obr. 8) umožňující snadné navýšování kapacity a přidávání různé periferie. [2]



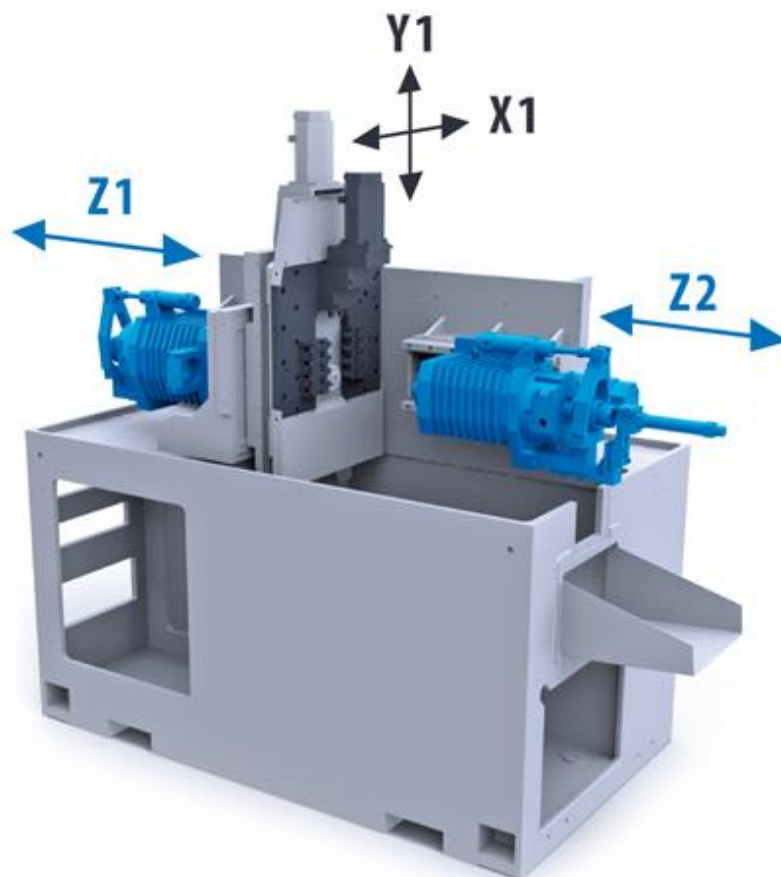
Obr. 8: Navýšení kapacity řetězového zásobníku Averex [11]

3.4. Výměna nástrojů

3.4.1. Výměna u nosných zásobníků

AVN při použití nosného zásobníku obvykle probíhá posunutím nebo pootočením celého zásobníku do pracovní polohy, výjimkou je případ upevnění nástrojů na rámu stroje, při kterém se výměna uskuteční posunutím obrobku k požadovanému nástroji. [2] [3]

Revolverové hlavy mají několik pevných poloh, odpovídajících počtu míst pro upevnění nástroje. Během záběru nástroje je revolverová hlava zafixovaná a neotáčí se. Pro výměnu nástroje se revolverová hlava musí přemístit od obrobku na dostatečnou vzdálenost, aby při výměně (otáčení revolverové hlavy) nešlo ke kolizi nástrojů a obrobku nebo dalšími částmi stroje. Zatímco nástrojová lišta obvykle s nástroji pohybuje i během záběru. V některých případech může dojít k současnému záběru několika nástrojů a plynule výměně nástrojů během obrábění. [2] [3] Na Obr. 9 je znázorněno provedení dlouhotočného automatu s nástrojovou lištou pohybující se ve dvou osách.



Obr. 9: Kinematické schéma dlouhotočného automatu MANURHIN K'MX 413 [12]

3.4.2. Výměna u skladovacích zásobníků

Výměna u skladovacích zásobníků se dá rozdělit na dva odlišné případy. Pokud se nevyužívají pomocné mechanismy a stroj je schopen samostatně odložit použitý nástroj do zásobníku a upnout nový, jedná se o výměnu přímou. Pokud výměna se uskuteční pomocným zařízením (manipulátor, výměník), jedná se o výměnu nepřímou.

Dalším rozdílem ve výměně u pohyblivých a nepohyblivých skladovacích zásobníků je to, že v nepohyblivém zásobníku je každé místo zároveň místem výměny nástroje (výdejní místo), ale v pohyblivém zásobníku existuje jedno určité výdejní místo, ve kterém se výměna uskutečňuje. Nástroj se na výdejní místo dostane pohybem celého zásobníku nebo jeho částí. [2] [3]

Přímá výměna (PICK – UP)

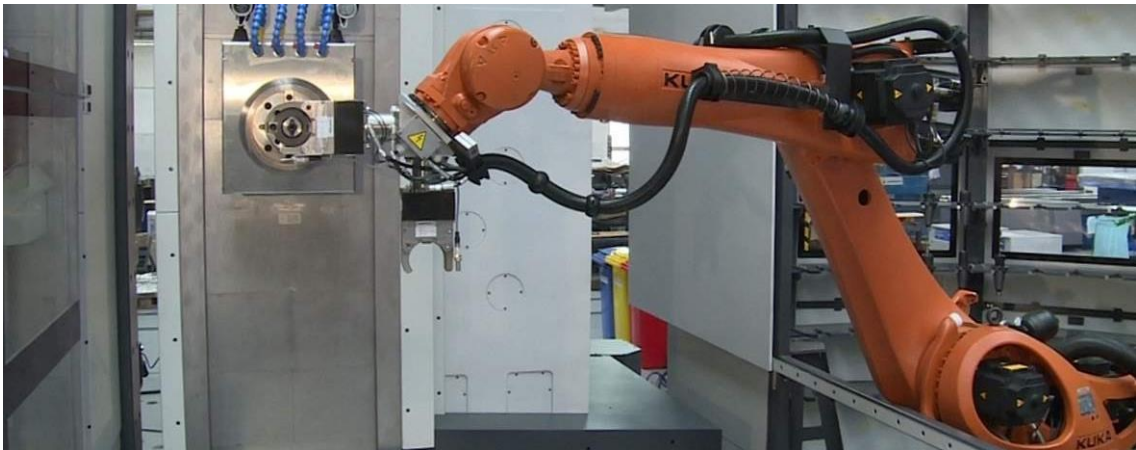
Přímé odebrání nástroje ze zásobníku je nejjednodušším způsobem výměny nástrojů. Používá se pro téměř všechny konstrukce skladovacích zásobníků za podmínky rozmístění celého zásobníku nebo jeho výdejního místa v pracovním rozsahu obráběcího stroje. Přímá výměna není rychlá, poněvadž vřeteník frézovacího stroje po odložení použitého nástroje buď přejíždí mezi úložnými místy nástrojů pro upnutí nového (případ nepohyblivého zásobníku), nebo čeká na připravení nového nástroje na výdejním místě (případ pohyblivého zásobníku). [2] Případ PICK – UP výměny z řetězového skladovacího zásobníku je znázorněn na Obr. 10.



Obr. 10: AVN pro portálová frézovací centra Mattec [13]

Nepřímá výměna

Pro nepřímou výměnu nástroje se používají pomocná zařízení, která přemísťují nástroje mezi zásobníkem a pracovním prostorem stroje. Konstrukce manipulátorů (výměníků) závisí na velikosti zásobníku a jeho umístění vůči obráběcímu stroji. Manipulátory (spolu se zásobníkem) se často dodávají jako konstrukční uzly, připravené k montáži na stroj. Pro velkokapacitní centrální skladovací zásobníky se používají jak velké portálové manipulátory, tak i univerzálními antropomorfní roboty Obr. 11. [3]



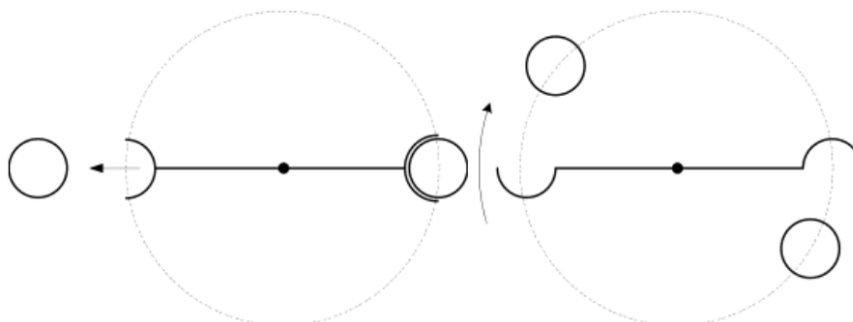
Obr. 11: Řešení AVN Fermat – Kuka s použitím univerzálního robotu [14]

Nejrozšířenějším typem manipulátoru jsou manipulátory s otočným ramenem, používají se v kombinaci s pohyblivým zásobníkem. Existuje několik provedení s různými úhly přetočení ramene, ale v převážně většině případů se jedná o přímé symetrické rameno s přetočením o 180° v ose rovnoběžné osy vyměňovaného nástroje. [2] [3]

Tento typ manipulátorů bude podrobněji rozebrán v následující kapitole.

3.5. Manipulátor s otočným ramenem

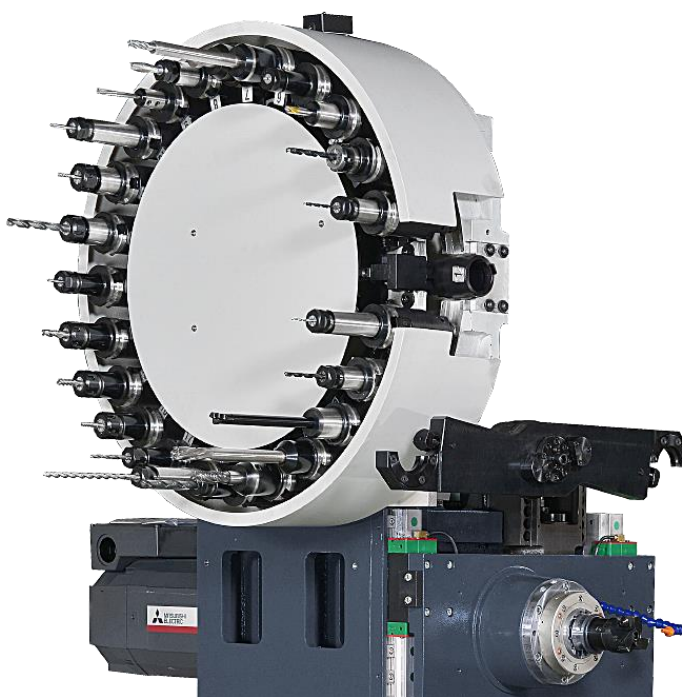
Manipulátor s otočným ramenem je jednoúčelové zařízení sloužící k AVN v kombinaci s pohyblivým skladovacím zásobníkem. Většinou se umísťuje pevně nebo na pojízdném vedení přímo na rámu stroje. Výměna nástroje je docílena vhodnou kombinací rotačních (ramena) a translačních (ramena i celého manipulátoru) pohybů. Podlé pohybu při uchopení nástroje se manipulátory s otočným ramenem dají rozdělit na napichovací (na Obr. 12 vlevo) a zasekávací (na Obr. 12 vpravo). [3]



Obr. 12: Schéma pohybu ramene manipulátoru při uchopení nástroje [3]

3.5.1. Zasekávací typ

Zasekávací typ manipulátoru s otočným ramenem se používá v případech menší vzdálenosti výdejního místa zásobníku a vřetene stroje. Pohyblivý zásobník je v tom to případě menších rozměrů a často se opatří výklopnými nebo výsuvnými lůžky nástrojů (Obr. 13).

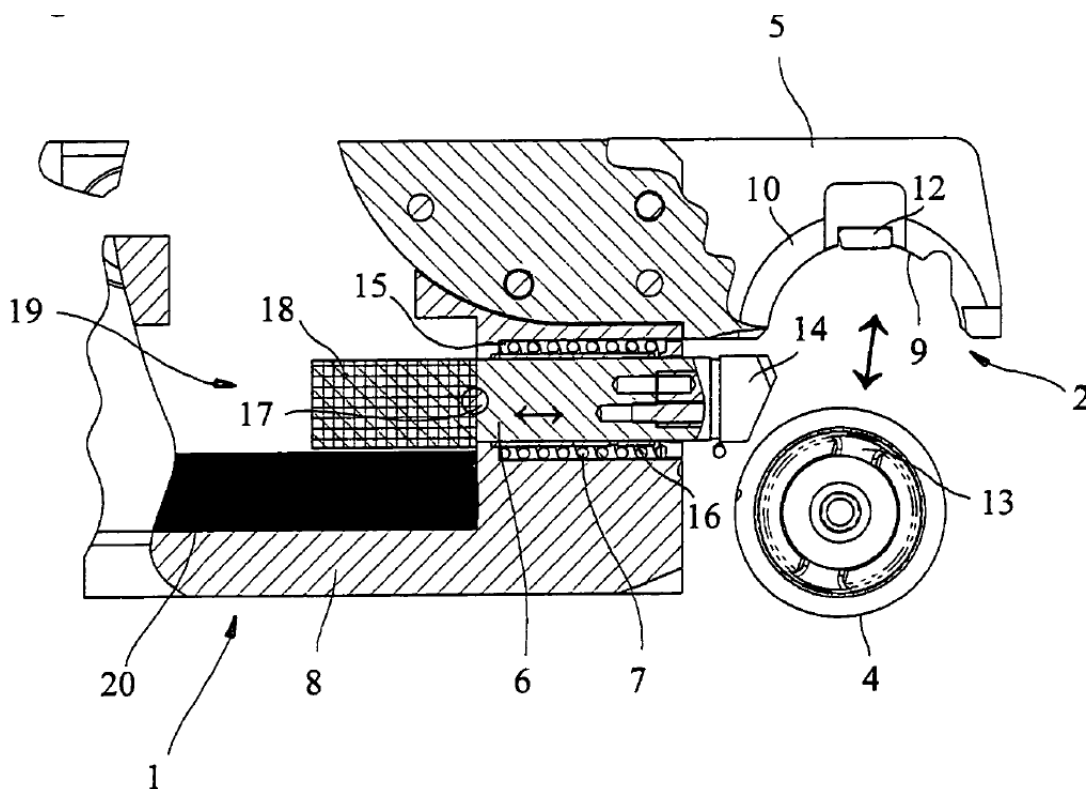


Obr. 13: Kombinace výměníku zasekávacího typu a bubnového zásobníku s výklopnými lůžky na MAKO QH-630 [15]

Výměna nástroje probíhá v následujících krocích:

- Přemístí se požadovaný nástroj na výdejní místo zásobníku
- Posune se vřeteno stroje do bodu určeného pro výměnu
- Vyklopí se (vysune se) lůžko zásobníku
- Pootočí se rameno výměníku a uchopí nástroje ve vřeteni a zásobníku (zajistí se)
- Translačním pohybem ramene se oba nástroje vytáhnou
- Rameno se přetočí o 180°
- Translačním pohybem ramene se oba nástroje zasunou do vřetene a zásobníku
- Ve vřeteni se nástroj upne systémem automatického upnutí nástrojů, v zásobníku se nástroj zajistí mechanismem lůžka
- Pootočením se rameno vrátí do výchozí polohy, lůžko zásobníku se sklopí

Jedno z možných provedení konce ramene je na Obr. 14. Uchopení nástroje v ramenní provádí uchopovací prst uložený posuvně (č. 14), prst se v zavřené poloze udržuje nejčastěji pružinou se zajištěním. Pružina se stlačuje při nárazu ramene do nástroje a umožňuje otevírání prstu. Dá se setkat i s vynuceným otvíráním pneumatickým (hydraulickým) aktuátorem. Další důležitý prvek je opěrný kámen (č. 12), který zajišťuje nástroj proti pootočení během výměny.



Obr. 14: Patent DE202010003378U [16]

3.5.2. Napichovací typ

Napichovací typ manipulátoru s otočným ramenem se používá v případech, kde koncepce obráběcího stroje (nebo velikost zásobníku) neumožňuje umístění zásobníku v těsné blízkosti pracovnímu prostoru. Manipulátor se umísťuje na posuvném vedení a přejíždí mezi zásobníkem a místem výměny. Na Obr. 15 je provedení systému AVN a použitím řetězového zásobníku upevněného na rámu stroje a manipulátoru napichovacího typu na pojízdném vedení.



Obr. 15: Vodorovná vyvrtávačka WHN 110Q [17]

Výměna nástroje probíhá v následujících krocích:

- Přemístí se potřebný nástroj na výdejní místo zásobníku
- Pojezdem výměníku a napíchnutím ramene na nástroj dojde k uchopení nástroje
- Translačním pohybem ramene (ve směru osy otáčení ramene) se nástroj vytáhne ze zásobníku
- Výměník přijíždí po vedení do polohy výměny a současně translačním pohybem (ve směru osy otáčení ramene) se rameno vrátí do výchozí polohy
- Posune se vřeteno stroje do budu, určeného pro výměnu
- Pojezdem výměníku a napíchnutím ramene na nástroj ve vřeteni stroje dojde k uchopení nástroje
- Translačním pohybem ramene se nástroj vytáhne z vřetene
- Rameno se přetočí o 180°

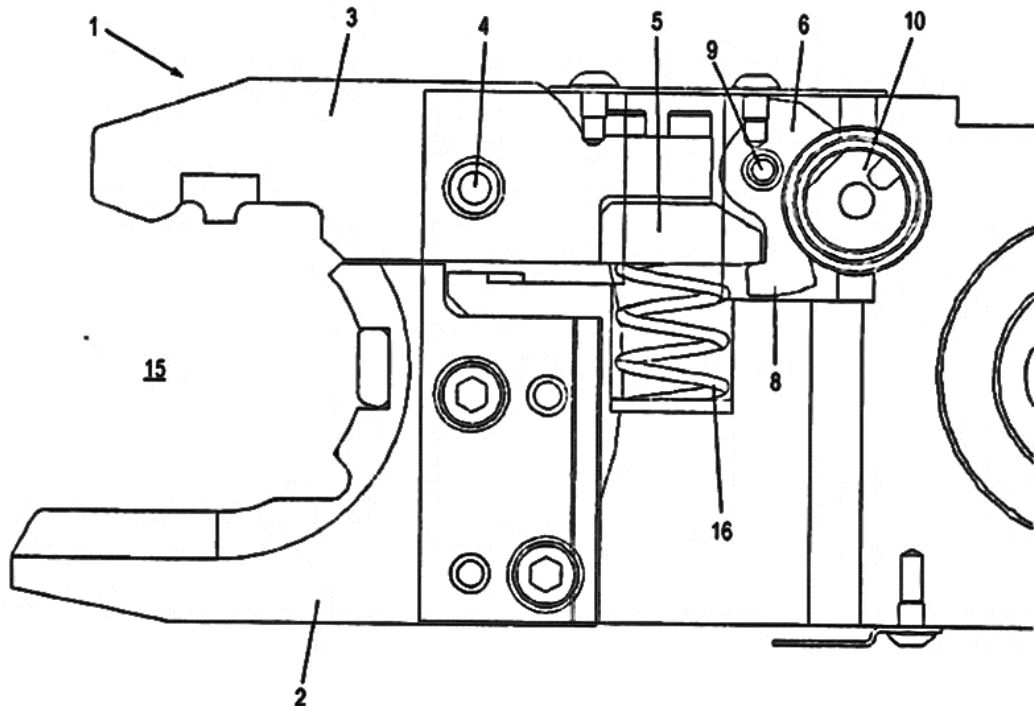
- Translačním pohybem ramene se nový nástroj zasune do vřetene
- Pojezdem výměníku dojde k uvolnění nástroje, stroj může začít obrábění
- Výměník se vrací k zásobníku a současně translačním pohybem (ve směru osy otáčení ramene) se rameno vysune
- Po příjezdu ke zásobníku translačním pohybem ramene se použitý nástroj zasune do zásobníku
- Výměník se vrátí do výchozí polohy a tím dojde k uvolnění nástroje z ramene

Díky tomu, že se výměník s uchopeným nástrojem může pohybovat mezi zásobníkem a polohou výměny ještě během obrábění, nejsou velké rozdíly v čase výměny nástrojů v porovnání napichovacího se zasekávacím typem výměníku.

Výměníky napichovacího typu se dají rozdělit do dvou podskupin podle počtu pohyblivých čelistí.

Jedna pohyblivá čelist

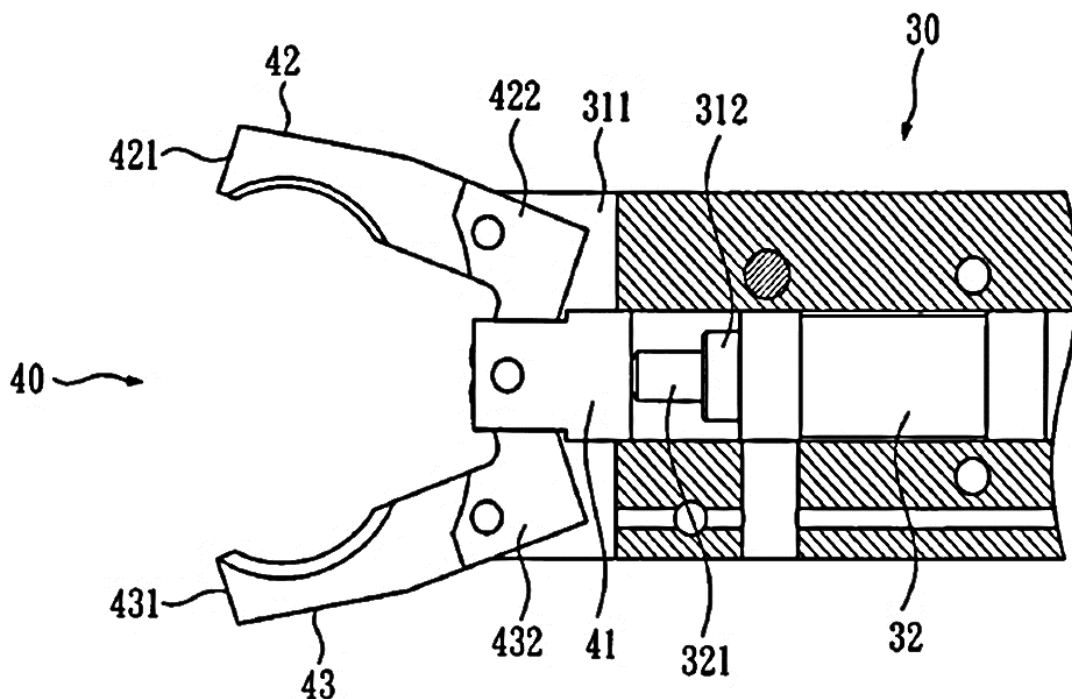
Typické provedení ramena s jednou pohyblivou čelistí uložené otočně na čepu je na Obr. 16. Udržuje se v zavřené poloze pružinou, otevření probíhá nárazem ramene do nástroje. Pro zajištění proti pootočení nástroje během výměny se používá opěrný kámen.



Obr. 16: Patent DE102006000354 [18]

Dvě pohyblivé čelisti

Provedení otočného ramene se dvěma pohyblivými čelistmi se výrazně liší tím, že se ve převážně většině konstrukčních řešení pro pohyb čelistí používají aktuátory (častěji hydraulické válce). Otvírání čelistí je nucené a uchopovací síla na čelisti je dostatečně velká pro to, aby se nemusely používat opěrné kameny. Příklad konstrukčního řešení s hydraulickým válcem je na Obr. 17.

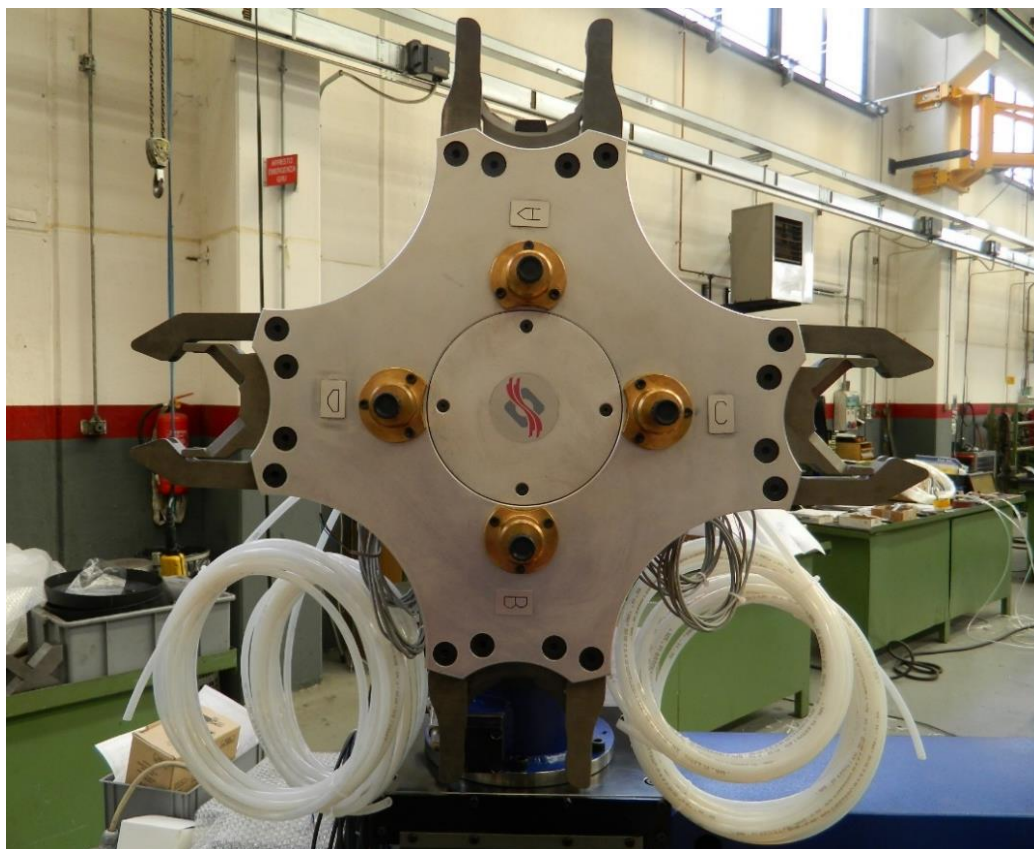


Obr. 17: Patent US7604584 [19]

3.6. Univerzální výměník nástrojů

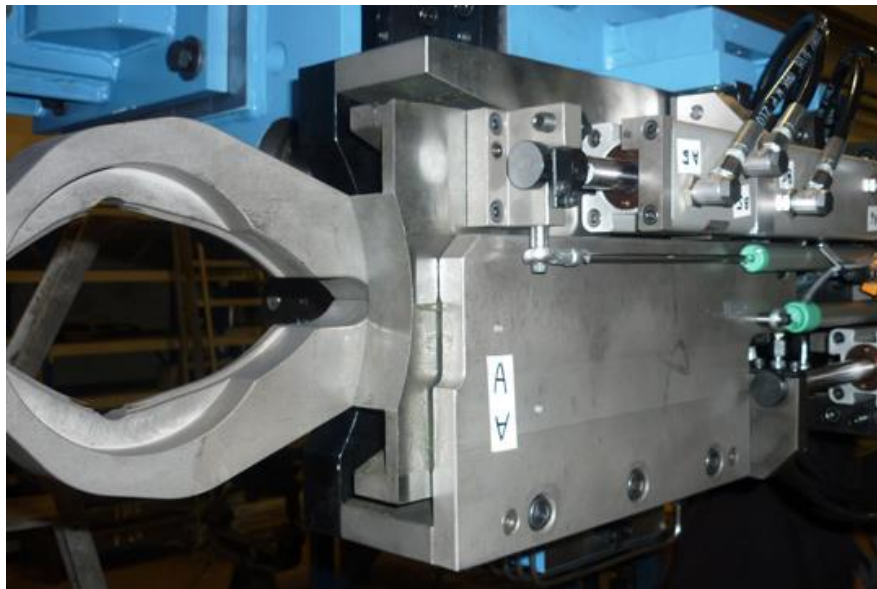
Obvykle se systém AVN navrhuje pro stroj, který používá jen jedno z některých existujících nástrojových rozhraní (ISO, HSK, BT atd.) a jednu velikost nástrojových držáků. Existují výjimky, kde jeden obráběcí stoj může používat nástroje s různými nástrojovými držáky. Takovým případem jsou velká obráběcí centra s vyměnitelnými frézovacími hlavami, kde se pro hrubovací operace používají nízkootáčkové hlavy s velkým kroutícím momentem a nástrojovým rozhraním ISO nebo MAS BT, ale pro přesné dokončovací operace se používají vysokorychlostní víceosé frézovací hlavy s tužším rozhraním HSK. Pro takové stroje se častěji používá kombinace AVN pro jedno nástrojové rozhraní a ruční výměna pro druhé. Další možná řešení jsou buď manipulátor s možností rychlé výměny otočného ramene (koncového ejektoru pro robotické manipulátory), nebo zabudování dvou systémů AVN, což v obou případech není univerzální v pravém smyslu slova.

Existující provedení univerzálního ramena výměníku napichovacího typu od Italské firmy CFT Rizzardi srl je znázorněno na Obr. 18. Umožňuje výměnu nástrojů dvou různých nástrojových rozhraní jedním manipulátorem (pravděpodobně ISO a CAPTO, přesnější informace k dispozici není).



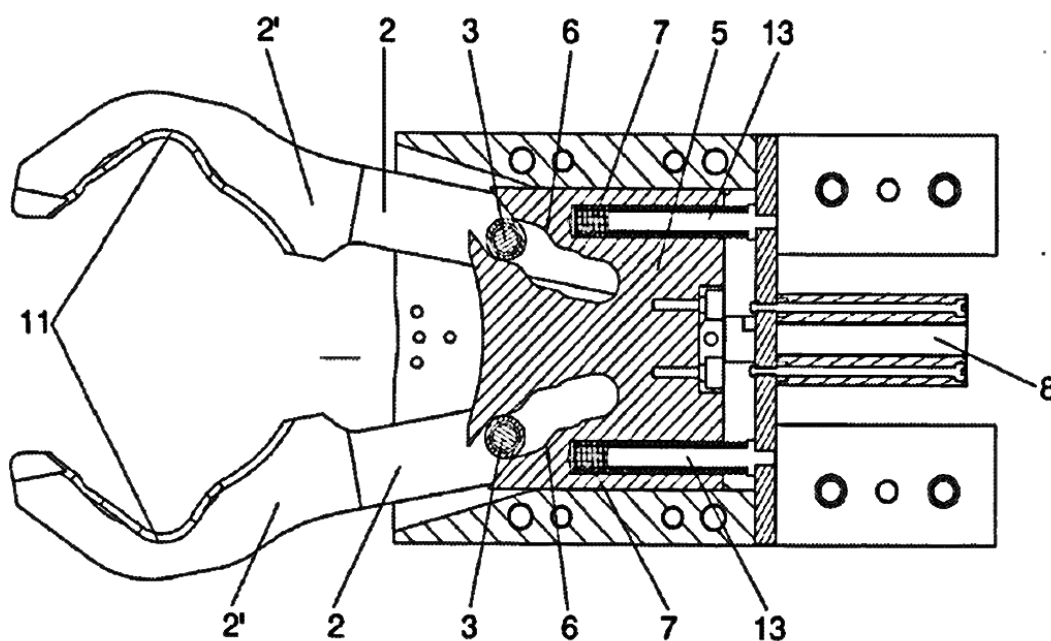
Obr. 18: Special gripper arm CFT Rizzardi srl [20]

Další varianta univerzálního výměníku se navrhla Španělskou firmou Sidepalsa (Obr. 19). Tento univerzální výměník představuje robustní řešení pro výměnu nástrojů o hmotnosti do 60 kg s rozhraním ISO, HSK a CAPTO v několika velikostech.



Obr. 19: Otočné rameno manipulátoru Sidepalsa [21]

Patentované konstrukční řešení je znázorněno na Obr. 20. Jedná se o napichovací typ otočného ramene manipulátoru se dvěma pohyblivými čelistmi, které mají velký zdvih a speciální tvář umožňující uchopení různých typu nástrojových držáků, pro pohyb čelistí se zajišťuje hydraulickým válcem.



Obr. 20: Patent ES2527317 [22]

4. Vlastní návrh a volba řešení

4.1. Výchozí parametry pro návrh

4.1.1. Shrnutí možných variant řešení

Po prostudování odborné literatury, dostupných konstrukčních řešení (veřejně dostupných patentů) týkajících se AVN a zjištění kinematiky pohybu současného výměníku nástrojů strojů TOS Varnsdorf se přišlo k závěru, že existující konstrukční řešení univerzálních výměníků popsaných v kapitole 3.6 není možné použít a jediným možným řešením je nový návrh otočného ramena napichovacího typu se dvěma pohyblivými čelistmi. Kinematika existujícího výměníku skoro zcela vylučuje použití otočného ramena zasekávacího typu, poněvadž by to vyžadovalo rozsáhlých úprav, nebo spíše návrh úplné nového systému AVN. Požadavek na zajištění stejné polohy osy nástrojů s držáky různých průměrů vůči ose rotace ramene vyžaduje dvou pohyblivých čelisti ramene. Nucené otevírání čelistí vyloučí rázové zatěžování ložisek vřetena při uchopení nástroje.

Ideálním řešením by bylo rameno napichovacího typu s prizmatickými čelistmi (se souměrným chodem) uloženými na posuvném vedení. Ovšem výroba posuvného vedení je složitá, je třeba uvažovat vliv třecích ztrát a možného vzpříčení čelistí působením momentů vyvolaných polohou těžiště nástroje mimo rovinu lineárního pohybu čelistí.

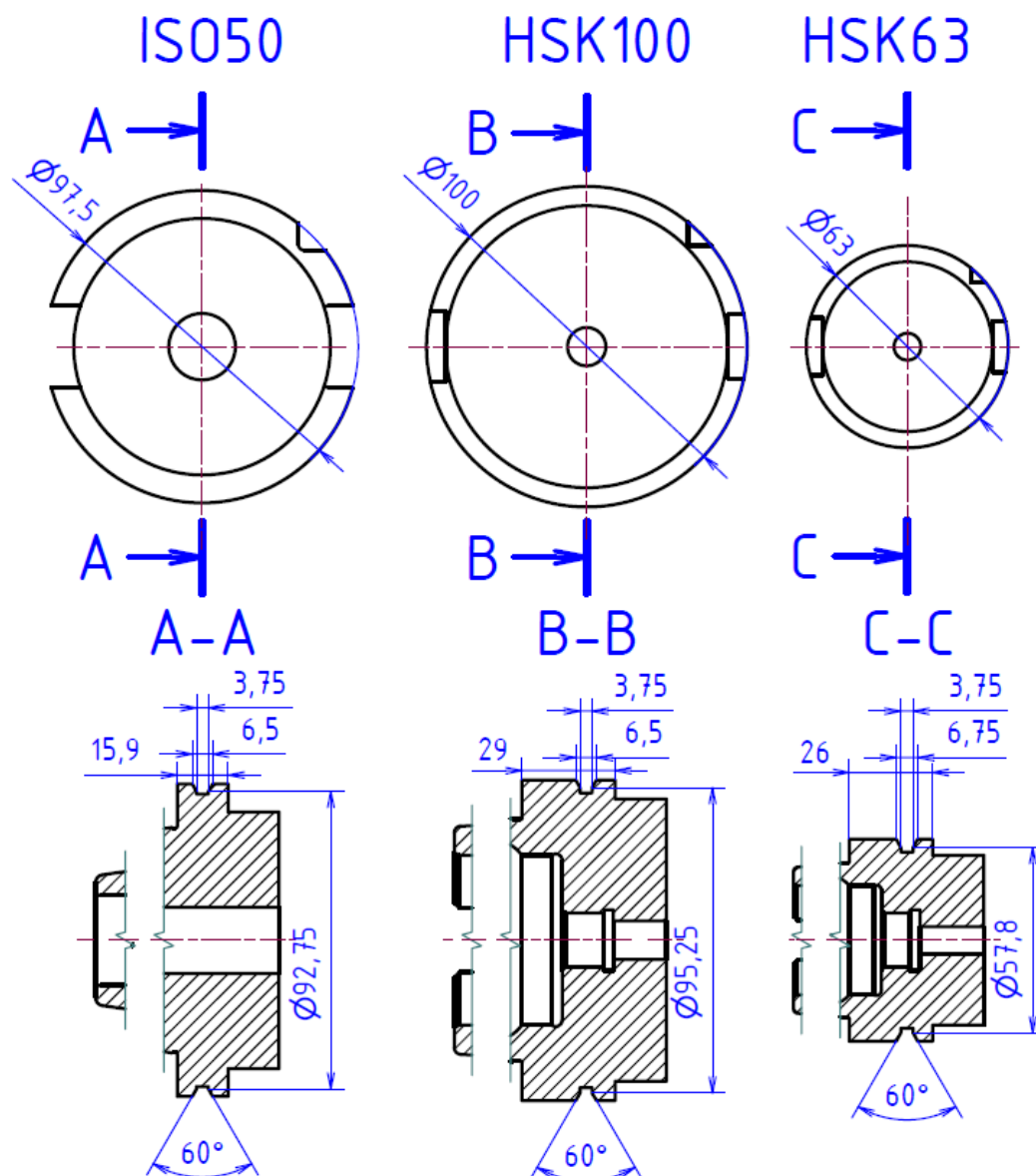
Další variantou jsou čelisti ramene kyvně uložené na čepech, které budou tvarově přizpůsobené pro zajištění stejné polohy osy nástrojů různých průměrů vůči ose rotace ramene. Za použitím jehlových ložisek nebo kvalitních kluzných pouzder se při výpočtu dá zanedbat vliv třecích ztrát na čepech, ale tvar čelistí i jejich výroba bude složitější v porovnání s prizmatickými čelistmi. V Tabulka 1 jsou shrnutá možná provedení čelistí a varianty pohonu.

Tabulka 1: Shrnutí možných provedení čelistí otočného ramene a jejich pohonu

Čelisti	Prizmatické	Speciální tvar
Uložení	Posuvné vedení	Kyvně na čepu
Pohon	Přímý pohon aktuátorem	
	Přes páky, táhla	
	Pastorek – hřeben	
	Šnek – hřeben	
	Pohybový šroub – matice	

4.1.2. Rozměry nástrojových držáků

Rozměry nástrojových držáků HSK se řídí normou DIN 69893 (ISO 12164), rozměry držáků ISO jsou popsány v normě DIN 69871 (ČSN ISO 7388-1). Na Obr. 21 jsou znázorněné důležité pro AVN rozměry. Šířka držáku ISO50 je na úchopném průměru ($\varnothing 97,5$ mm) nejmenší (15,9 mm) a omezuje možnou šířku čelistí ramene. Obě nástrojové rozhraní mají stejný tvar V-drážky pro použití se systémy AVN.



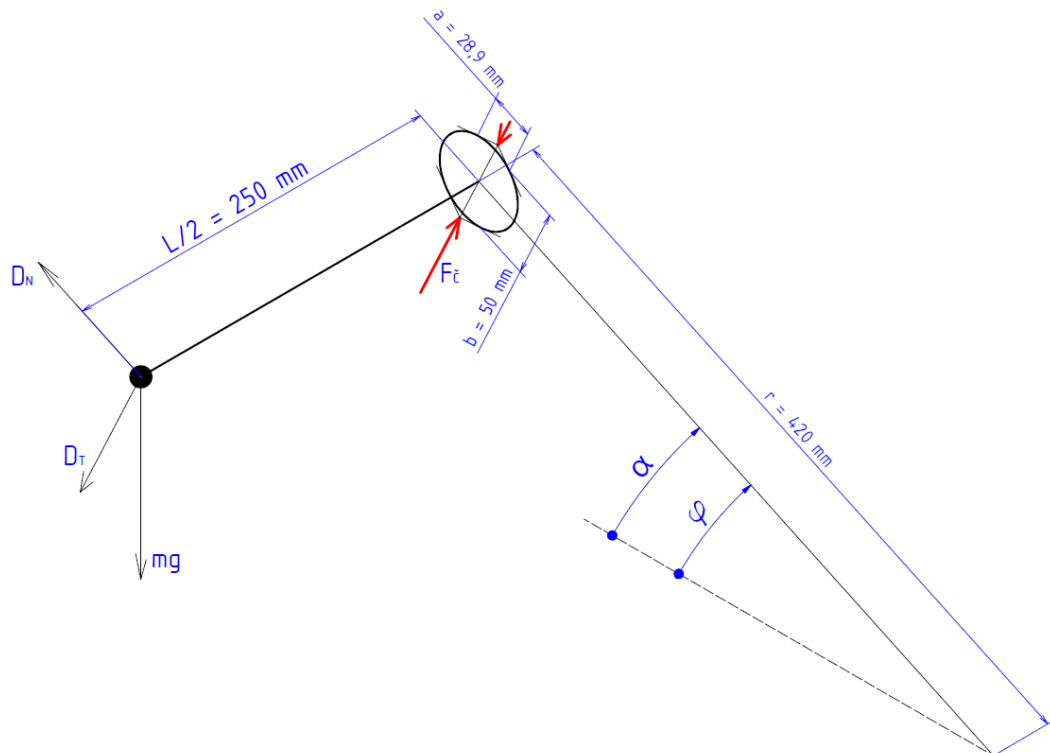
Obr. 21: Porovnání důležitých pro AVN rozměrů nástrojových držáků ISO50, HSK100 a HSK63 (obrázek není v měřítku, rozměry jsou v mm)

4.1.4. Síla pro uchopení nástroje

Pro orientační výpočet síly uchopení se vycházelo z dalších parametrů:

- rotační vyvážený nástroj
- hmotnost 25 kg
- délka nástroje 500 mm (pro zjednodušení se bude počítat od V-drážky) s těžištěm uprostřed
- uchopení prizmatickými čelistmi s úhlem prizmatu 120°
- bodový přenos sil na čelisti v dolní části V-drážky nástrojového držáku
- použití úhlů sklonu V-drážky v bodech dotyku (odečtené z modelu držáku HSK63)
- čas otočení o 180° je 2 s
- trojúhelníkový profil rychlosti otáčení (90° roztočení s konstantním uhlovým zrychlením $\alpha = \pi \text{ rad/s}$ a 90° brždění s konstantním uhlovým zrychlením $\alpha = -\pi \text{ rad/s}$)

Pro výpočet síly uchopení na jednu čelist se použilo následující schéma (Obr. 23), nástroj byl nahrazen hmotným bodem o hmotnosti $m = 25 \text{ kg}$ ležícím ve vzdálenosti $l/2 = 250 \text{ mm}$ od V-drážky nástrojového držáku.



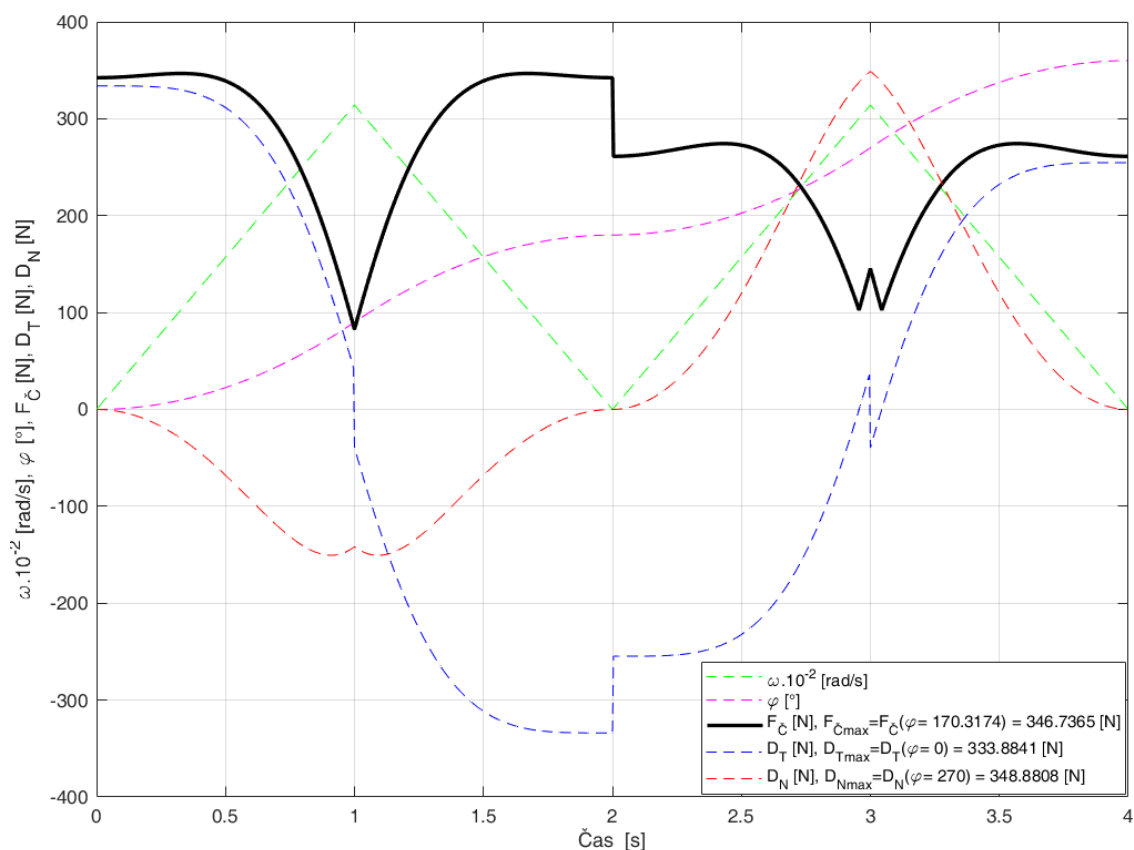
Obr. 23: Schéma pro výpočet síly na čelist

$$D_T(t) = m \cdot ar + mg \cos\left(\frac{\alpha t^2}{2}\right) \quad (1)$$

$$D_N(t) = mg \sin\left(\frac{\alpha t^2}{2}\right) - m(\alpha t)^2 r \quad (2)$$

$$F_\zeta(t) = |D_T| + \frac{|D_N|}{2} \operatorname{tg} \beta + |D_T| \frac{L}{2b} \operatorname{tg} \gamma + |D_N| \frac{L}{4a} \operatorname{tg} \gamma \quad (3)$$

Kde a a b jsou vzdáleností bodů dotyku nástrojový držák – čelist pro zahrnutí do výpočtu momentu, způsobené odlehlosti těžiště nástroje, $\beta = 30^\circ$ je úhel prizmatu čelisti a $\gamma = 26,88^\circ$ je úhel sklonu V-drážky v bodě dotyku. Pro výpočet se použilo SW Matlab, graf závislostí síly na čelisti na čase pro jednu otáčku ramene je na Obr. 24.



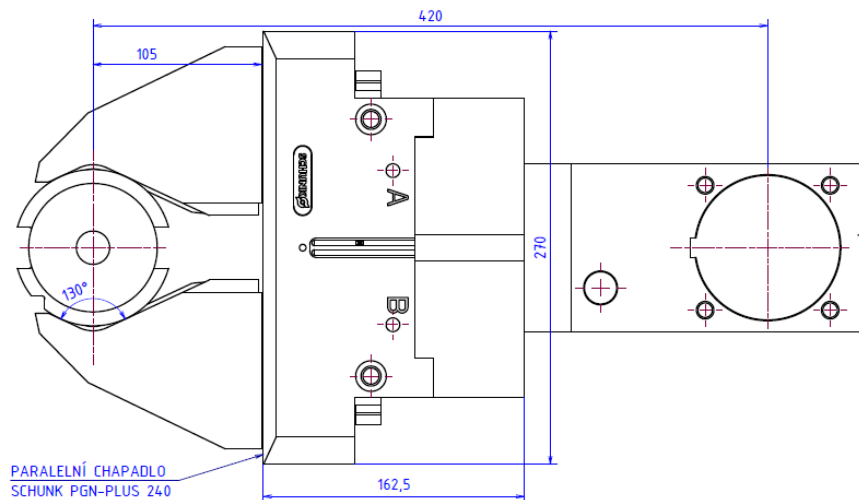
Obr. 24: Graf závislostí síly jedné čelisti na čase

Z grafu je vidět, že minimální potřebná síla na každé čelisti je 347 N. Pro zajištění bezpečnosti a zanedbání případných ztrát třením v pohyblivém uložení čelistí se při návrhu bude používat minimální síla $F_\zeta = 500 \text{ N}$ na každou čelist (celková úchopná síla 1000 N).

4.2. Navrhovaná řešení

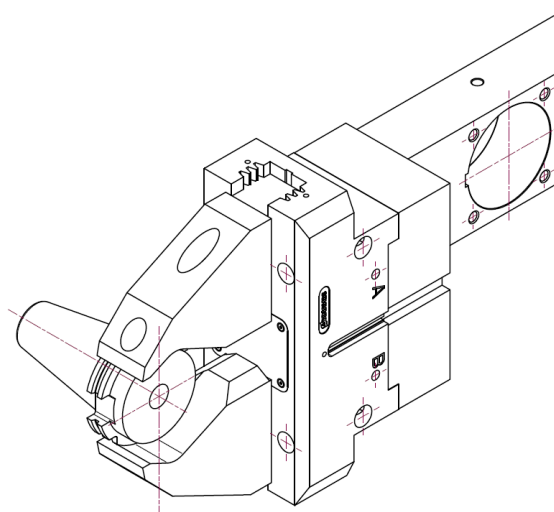
Varianta 1, paralelní chapadlo

V první variantě řešení (Obr. 25 a Obr. 26) se použilo pneumatické paralelní chapadlo Schunk PGN-plus 240-P (prizmatické čelisti, posuvné vedení) a obrobené ocelové polotovary čelistí Schunk SBR-PGZN-plus 240. Síla uchopení podle katalogu je 5000 N (součet sil obou čelistí). Hmotnost chapadla je 14,4 kg, hmotnost jedné čelisti je 4 kg, celková hmotnost otočného ramene se odhadovala na 60 kg.



Obr. 25: Návrh, varianta 1 (obrázek není v měřítku, rozměry jsou v mm)

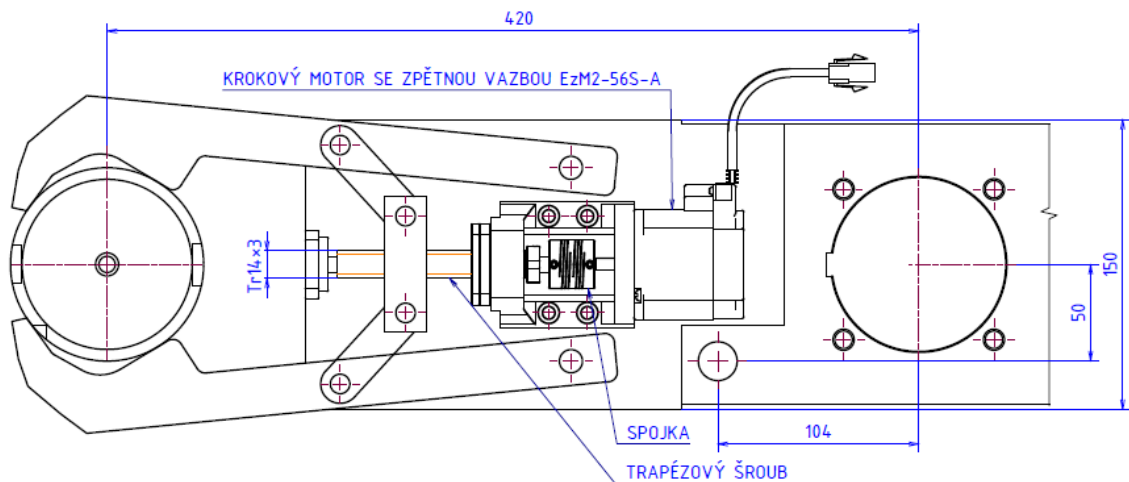
Snížení hmotnosti o 5-6 kg by bylo možné při vlastní výrobě čelistí (polotovary od Schunk jsou zbytečně široké). Předpokládaná doba uchopení nástroje je 0,35 s (zavření pneumatické) a 0,65 s (zavření integrovanou do chapadla pružinou).



Obr. 26: 3D pohled varianta 1

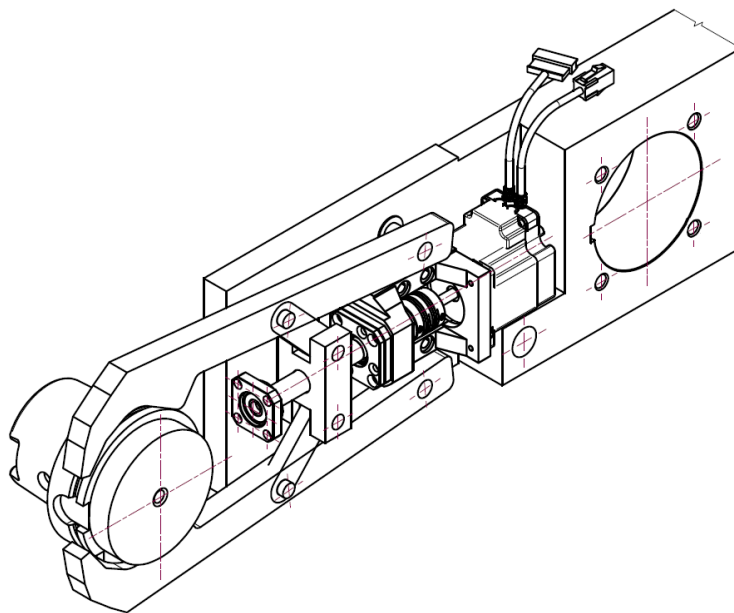
Varianta 2, krokový motor a pohyb čelistí přes pákový mechanismus

V této variantě (Obr. 27 a Obr. 28) se použily tvarově přizpůsobené čelisti, uložené kyvně na čepech. Trapézový šroub, který se pohání krokovým motorem s odměřováním a zpětnou vazbou EzM2-65S-A, v kombinaci s posuvnou maticí a táhly zajišťuje vyvinutí potřebné úchopné síly. Celková hmotnost otočného ramene se odhadovala na 50 kg.



Obr. 27: Návrh, varianta 2 (obrázek není v měřítku, rozměry jsou v mm)

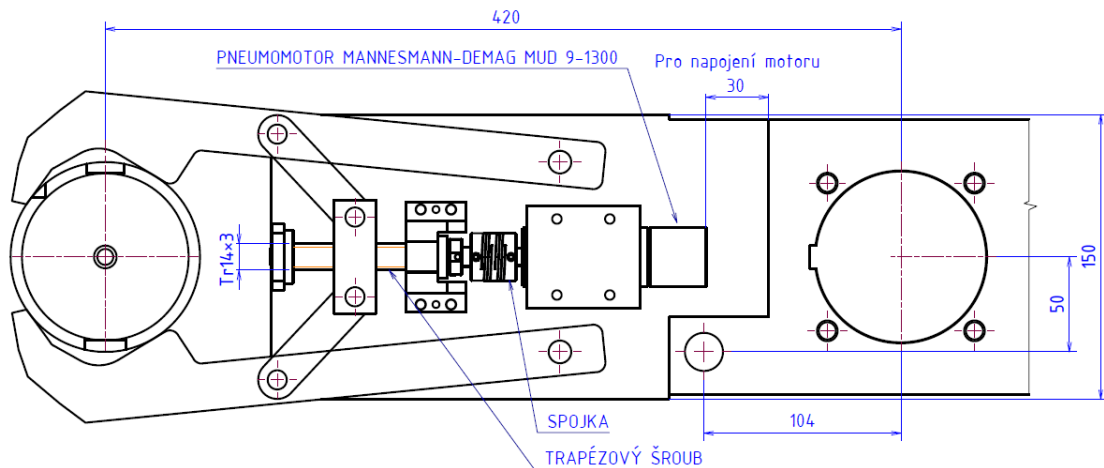
Předpokládaná doba uchopení nástroje při otáčkách krokového motoru odpovídajících největšímu krouticímu momentu je 0,5 s. Odměřování a zpětná vazba by umožnily přednastavení polohy čelistí a zmenšení doby zavření.



Obr. 28: 3D pohled varianta 2

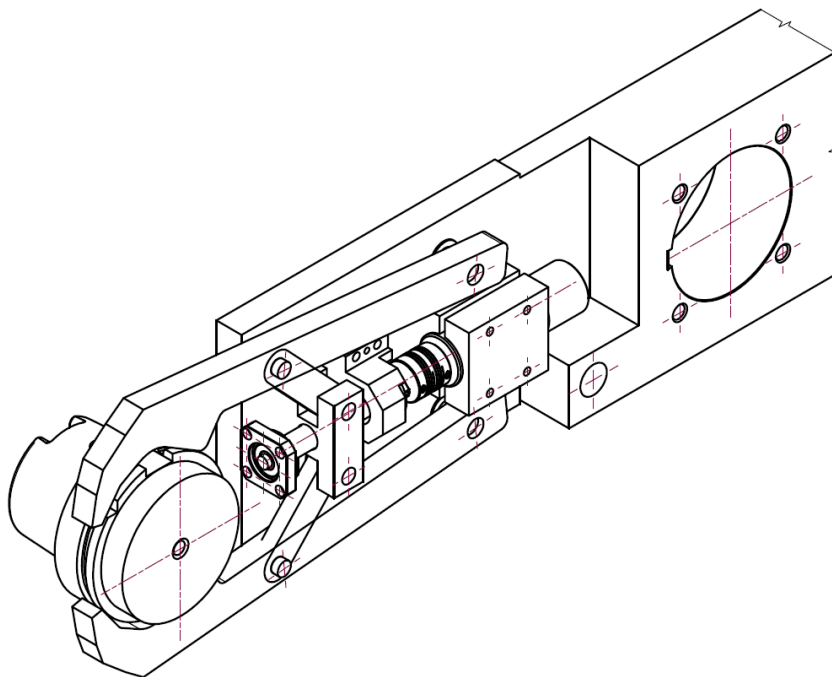
Varianta 3, pneumatický motor a pohyb čelistí přes pákový mechanismus

Varianta 3 (Obr. 29 a Obr. 30) se podobá variantě 2, místo krokového motoru se použil pneumatický rotační motor Mannesmann-Demag MUD 9-1300. Tento pneumomotor poskytuje větší krouticí moment při třikrát nižší hmotnosti oproti krokovému motoru Varianty 2. Celková hmotnost otočného ramene se odhadovala na 47 kg.



Obr. 29: Návrh, varianta 3 (obrázek není v měřítku, rozměry jsou v mm)

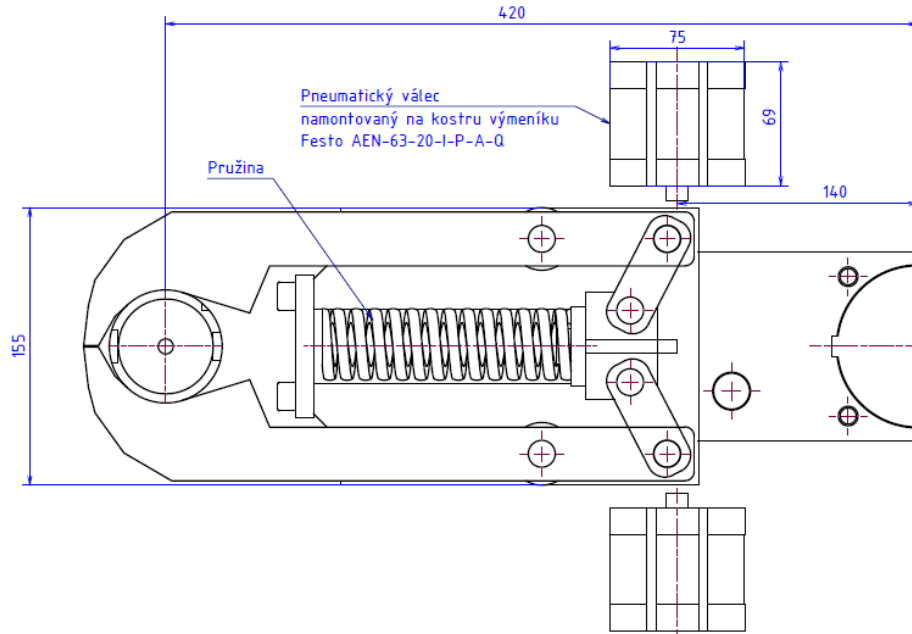
Předpokládaná doba uchopení nástroje je 0,6 s. Velký přídržný moment pneumomotoru by umožnil i použití kuličkového šroubu (na rozdíl od trapézového je nesamosvorný) a snížení doby uchopení nástroje.



Obr. 30: 3D pohled varianta 3

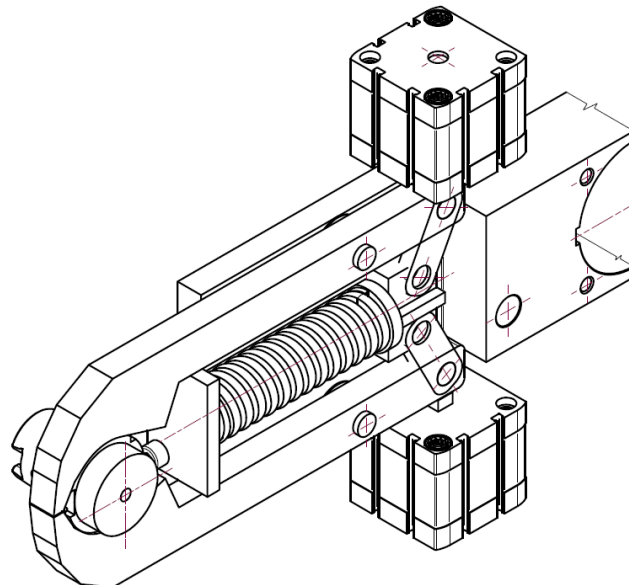
Varianta 4, pneumatický válec

Varianta 4 (Obr. 31 a Obr. 32) je výjimečná tím, že se akční člen, sloužící k otevření čelistí, umísťuje na kostru výměníku. Předpokládalo se použití čtyř pneumatických válců Festo AEN-63-20 (dva na každou stranu ramene) pro otevření a dvou pružin pro zajištění úchopné síly. Celková hmotnost otočného ramene se odhadovala na 45 kg.



Obr. 31: Návrh, varianta 4 (obrázek není v měřítku, rozměry jsou v mm)

Předpokládaná doba uchopení nástroje se odhadovala na 0,6 s a je závislá na nastavení výfuku pneumatických válců.



Obr. 32: 3D pohled varianta 4

Porovnání navržených variant

V Tabulka 2 jsou porovnané základní parametry navržených variant řešení a zhodnocena předpokládaná výrobní náročnost. Z tabulky je vidět, že všechny varianty splňují požadavek na upínací sílu a poskytují přibližně stejnou rychlost upnutí. Varianta 1 (s použitím paralelního chapadla Schunk) má výrazně větší hmotnost, ale je zároveň nejméně výrobně náročná. Varianty 2 až 4 mají přibližně stejnou hmotnost, ale jsou náročnější na výrobu.

Tabulka 2: Porovnání navržených variant

Parametr	Varianta 1		Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
Pohyb čelistí	posuvný		kyvný	kyvný	kyvný
Energie pro upnutí	pneumatická	integrována pružina	elektrická	pneumatická	pružina
Upínací síla (součet sil obou čelistí) Fmax [N] Fmin [N]	5000 (2×2500)	1000 (2×500) 1000	2000 (2×1000) 1150 (2×575)	1900 (2×950) 1000 (2×500)	1200 (2×600) 1050 (2×525)
Předpokládaná hmotnost [kg]	65		50	47	45
Doba zavření [s]	0,35	0,65	0,5	0,6	0,6
Úprava výměníku	-		Posunutí vodicího čepu	Posunutí vodicího čepu	Úprava kostry pro uchycení pneumatických válců
Výrobní náročnost Kupované díly	- paralelní chapadlo - polotovar čelist - (šrouby)		- trapézový šroub - motor - držák motoru - ložiska - matice axiální - (šrouby, spojka)	- trapézový šroub - motor - držák motoru - ložiska - matice axiální - (šrouby, spojka)	- pružina - pneumatické válce - (šrouby)
Výroba	- těleso ramene - čelisti (obrobení polotovaru)		- těleso ramene - víko - trapézová matice - čelisti - táhla - čepy	- těleso ramene - víko - trapézová matice - čelisti - táhla - čepy	- těleso ramene - víko - tlačný kámen - čelisti - táhla - čepy



4.3. Volba řešení

K dalšímu rozpracování byla vybrána varianta 4 z následujících důvodů:

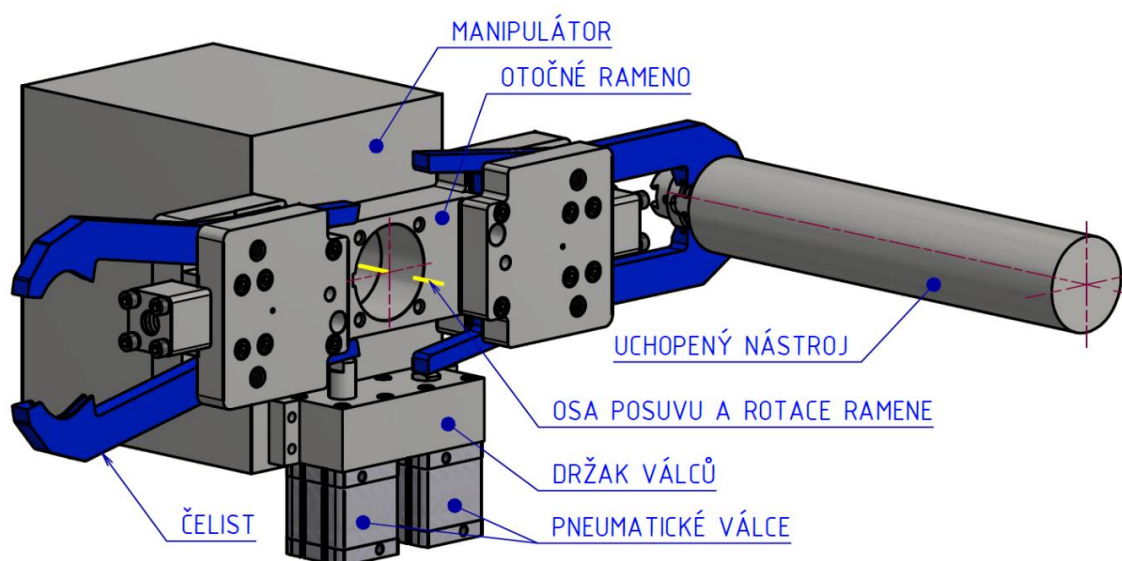
- montáž akčního členu (pneumatických válců) na kostru manipulátoru nevyžaduje úprav mechanismu posuvu a otáčení ramene za účelem dodání energie (elektrické nebo pneumatické) na otočné rameno
- nižší hmotnost
- možná modernizace již vyrobených manipulátorů bez provedení rozsáhlých úprav

Pro vylepšení navržené varianty se nabízely následující úpravy:

- snížit počet pneumatických válců ze 4 na 2 (jeden pneumatický válec pro otevření na každou stranu ramene)
- rozmístit oba pneumatické válce pod otočným ramenem

5. Popis finálního konstrukčního řešení

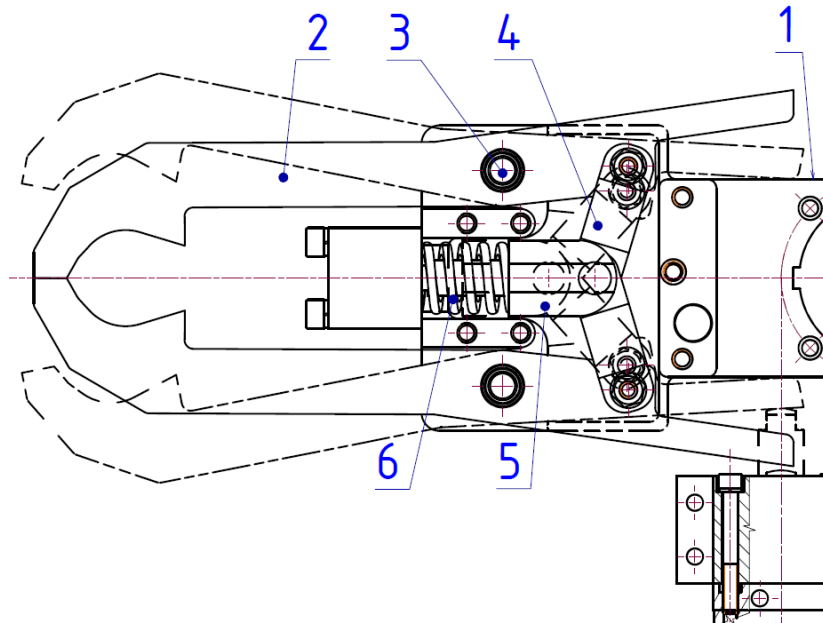
Na Obr. 33 je znázorněn 3D pohled na navrženou variantu otočného ramene s naznačeným manipulátorem. Otočné rameno se ukládá na otočně-výsuvnou hřídel (na obrázku není) a zajišťují se 4 šrouby. Otevření čelistí ramene se provádí dvěma pneumatickými válci, které se přes držák válců montují na kostru manipulátoru a při vysunutí a přetočení ramene zastávají na manipulátoru. Umístěním pneumatických válců na kostře manipulátoru byly vyloučené nežádoucí úpravy (za účelem dodání energie na rameno) mechanismu vysunutí a přetočení ramene.



Obr. 33: 3D model finální varianty

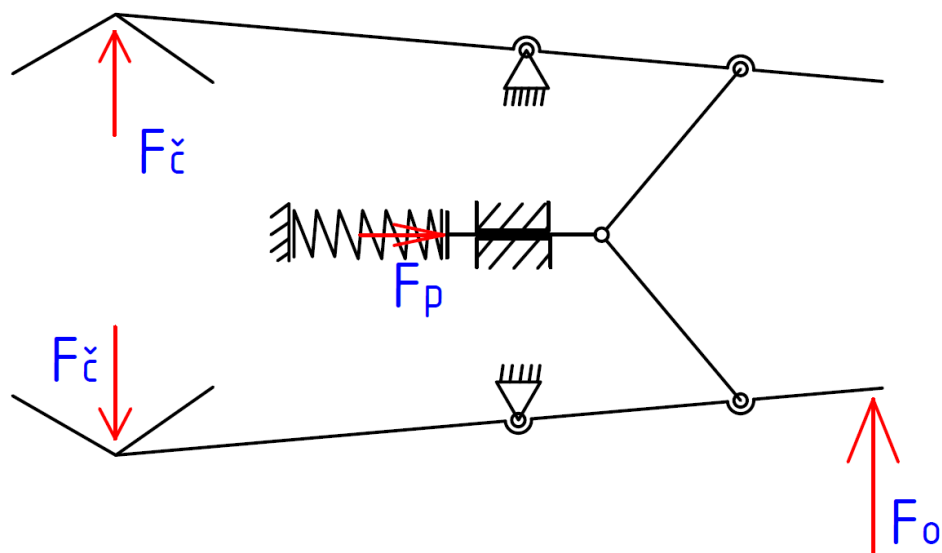
Pohled na mechanismus otočného ramene je na Obr. 34, hlavní elementy jsou:

1. Těleso ramene a víko (víko na obrázku odstraněno pro přehlednost)
2. Tvarovaná čelist (uložená kyvně na čepu)
3. Čep čelisti
4. Táhl
5. Tlačný kámen (uložen posuvně)
6. Pružina



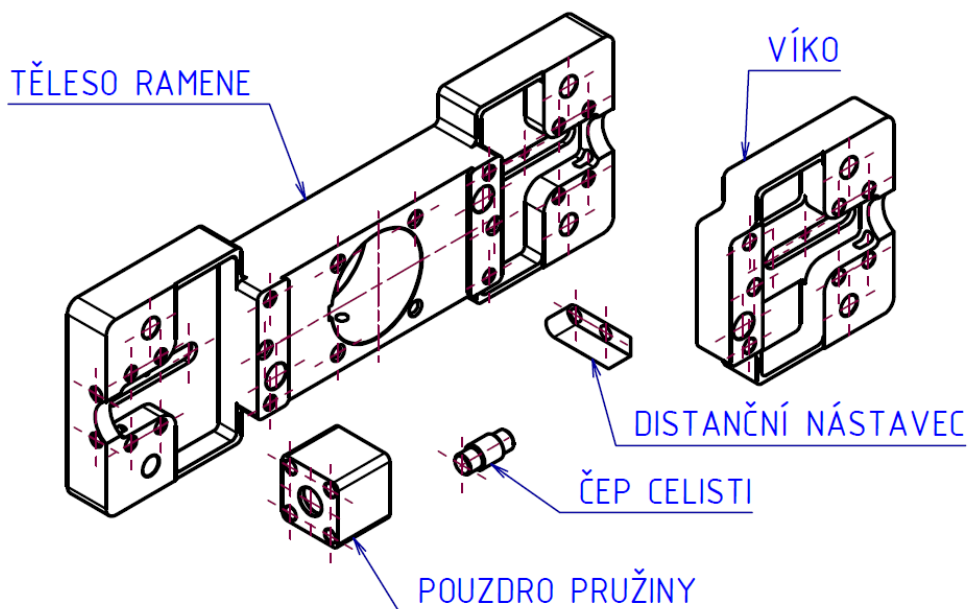
Obr. 34: Mechanismus otočného ramene

Kinematické schéma s vynášenými silami je na Obr. 35. $F_{\check{c}}$ je úchopná síla na jedné čelisti, těmito silami je docíleno pevné uchopení držáku nástroje. F_p představuje sílu pružiny, která přes mechanismus ramene zajišťuje vyvinutí síly $F_{\check{c}}$ na čelistech. Sílou F_o od pneumatického válce se provádí stlačení pružiny a otevření čelistí pro uchopení nástroje nebo uvolnění již uchopeného nástroje.



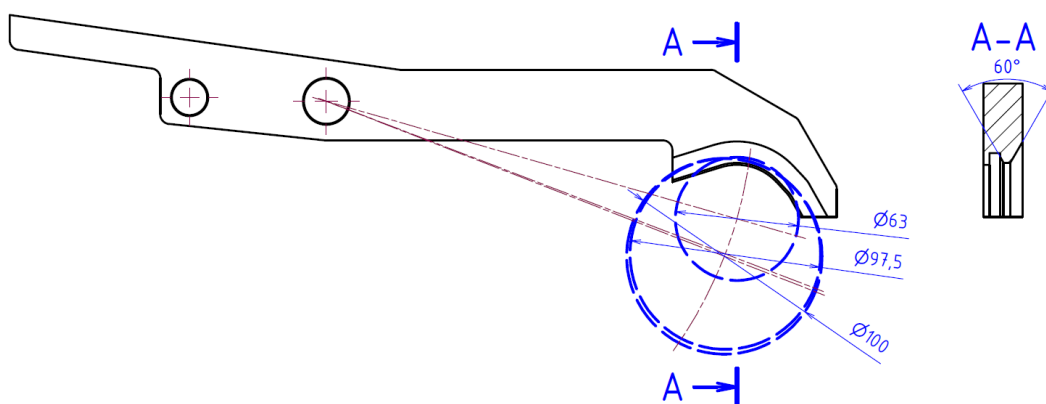
Obr. 35: Kinematické schéma

Základ ramene tvoří těleso ramene se dvěma víky a dvěma pouzdry pružin. V tělese ramene a víky jsou vyfrézované kapsy pro rozmístění pohyblivých částí. Předpokládá se výroba těchto dílů z oceli 11 600. Vzdálenost mezi víkem a tělesem se zajišťuje tvarem tělesa ramene a vík a pomocí distančních nástavců a čepů čelisti.



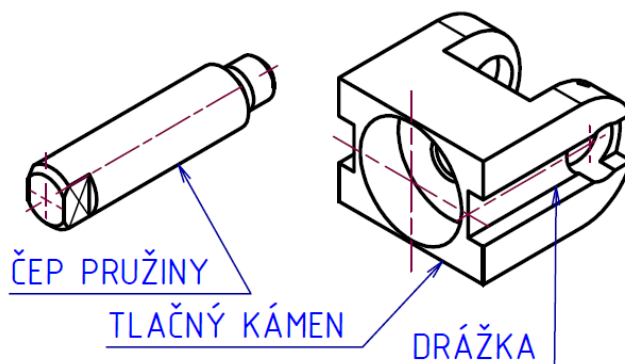
Obr. 36: Základní prvky ramene

Čelisti ramene (Obr. 37) jsou tvarově přizpůsobené pro uchycení nástrojových držáků HSK63, HSK100 a ISO 50. Tvar V-výstupku odpovídá tvaru V-drážky nástrojových držáku HSK a ISO. Předpokládá se výroba z oceli 15 330 s následným zušlechťením celého dílu a nitridací dotykových ploch čelist-držák nástroje.



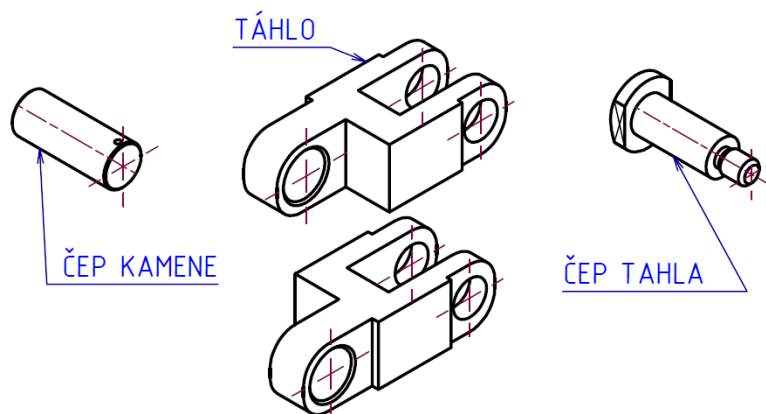
Obr. 37: Čelist s naznačenými drážky nástrojů
(obrázek není v měřítku, rozměry jsou v mm)

Tlačný kámen (Obr. 38) slouží k převedení síly pružiny na táhla. Posuvné vedení kamene je tvořeno dvěma pery pevně uloženými v tělese ramene a víku a drážkami v kameni. Předpokládá se výroba tlačného kamene z oceli 15 330 s následným zušlechťením celého dílu a nitridací drážky posuvného vedení. Do tlačného kamene se zašroubuje čep pružiny vyrobený z oceli 11 600.



Obr. 38: Čep pružiny a tlačný kámen

Tvar táhel (Obr. 39) a jejich zrcadlové umístění významně zmenšilo příčné rozměry celého mechanismu ramene. Táhla jsou spojené s tlačným kamenem čepem, který se proti pootočení a axiálnímu posuvu vůči kameni zajišťuje stavěcím šroubem s čípkem. Čepy táhel se proti pootočení vůči táhlům zajišťují tvarem hlavy čepu, axiálně se zajišťují samozjistíci maticemi.



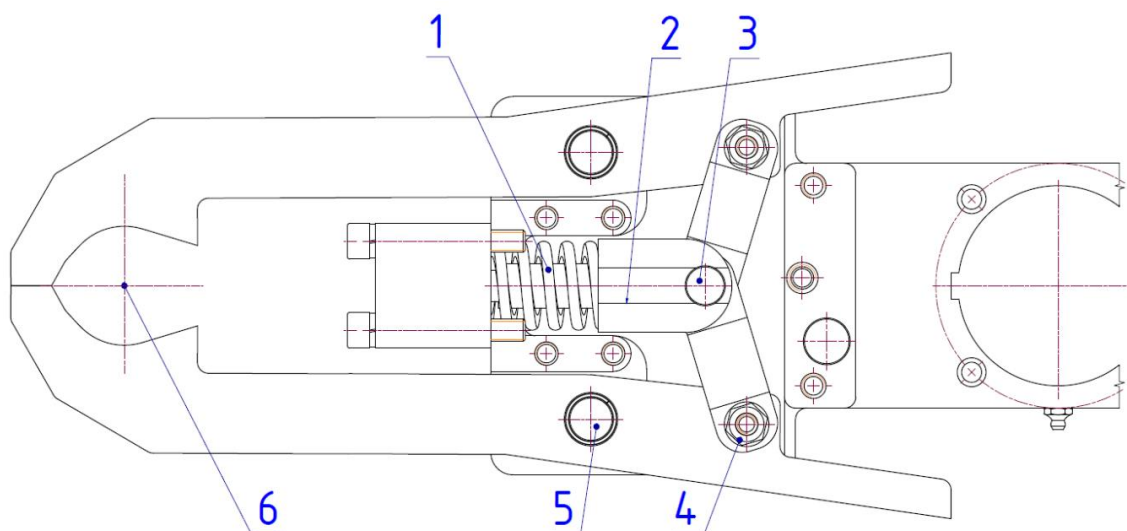
Obr. 39: Táhla, čepy kamene a táhel

Výroba všech čepů (kromě čepu pružiny) se předpokládá z oceli 15 330 následným zušlechťením celého dílu a nitridací. Pro snížení tření v čepch se používají hybridní bezúdržbová kluzná pouzdra SKF.

6. Návrhové a kontrolní výpočty

Byly provedené následující výpočty (podle Obr. 40):

1. Kontrola upínací síly: návrhový výpočet tuhosti pružiny, volba pružiny, kontrola upínací síly čelistí, návrhový výpočet síly pneumatického válce pro otevření
2. Kontrola tlaku v posuvném vedení
3. Kontrola na smyk a tlak čepu tlačný kámen-táhlo a výpočet trvanlivosti kluzného pouzdra
4. Kontrola na smyk a tlak čepu táhlo-čelist a výpočet trvanlivosti kluzného pouzdra
5. Kontrola na smyk a tlak čepu čelist-rameno a výpočet trvanlivosti kluzného pouzdra
6. Výpočet nakroucení a ohybu otočného ramene



Obr. 40: Kontrolní výpočty

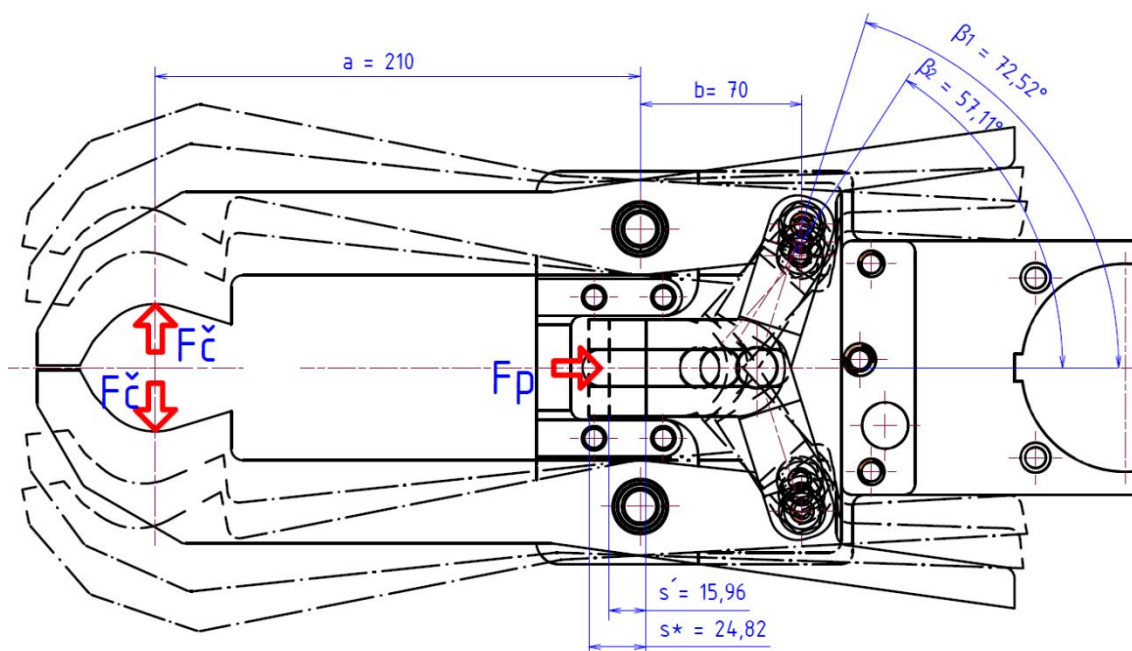
6.1. Kontrola upínací síly

6.1.1. Návrhový výpočet tuhosti pružiny

Pro upnutí nástrojových držáků se požaduje síla čelistí $F_{\check{c}} \geq 500 \text{ N}$. Na Obr. 41 jsou znázorněné dva stavy s upnutými největším (HSK100) a nejmenším (HSK63) držáky nástrojů a stav s plně otevřenými čelistmi ramene. Rovnováha mechanismu nastane při:

$$F_p = 2F_{\check{c}} \frac{a}{b} \frac{1}{\text{tg}(\beta)} \quad (4)$$

(5)



Obr. 41: Výpočet síly pružiny (obrázek není v měřítku, rozměry jsou v mm)

Síly pružiny při upnutí $F_{p_{HSK63}}$ a $F_{p_{HSK100}}$ jsou:

$$F_{p_{HSK63}} = 2 \cdot 500 \frac{210}{70} \frac{1}{\text{tg}(72,52^\circ)} = 945 \text{ N} \quad (6)$$

$$F_{p_{HSK100}} = 2 \cdot 500 \frac{210}{70} \frac{1}{\text{tg}(57,11^\circ)} = 1940 \text{ N} \quad (7)$$

Stlačení pružiny mezi polohy upnutí HSK63 a HSK100 je $s' = 15,96 \text{ mm}$. Návrhová tuhost pružiny se vypočte ze vztahu:

$$R' = \frac{F_{p_{HSK100}} - F_{p_{HSK63}}}{s'} = \frac{1940 - 945}{15,96} = 62,36 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (8)$$

Předpokládá se, že se síla pro upnutí nástrojového držáku HSK63 dosáhne předepnutím pružiny, návrhové předepnutí pružiny je:

$$s_1' = \frac{F_{p_{HSK63}}}{R'} = \frac{944,74}{62,36} = 15,15 \text{ mm} \quad (9)$$

Stlačení pružiny mezi polohy čelistí při upnutí držáku HSK63 a plným otevřením je $s^* = 24,82 \text{ mm}$. Minimální stlačení pružiny je:

$$s_{min} = s^* + s_1' = 24,82 + 15,15 = 39,97 \text{ mm} \quad (10)$$

6.1.2. Volba pružiny

Vypočteným parametrům nejvíce vyhovuje nástrojová pružina ISO 10243 - R204-720 výrobce SODEMANN. V Tabulka 3 se uvádějí parametry pružiny z katalogu výrobce.

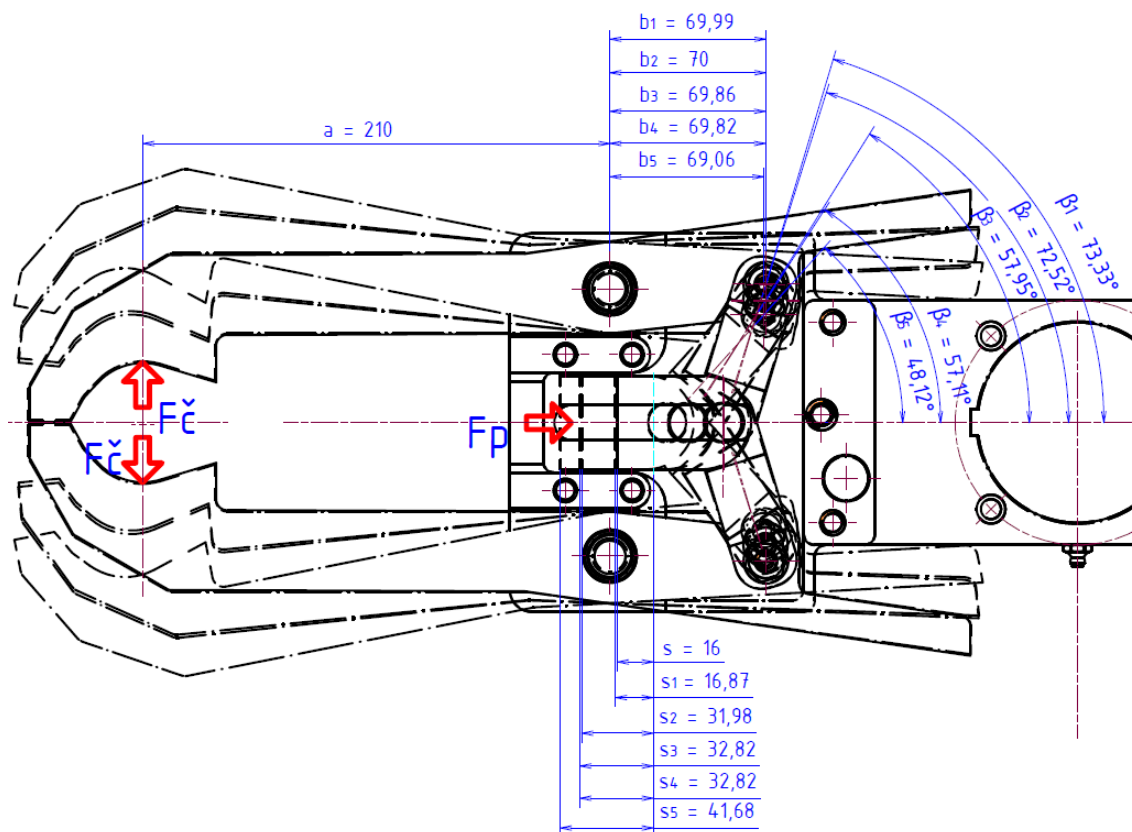
Tabulka 3: Parametry pružiny ISO 10243 - R204-720 (převzato z [23])

Product Attribute	Value
L0 Free Length	127.00
Dd Max Shaft	20.00
Dh Min Hole	40.00
Ln Max Loaded length	78.99
R Constant N/mm	62.80
Fn Max Force	3015.00
sn Max Travel	48.00
Color	Blue
Radius on wire	3.12
h wire height	4.75
b Wire wide	7.92

V následující kapitole bude provedena kontrola upínací síly s použitím katalogových parametrů pružiny.

6.1.3. Kontrola upínací síly čelistí

Pro výpočet upínací síly se použilo odečtení potřebných hodnot z modelu otočného ramene (Obr. 42, indexy odpovídají stavu ramene).



Obr. 42: Odečtení rozměrů pro výpočet upínací síly z modelu ramene (obrázek není v měřítku, rozměry jsou v mm)

Výpočet síly pružiny F_p a síly na čelisti ramene F_c byl proveden pomocí SW MS Excel, použila se tuhost pružiny $R = 62,8 \text{ N/mm}$, výsledky jsou uvedené v Tabulka 4.

Tabulka 4: Vypočtené hodnoty sil čelistí otočného ramene

Stav ramene	s [mm]	a [mm]	b [mm]	β [°]	F_p [N]	F_c [N]
1. Zavřené	16	210	69,99	73,33	1005	(559)
2. Upnutí HSK63	16,87	210	70,00	72,52	1059	561
3. Upnutí ISO50	31,98	210	69,86	57,95	2008	534
4. Upnutí HSK100	32,82	210	69,82	57,11	2061	530
5. Úplně otevřené	41,68	210	69,06	48,12	2618	(480)

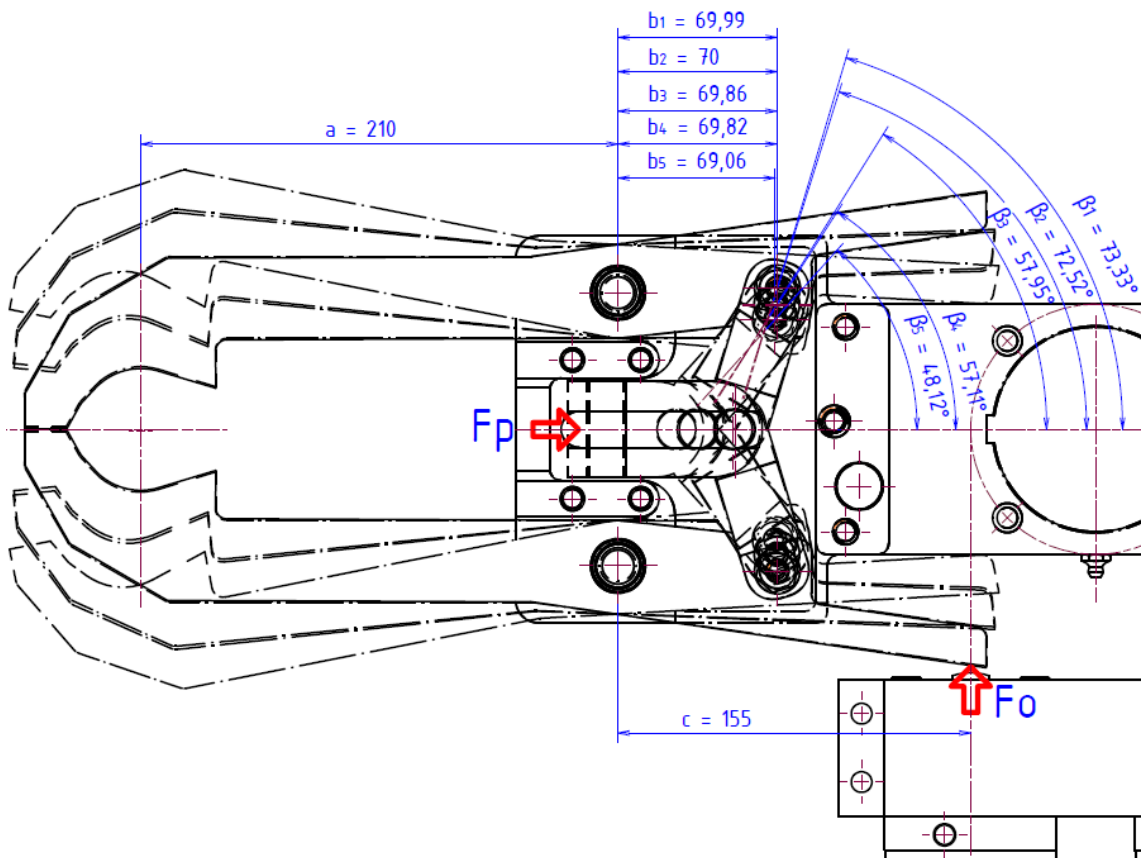
Příklad výpočtu síly na čelisti pro stav 3:

$$\begin{aligned}
 F_{\zeta_3} &= F_{p_3} \frac{b_3}{2a} \operatorname{tg}(\beta_3) = s_3 R \frac{b_3}{2a} \operatorname{tg}(\beta_3) = \\
 &= 31,98 \cdot 62,8 \frac{69,86}{2 \cdot 210} \operatorname{tg}(57,95) = 534 \text{ N}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Pro stavy 1 a 5 se neprovádí upnutí nástrojového drážku, proto se síla F_{ζ} uvedla v závorkách.

6.1.4. Výpočet síly pneumatického válce

Pro výpočet otevírací síly F_o pneumatického válce se použily rozměry z Obr. 43 a síla pružiny z Tabulka 4 vypočtena v kap. 6.1.3.

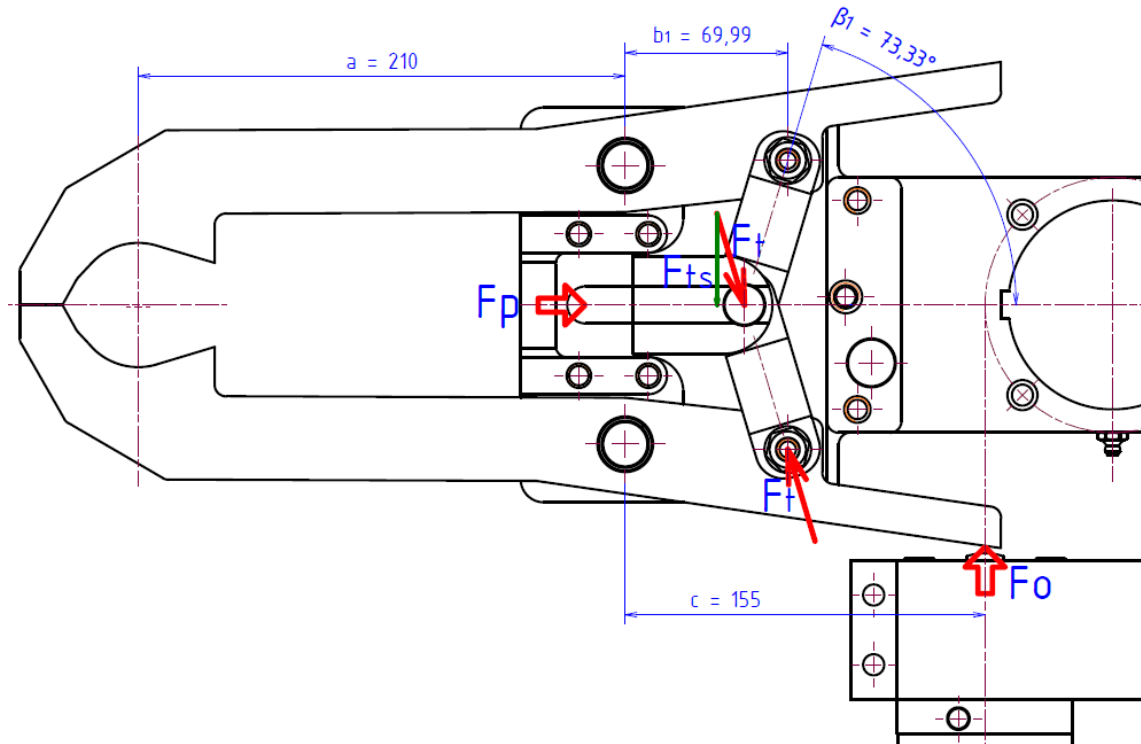


Obr. 43: Odečtení rozměrů pro výpočet síly pro otevření z modelu ramene (obrázek není v měřítku, rozměry jsou v mm)

Rovnováha sil nastane při:

$$F_o = F_p \frac{b}{c} \operatorname{tg}(\beta)
 \tag{12}$$

Pro následující kontrolní výpočty se spočítala osová síla F_t a její svislá složka F_{ts} (Obr. 44).



Obr. 44: Výpočet osová síly táhla (obrázek není v měřítku, rozměry jsou v mm)

$$F_t = \frac{F_p}{\cos(\beta)} \quad (13)$$

$$F_{ts} = F_t \sin(\beta) = F_p \operatorname{tg}(\beta) \quad (14)$$

Výpočet sil F_o , F_t a F_{ts} byl proveden pomocí SW MS Excel, výsledky jsou uvedené v Tabulka 5.

Tabulka 5: Vypočtené hodnoty sil F_o pneumatického válce pro otevření čelistí ramene a osová síly F_t v táhle.

Stav ramene	b [mm]	c [mm]	β [°]	F_p [N]	F_t [N]	F_{ts} [N]	F_o [N]
1. Zavřené	69,99	155	73,33	1005	3503	3356	1515
2. Upnutí HSK63	70,00	155	72,52	1059	3527	3364	1519
3. Upnutí ISO50	69,86	155	57,95	2008	3785	3208	1446
4. Upnutí HSK100	69,82	155	57,11	2061	3796	3187	1436
5. Úplně otevřené	69,06	155	48,12	2618	3921	2919	1301

Příklad výpočtu síly pneumatického válce F_o pro stav 2 (upnutí HSK63):

$$F_{o_2} = F_{p_2} \frac{b_2}{c} \operatorname{tg}(\beta_2) = 1059 \cdot \frac{70}{155} \operatorname{tg}(72,52^\circ) = 1519 \text{ N} \quad (15)$$

Příklad výpočtu osové síly F_t v táhle a její svislé složky F_{ts} pro stav 3 (upnutí ISO50):

$$F_{t_3} = \frac{F_{p_3}}{\cos(\beta_3)} = \frac{2008}{\cos(57,95^\circ)} = 3785 \text{ N} \quad (16)$$

$$F_{ts_3} = F_{p_3} \operatorname{tg}(\beta_3) = 2008 \operatorname{tg}(57,95^\circ) = 3208 \text{ N} \quad (17)$$

6.1.5. Volba pneumatického válce

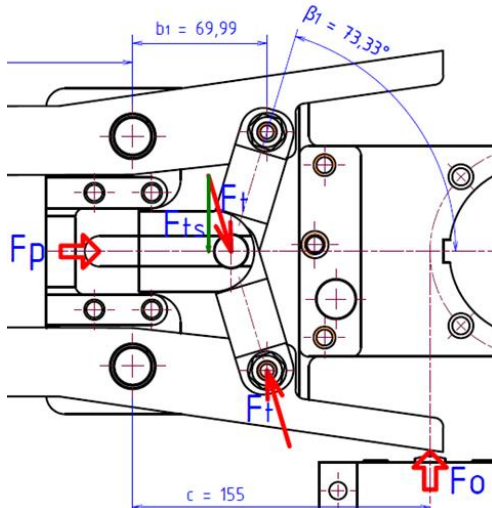
Pro vypočtené parametry byl zvolen pneumatický válec FESTO ADN-63-40-A-PPS-A s průměrem pístu 63 mm, zdvihem 40 mm a základním provedením pístnice. Teoretická síla pneumatických válců ADN je uvedena v Tabulka 6.

Tabulka 6: Kompaktní válce dle norem ADN/AEN (převzato z [24])

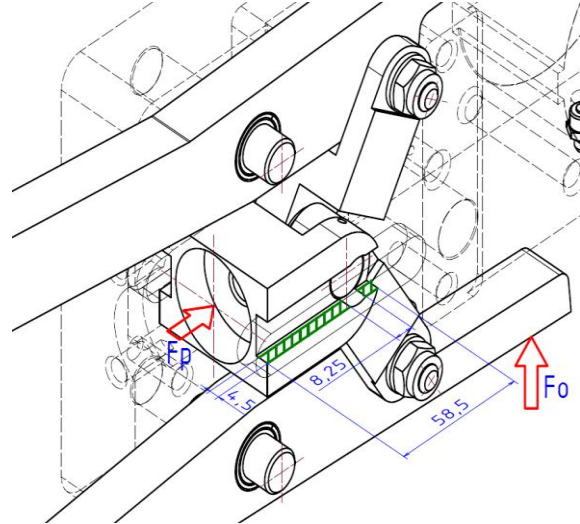
Síly [N]											
Ø pístu	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
teoretická síla při 6 barech, pohyb vpřed											
–	68	121	188	295	483	754	1 178	1 870	3 016	4 712	7 363
S1	–	–	–	295	–	754	–	1 870	–	4 712	–
S2	51	90	141	247	415	686	1 057	1 750	2 827	4 524	7 069
teoretická síla při 6 barech, pohyb vzad											
–	51	90	141	247	415	686	1 057	1 750	2 827	4 524	7 069
S1	–	–	–	247	–	633	–	1 681	–	4 417	–
S2	51	90	141	247	415	686	1 057	1 750	2 827	4 524	7 069

6.2. Kontrola tlaku v posuvném vedení

Při otevření ramene pneumatickým válcem svislá složka osově síly v táhle F_{ts} přitlačuje tlačný kámen k jedné straně posuvného vedení (Obr. 45).



Obr. 45: Síly při otevření
(obrázky nejsou v měřítku, rozměry jsou v mm)



Obr. 46: Plocha dotyku

Plocha dotyku jedné drážky a pera je vyznačena zeleně na Obr. 46. celková plocha dotyku:

$$A = 2 \cdot 4,5 \cdot (58,5 - 8,25) = 452,25 \text{ mm}^2 \quad (18)$$

Maximální síla, která přitlačuje kámen k drážce v průběhu otevření nebo zavření ramene je $F_{ts_3} = 3364,20 \text{ N}$ (Tabulka 5). Za předpokladů, že se tlak rovnoměrně rozloží na obou drážkách, maximální tlak za pohybu v posuvném vedení je:

$$p = \frac{F_{ts_3}}{A} = \frac{3364}{452,25} = 7,44 \text{ MPa} \quad (19)$$

Podle [4] dovolený tlak v posuvném vedení je $p_D = 20 \text{ MPa}$. Vypočtený tlak je menší než dovolený, posuvné vedení vyhovuje.

Podle [4] dovolené hodnoty jsou:

$$\tau_D = 80 \text{ N/mm}^2, \quad p_{1D} = 20 \text{ MPa}, \quad p_{2D} = 100 \text{ MPa}$$

Vypočtené hodnoty jsou menší než dovolený, čep vyhovuje.

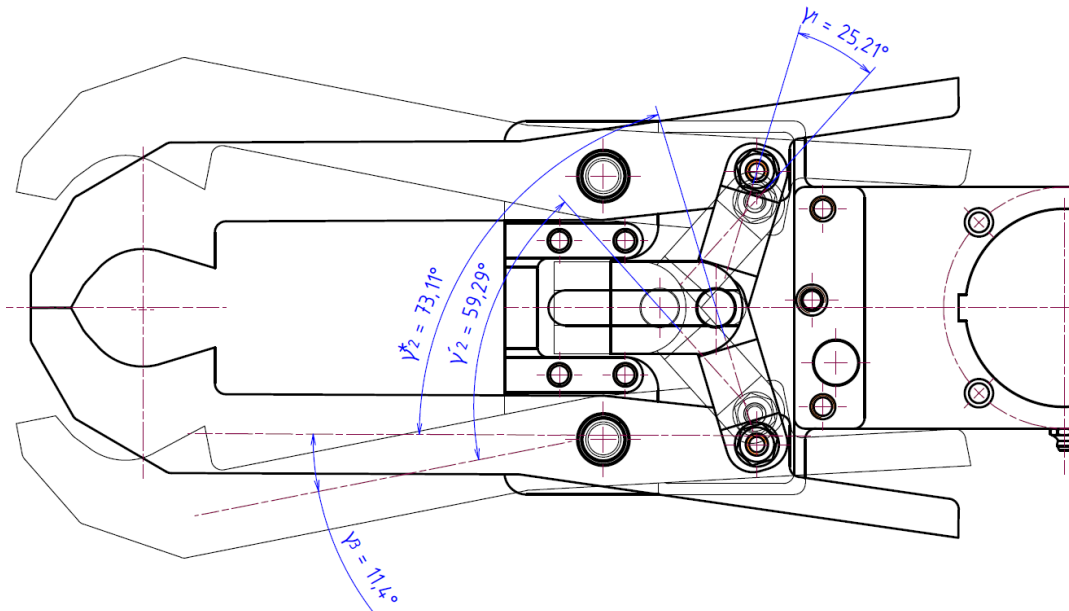
6.3.2. Výpočet trvanlivosti kluzného pouzdra PCMF 182017 E

Výpočet trvanlivostí byl proveden podle příručky výrobce [25]. Důležité pro výpočet parametry kluzného pouzdra jsou shrnuté v Tabulka 7.

Tabulka 7: Vybrané parametry kluzného pouzdra PCMF 182017 E [26]

	Parametr	Označení a jednotky	Hodnota
	Průměr vnitřní	d [mm]	18
	Průměr vnější	D [mm]	20
	Šířka	B [mm]	17
	Základní dynamická únosnost – rad. směr	C [kN]	20,8
	Základní statická únosnost – rad. směr	C ₀ [kN]	65,5
	Součinitel měrného dynamického zatížení	K [N/mm ²]	80
	Součinitel závislý na materiálu ložiska	K _M [1]	480
	Přípustná kluzná rychlost maximální	v [m/s]	2

Na Obr. 48 jsou znázorněné dva mezní stavy polohy pohyblivých elementů mechanismu otočného ramene a vyznačené úhly kyvů.



Obr. 48: Úhly kyvů

Pro výpočet byla použita předpokládaná doba otevření čelistí $t = 0,6 \text{ s}$.

Zatěžovací síla (hodnoty převzaté z Tabulka 5):

$$F = \frac{F_{min} + 2F_{max}}{3} = \frac{F_{t_1} + 2F_{t_5}}{3} = \frac{3503 + 2 \cdot 3921}{3} = 3782 \text{ N} \quad (23)$$

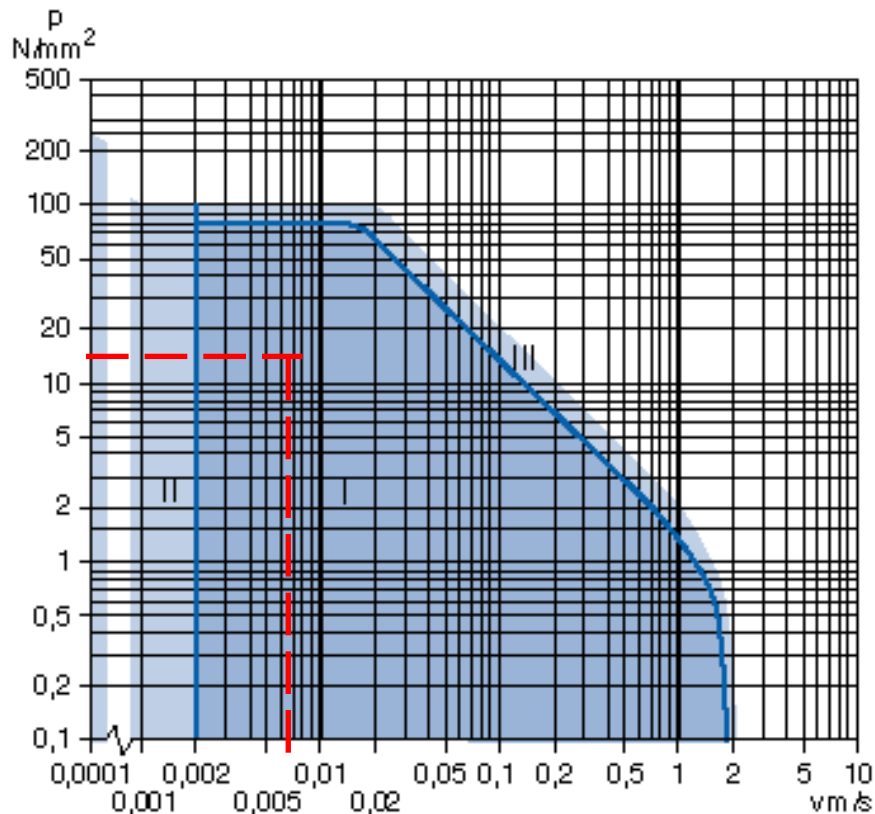
Měrné zatížení kluzného pouzdra:

$$p = K \frac{F}{C} = 80 \frac{3782}{20,8 \cdot 10^3} = 14,54 \text{ N/mm}^2 \quad (24)$$

Střední kluzná rychlost:

$$v = \gamma_1^0 \frac{2\pi d}{360 2t} = 25,21^\circ \frac{2\pi 18 \cdot 10^{-3}}{360 \cdot 2 \cdot 0,6} = 0,0066 \text{ m/s} \quad (25)$$

Z diagramu na Obr. 49 bylo zjištěno, že pracovní bod leží v oblasti platnosti rovnice trvanlivosti podle SKF (Oblast I).



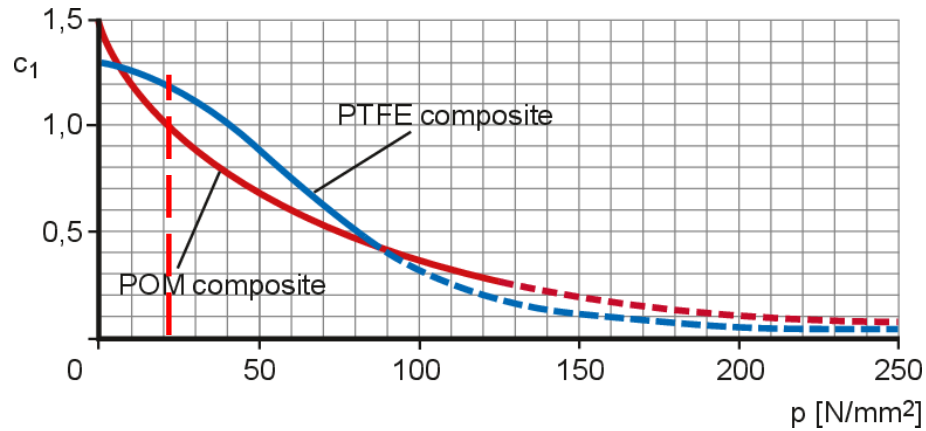
Obr. 49: Provozní rozsah pv kluzných ložisek PCMF s kompozitem E [25]

Rovnice základní trvanlivosti:

$$G_h = C_1 C_2 C_3 C_4 C_5 \frac{K_M}{(vp)^{n'}} \quad (26)$$

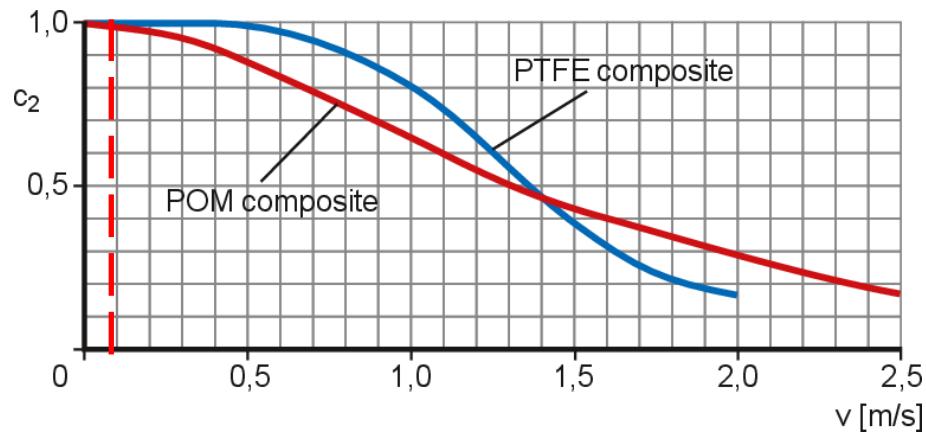
Koeficienty C_1 až C_4 byly zjištěny z následujících diagramů:

Součinitel zatížení $C_1 = 1,25$ (Obr. 50).



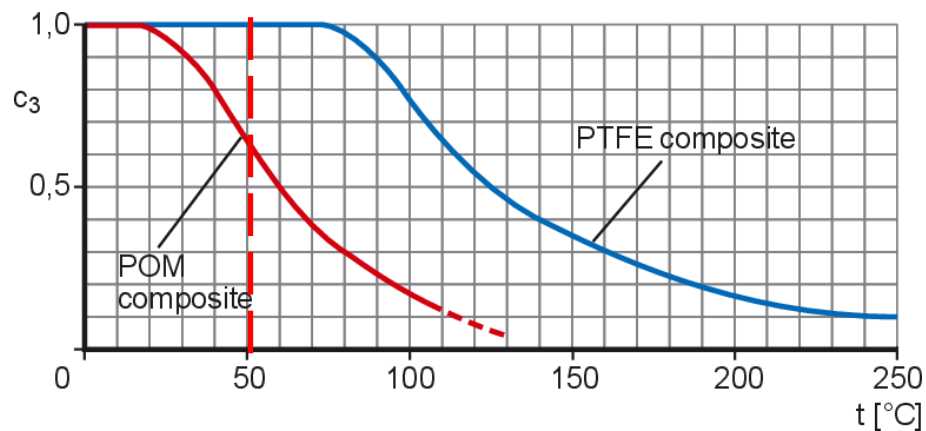
Obr. 50: Součinitel zatížení C_1 pro materiály ložisek PTFE a POM [25]

Součinitel rychlosti $C_2 = 1$ (Obr. 51).



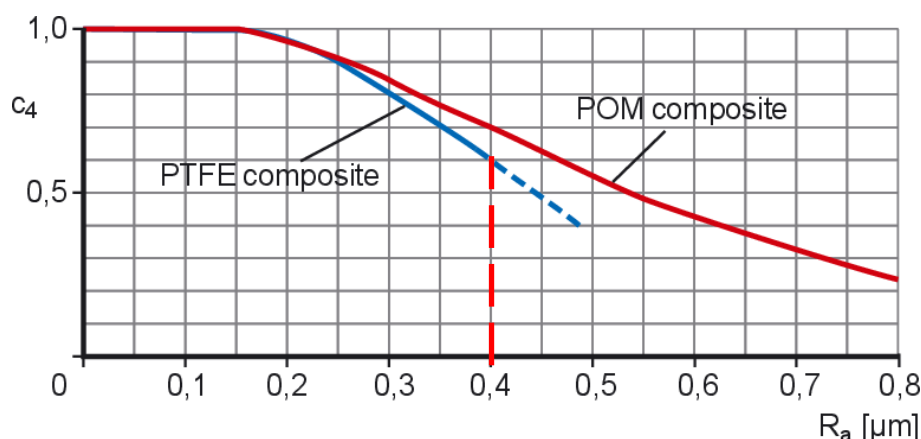
Obr. 51: Součinitel rychlosti C_2 pro materiály ložisek PTFE a POM [25]

Teplotní součinitel (předpoklad: max. pracovní teplota 50°C) $C_3 = 1$ (Obr. 52).



Obr. 52: Teplotní součinitel C_3 pro materiály ložisek PTFE a POM [25]

Součinitel drsnosti povrchu $C_4 = 0,6$ pro $Ra\ 0,4$ (Obr. 53)



Obr. 53: Součinitel drsnosti povrchu C_4 pro materiály ložisek PTFE a POM [25]

Součinitel typu zatížení pro neměnný směr zatížení $C_5 = 1$

Exponent $n' = 1$ pro materiál PTFE

Výpočet základní trvanlivosti:

$$G_h = C_1 C_2 C_3 C_4 C_5 \frac{K_M}{(vp)^{n'}} = 1,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 1 \frac{480}{(0,0066 \cdot 14,54)^1} =$$

$$= 3751,40 \text{ hod} \quad (27)$$

Přepočet základní trvanlivosti na počet cyklů (jeden cyklus se skládá z jednoho otevření a jednoho zavření):

$$n = 30 \frac{\omega}{\pi} = 30 \frac{\gamma}{\pi t} = 30 \frac{\gamma^\circ}{\pi t 180} = \frac{\gamma^\circ}{6t} = \frac{25,21^\circ}{6 \cdot 0,6} = 7 \text{ ot/min} \quad (28)$$

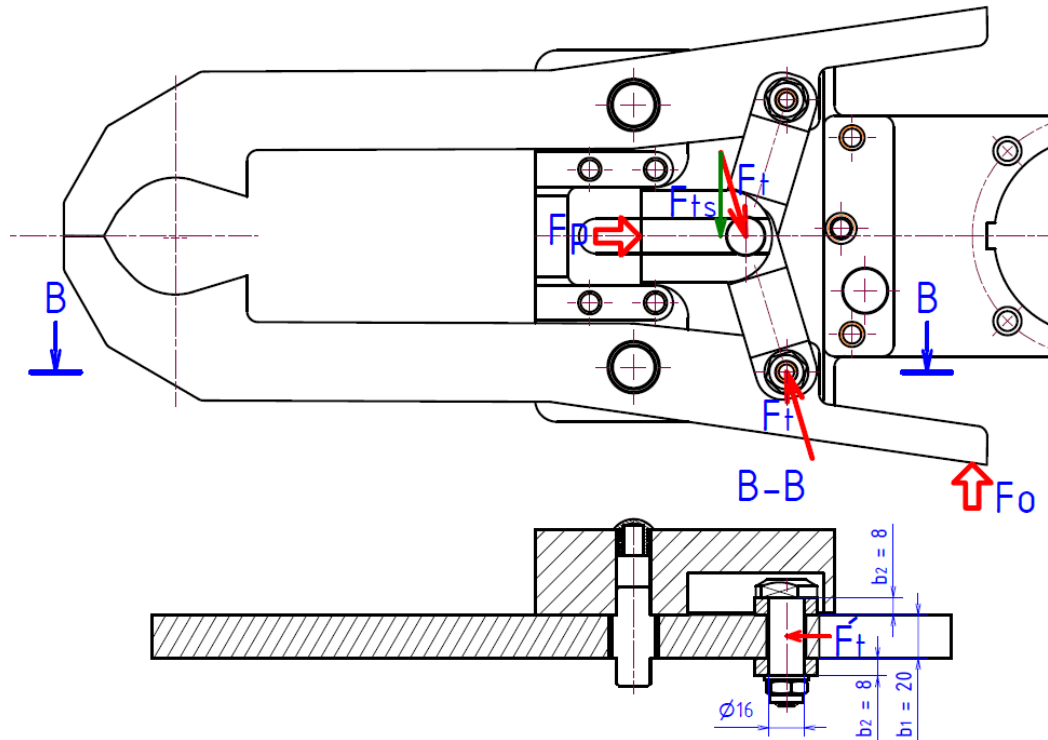
$$G_f = G_h \frac{180 \cdot 60n}{2\gamma_1^\circ 10^6} = 3751,40 \frac{180 \cdot 60 \cdot 7}{2 \cdot 25,21^\circ \cdot 10^6} = 5,6 \text{ Mil. cyklů} \quad (29)$$

Zatížení $F = 3,8 \text{ kN}$ leží v rozsahu základní dynamické únosnosti $C = 20,8 \text{ kN}$ a je výrazně nižší než základní statická únosnost $C_0 = 65,5 \text{ kN}$. Zvolené kluzné pouzdro PCMF 182017 E vyhovuje.

6.4. Kontrola čepu táhlo-čelist

6.4.1. Kontrola na smyk a tlak

Pro výpočet se použila největší vypočtená síla v ose táhla $F_t = 3920,93 \text{ N}$ při plném otevření čelistí. Rozměry pro výpočet jsou znázorněné na Obr. 54.



Obr. 54: Síly a rozměry pro kontrolní výpočet čepu táhlo-čelist (obrázek není v měřítku, rozměry jsou v mm)

Kontrola na smyk:

$$\tau = \frac{F_t}{2A} = \frac{4F_t}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 3921}{\pi 16^2} = 19,50 \text{ N/mm}^2 \quad (30)$$

Kontrola na tlak v pohyblivém spojení čep-táhlo:

$$p_1 = \frac{F_t}{b_1 d} = \frac{3921}{20 \cdot 16} = 12,25 \text{ MPa} \quad (31)$$

Kontrola na tlak v nepohyblivém spojení čep-tlačný kámen:

$$p_2 = \frac{F}{2b_2 d} = \frac{3921}{2 \cdot 8 \cdot 16} = 15,31 \text{ MPa} \quad (32)$$

Podle [4] dovolené hodnoty jsou:

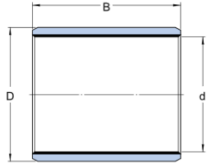
$$\tau_D = 80 \text{ N/mm}^2, \quad p_{1D} = 20 \text{ MPa}, \quad p_{2D} = 100 \text{ MPa}$$

Vypočtené hodnoty jsou menší než dovolené, čep vyhovuje.

6.4.2. Výpočet trvanlivosti kluzného pouzdra PCM 161820 E

Pro výpočet byly použité parametry kluzného pouzdra (Tabulka 8) a úhel kyvu $\gamma_2^0 = \gamma_2^* - \gamma_2' = 73,11^\circ - 59,29^\circ = 12,85^\circ$ (Obr. 48).

Tabulka 8: Vybrané parametry kluzného pouzdra PCM 161820 E [27]

	Parametr	Označení a jednotky	Hodnota
	Průměr vnitřní	d [mm]	16
Průměr vnější	D [mm]	18	
Šířka	B [mm]	20	
Základní dynamická únosnost	C [kN]	25,5	
Základní statická únosnost	C ₀ [kN]	80	
Součinitel měrného dynamického zatížení	K [N/mm ²]	80	
Součinitel závislý na materiálu ložiska	K _M [1]	480	
Přípustná kluzná rychlost maximální	v [m/s]	2	

Zatěžovací síla (hodnoty převzaté z Tabulka 5):

$$F = \frac{F_{min} + 2F_{max}}{3} = \frac{F_{t_1} + 2F_{t_5}}{3} = \frac{3503 + 2 \cdot 3921}{3} = 3782 \text{ N} \quad (33)$$

Měrné zatížení kluzného pouzdra:

$$p = K \frac{F}{C} = 80 \frac{3782}{25,5 \cdot 10^3} = 11,87 \text{ N/mm}^2 \quad (34)$$

Střední kluzná rychlost:

$$v = \gamma_2^0 \frac{2\pi d}{360 2t} = 12,85^\circ \frac{2\pi \cdot 16 \cdot 10^{-3}}{360 \cdot 2 \cdot 0,6} = 0,0029 \text{ m/s} \quad (35)$$

Z diagramu na Obr. 49 bylo zjištěno, že pracovní bod leží v oblasti platnosti rovnice trvanlivosti podle SKF (Oblast I).

Hodnoty součinitelů C_i a exponentu n' jsou následující:

- Součinitel zatížení $C_1 = 1,28$ (Obr. 50)
- Součinitel rychlosti $C_2 = 1$ (Obr. 51)
- Teplotní součinitel $C_3 = 1$ (Obr. 52)
- Součinitel drsnosti povrchu $C_4 = 0,6$ pro $Ra 0,4$ (Obr. 53)
- Součinitel typu zatížení pro neměnný směr zatížení $C_5 = 1$
- Exponent $n' = 1$ pro materiál PTFE



Výpočet základní trvanlivosti

$$G_h = C_1 C_2 C_3 C_4 C_5 \frac{K_M}{(vp)^{n'}} = 1,28 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 1 \frac{480}{(0,0029 \cdot 11,87)^1} =$$

(36)

$$= 10709 \text{ hod}$$

Přepočet základní trvanlivosti na počet cyklů (jeden cyklus se skládá z jednoho otevření a jednoho zavření)

$$n = 30 \frac{\omega}{\pi} = 30 \frac{\gamma}{\pi t} = 30 \frac{\gamma_2^{\circ}}{\pi t} \frac{\pi}{180} = \frac{\gamma_2^{\circ}}{6t} = \frac{12,85^{\circ}}{6 \cdot 0,6} = 3,60 \text{ ot/min} \quad (37)$$

$$G_f = G_h \frac{180 \cdot 60n}{2\gamma_2^{\circ} 10^6} = 3751,40 \frac{180 \cdot 60 \cdot 3,60}{2 \cdot 12,85^{\circ} \cdot 10^6} = 5,6 \text{ Mil. cyklů} \quad (38)$$

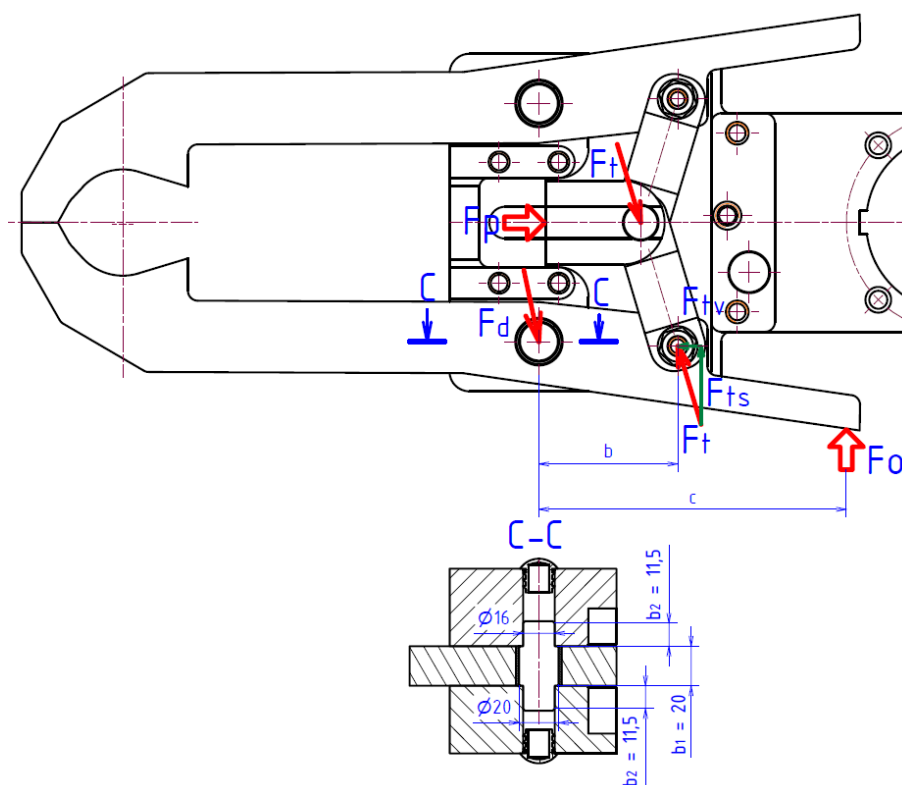
Zatížení $F = 3,8 \text{ kN}$ leží v rozsahu základní dynamické únosnosti $C = 25,5 \text{ kN}$ a je výrazně nižší než základní statická únosnost $C_0 = 80 \text{ kN}$. Zvolené kluzné pouzdro PCM 161820 E vyhovuje.

6.5. Kontrola čepu čelist-rameno

6.5.1. Kontrola na smyk a tlak

Zatížení čepu čelist rameno se dá rozdělit na dva případy: zatížení při otevření/zavření a statické zatížení při upnutém nástrojovém drážku.

V prvním případě pro výpočet síly na čep čelisti při otevření/zavření F_d se použilo schéma z Obr. 55, vypočtené v kap. 6.1.4 síly F_t a F_o (Tabulka 5) a rozměry (b, c, β) z Obr. 43. Vliv případné vodorovné složky síly od pneumatického válce se zanedbal.



Obr. 55: Schéma pro výpočet síly na čep za pohybu čelisti (obrázek není v měřítku, rozměry jsou v mm)

Výpočet síly F_d proveden pomocí SW MS Excel, výsledky jsou uvedené v Tabulka 9

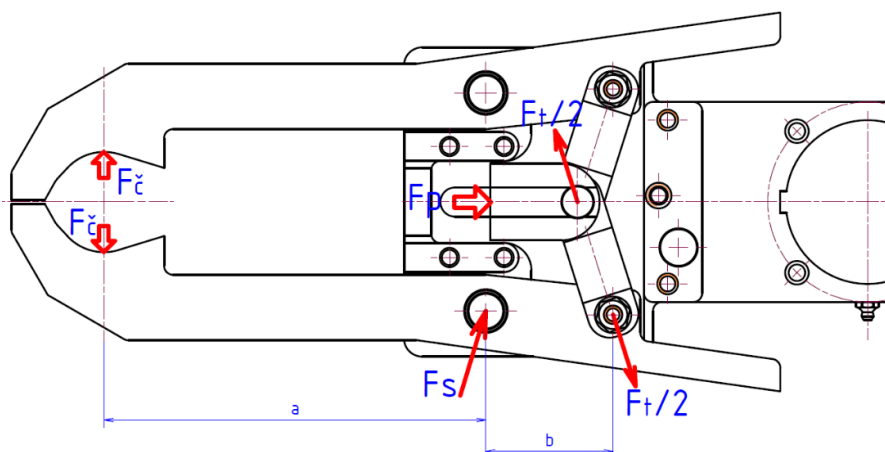
Tabulka 9: Výpočet síly na čep čelisti při otevření F_d

Stav ramene	b [mm]	c [mm]	β [°]	F_t [N]	F_{ts} [N]	F_{tv} [N]	F_d [N]
1. Zavřené	69,99	155	73,33	3503	3356	1005	2097
2. Upnutí HSK63	70,00	155	72,52	3527	3364	1059	2127
3. Upnutí ISO50	69,86	155	57,95	3785	3208	2008	2672
4. Upnutí HSK100	69,82	155	57,11	3796	3187	2061	2705
5. Úplně otevřené	69,06	155	48,12	3921	2919	2618	3078

Příklad výpočtu síly F_{d_5} pro stav 5:

$$\begin{aligned}
 F_{d_5} &= \sqrt{(F_{ts_5}(c-b)/b)^2 + F_{tv_5}^2} = \\
 &= \sqrt{(2919(155-69,06)/255)^2 + 2618^2} = 3078 \text{ N}
 \end{aligned}
 \tag{39}$$

Ve druhém případě (při upnutém nástroji) bude síla F_t jen poloviční oproti předchozímu případu (Obr. 56). Použily se rozměry z Obr. 42 a hodnoty F_t z Tabulka 9.



Obr. 56: Schéma pro výpočet síly na čep čelist-rameno

Výpočet síly na čep čelisti při uchopeném nástroji F_s proveden pomocí SW MS Excel, výsledky jsou uvedené v Tabulka 10.

Tabulka 10: Výpočet síly na čep čelisti při uchopeném nástroji F_s

Stav ramene	a [mm]	b [mm]	F_t [N]	F_{ts} [N]	F_{tv} [N]	F_s [N]
1. Zavřené	210	69,99	3503	3356	1005	-
2. Upnutí HSK63	210	70,00	3527	3364	1059	2304
3. Upnutí ISO50	210	69,86	3785	3208	2008	2363
4. Upnutí HSK100	210	69,82	3796	3187	2061	2361
5. Úplně otevřené	210	69,06	3921	2919	2618	2344

Ve stavu 1 nedochází k upnutí nástroje. Příklad výpočtu F_s pro stav 3:

$$\begin{aligned}
 F_{s_3} &= \sqrt{\left(\frac{F_{ts_3}(a+b)}{2a}\right)^2 + \left(\frac{F_{tv_3}}{2}\right)^2} = \\
 &= \sqrt{\left(\frac{3208(210-69,86)}{2 \cdot 210}\right)^2 + \left(\frac{2618}{2}\right)^2} = 2363 \text{ N}
 \end{aligned}
 \tag{40}$$

Následující kontrolní výpočty budou provedeny pro největší sílu, působící na čep, $F_{d_5} = 3077,53 \text{ N}$ z případu 1, rozměry čepu jsou na Obr. 55.

Kontrola na smyk:

$$\tau = \frac{F_{d_5}}{2A} = \frac{2F_{d_5}}{\pi d^2} = \frac{2 \cdot 3078}{\pi 16^2} = 7,65 \text{ N/mm}^2 \quad (41)$$

Kontrola na tlak v pohyblivém spojení čep-táhlo:

$$p_1 = \frac{F_{d_5}}{b_1 D} = \frac{3078}{20 \cdot 20} = 7,69 \text{ MPa} \quad (42)$$

Kontrola na tlak v nepohyblivém spojení čep-tlačný kámen:

$$p_2 = \frac{F_{d_5}}{2b_2 d} = \frac{3078}{2 \cdot 11,5 \cdot 16} = 8,39 \text{ MPa} \quad (43)$$

Podle [4] dovolené hodnoty jsou:

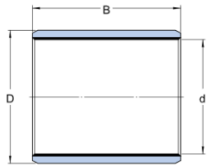
$$\tau_D = 80 \text{ N/mm}^2, \quad p_{1D} = 20 \text{ MPa}, \quad p_{2D} = 100 \text{ MPa}$$

Vypočtené hodnoty jsou menší než dovolené, čep vyhovuje.

6.5.2. Výpočet trvanlivosti kluzného pouzdra PCM 202320 E

Pro výpočet byly použité parametry kluzného pouzdra (Tabulka 11) a úhel kyvu $\gamma_3^0 = 11,4^\circ$ (Obr. 48).

Tabulka 11: Vybrané parametry kluzného pouzdra PCM 202320 E [28]

	Parametr	Označení a jednotky	Hodnota
	Průměr vnitřní	d [mm]	20
Průměr vnější	D [mm]	23	
Šířka	B [mm]	20	
Základní dynamická únosnost	C [kN]	30,5	
Základní statická únosnost	C ₀ [kN]	96,5	
Součinitel měrného dynamického zatížení	K [N/mm ²]	80	
Součinitel závislý na materiálu ložiska	K _M [1]	480	
Přípustná kluzná rychlost maximální	v [m/s]	2	

Zatěžovací síla (hodnoty převzaté z Tabulka 9):

$$F = \frac{F_{min} + 2F_{max}}{3} = \frac{F_{d_1} + 2F_{d_5}}{3} = \frac{2097 + 2 \cdot 3078}{3} = 2751 \text{ N} \quad (44)$$

Měrné zatížení kluzného pouzdra:

$$p = K \frac{F}{C} = 80 \frac{2751}{30,5 \cdot 10^3} = 7,21 \text{ N/mm}^2 \quad (45)$$

Střední kluzná rychlost:

$$v = \gamma_3^0 \frac{2\pi d}{360 2t} = 11,4^\circ \frac{2\pi \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{360 \cdot 2 \cdot 0,6} = 0,0033 \text{ m/s} \quad (46)$$

Z diagramu na Obr. 49 bylo zjištěno, že pracovní bod leží v oblasti platnosti rovnice trvanlivosti podle SKF (Oblast I).

Hodnoty součinitelů C_i a exponentu n jsou následující:

- Součinitel zatížení $C_1 = 1,29$ (Obr. 50)
- Součinitel rychlosti $C_2 = 1$ (Obr. 51)
- Teplotní součinitel $C_3 = 1$ (Obr. 52)
- Součinitel drsnosti povrchu $C_4 = 0,6$ pro $Ra 0,4$ (Obr. 53)
- Součinitel typu zatížení pro neměnný směr zatížení $C_5 = 1$
- Exponent $n = 1$ pro materiál PTFE

Výpočet základní trvanlivosti:

$$G_h = C_1 C_2 C_3 C_4 C_5 \frac{K_M}{(vp)^n} = 1,29 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 1 \frac{480}{(0,0033 \cdot 7,21)^1} = 15636,4 \text{ hod} \quad (47)$$

Přepočet základní trvanlivosti na počet cyklů (jeden cyklus se skládá z jednoho otevření a jednoho zavření):

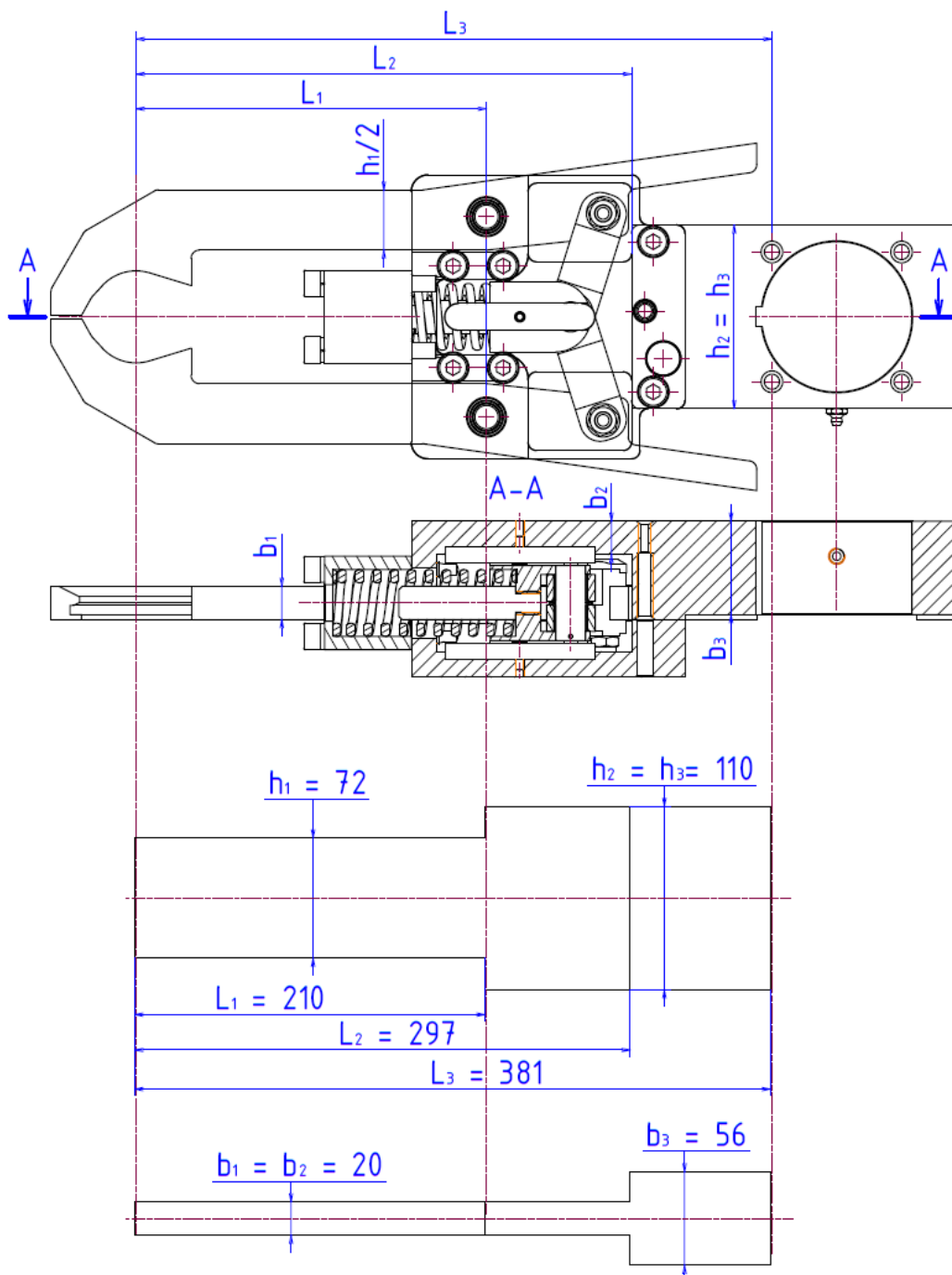
$$n = 30 \frac{\omega}{\pi} = 30 \frac{\gamma}{\pi t} = 30 \frac{\gamma_3^0 \pi}{\pi t 180} = \frac{\gamma_3^0}{6t} = \frac{11,4^\circ}{6 \cdot 0,6} = 3,16 \text{ ot/min} \quad (48)$$

$$G_f = G_h \frac{180 \cdot 60 n}{2\gamma_3^0 10^6} = 15636,4 \frac{180 \cdot 60 \cdot 3,16}{2 \cdot 11,4^\circ \cdot 10^6} = 23,4 \text{ Mil. cyklů} \quad (49)$$

Zatížení $F = 2,7 \text{ kN}$ leží v rozsahu základní dynamické únosnosti $C = 30,5 \text{ kN}$ a je výrazně nižší než základní statická únosnost $C_0 = 96,5 \text{ kN}$. Zvolené kluzné pouzdro PCM 202320 E vyhovuje.

6.6. Výpočet nakroucení a ohybu otočného ramene

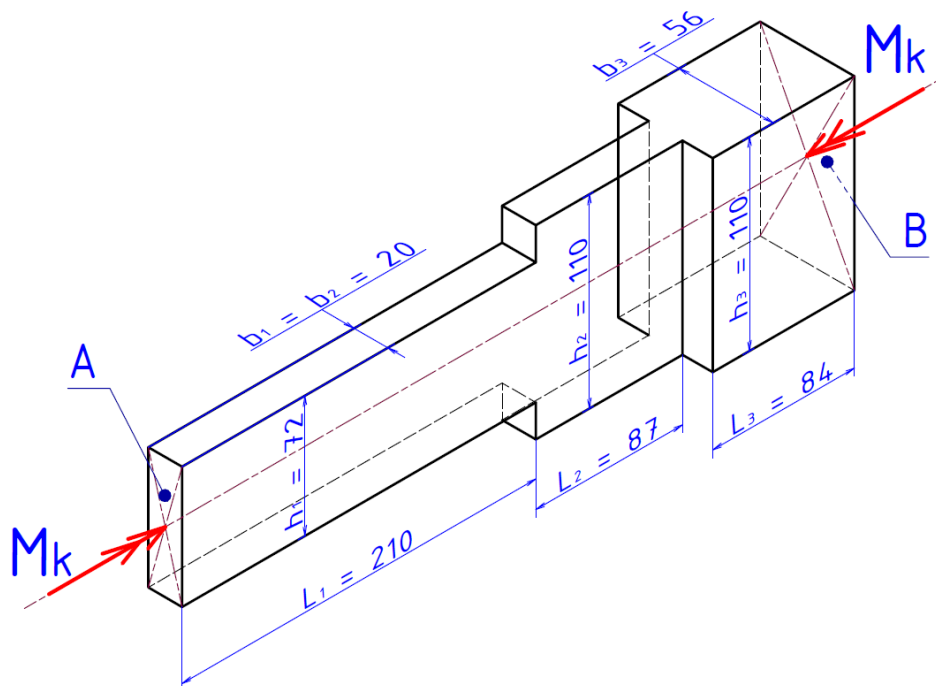
Tento výpočet je pouze orientační, poněvadž větší vliv na nakroucení a průhyb ramene mají tuhost mechanismu manipulátoru, kostry manipulátoru a uložení manipulátoru na pojízdném vedení. Model otočného ramene byl převeden na výpočtový model podle Obr. 57.



Obr. 57: 3D model otočného ramene (nahore) a výpočtový model (dole)
(obrázek není v měřítku, rozměry jsou v mm)

6.6.1. Nakroucení ramene

Pro výpočet nakroucení ramene byl použit model z Obr. 58, uvažovalo se volné kroucení momentem $M_k = mgl/2 = 25 \cdot 9,81 \cdot 500/2 = 65312,5 \text{ Nmm}$ kde m je maximální hmotnost nástroje (25 kg) a l je maximální délka nástroje (500 mm).



Obr. 58: Schéma pro výpočet nakroucení ramene (obrázek není v měřítku, rozměry jsou v mm)

Nakroucení roviny A vůči rovině B je:

$$\varphi_{AB} = \sum_{i=1}^3 \frac{M_k L_i}{G J_{ki}} \quad (50)$$

Výpočet kvadratických momentů J_{ki} se provedl podle Tabulka 12

Tabulka 12: Vzorce pro výpočet kvadratického momentu v krutu J_k a hodnoty bezrozměrného součinitele c [4]

	$m = \frac{h}{b} > 1$					$J_k = chb^3$			
	$m = \frac{h}{b} \geq 4$					$J_k = \frac{(m - 0,63)b^4}{3}$			
m	1	1,5	2	3	4	6	8	10	∞
c	0,141	0,196	0,229	0,263	0,281	0,289	0,307	0,312	0,333



Výpočet J_{k1} :

$$m^I = \frac{h_1}{b_1} = \frac{72}{20} = 3,6 \quad (51)$$

$$\begin{aligned} c^I &= c_3 + \frac{c_4 - c_3}{m_4 - m_3} (m^I - m_3) = \\ &= 0,263 + \frac{0,281 - 0,263}{4 - 3} (3,6 - 3) = 0,2738 \end{aligned} \quad (52)$$

$$J_{k1} = c^I h_1 b_1^3 = 0,2738 \cdot 72 \cdot 20^3 = 157708,8 \text{ mm}^4 \quad (53)$$

Výpočet J_{k2} :

$$m^{II} = \frac{h_2}{b_2} = \frac{110}{20} = 5,5 \quad (54)$$

$$J_{k2} = \frac{(m^{II} - 0,63)b_2^4}{3} = J_k = \frac{(5,5 - 0,63) 20^4}{3} = 257733,33 \text{ mm}^4 \quad (55)$$

Výpočet J_{k3} :

$$m^{III} = \frac{h_3}{b_3} = \frac{110}{56} = 1,96 \approx 2 \quad (56)$$

$$J_{k3} = c_2 h_3 b_3^3 = 0,229 \cdot 110 \cdot 56^3 = 4423767 \text{ mm}^4 \quad (57)$$

Výpočet nakroucení ramene:

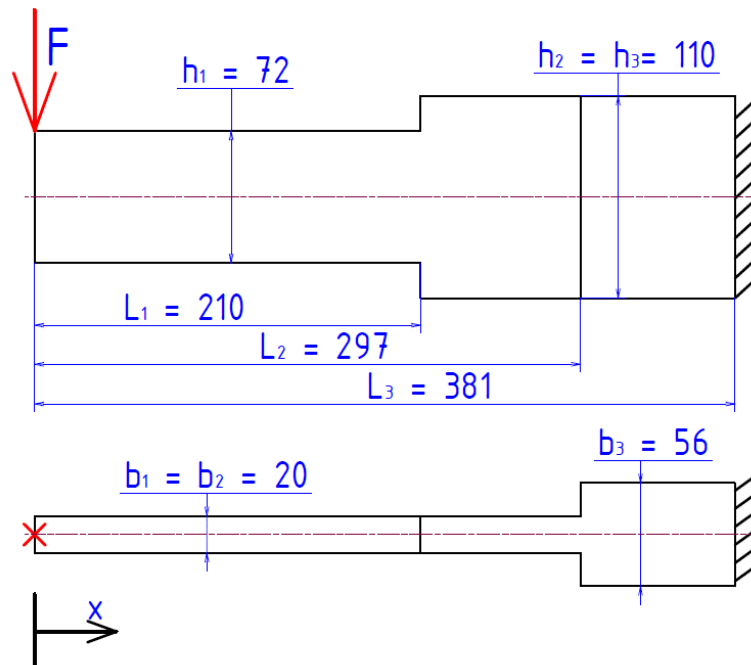
$$\begin{aligned} \varphi_{AB} &= \frac{M_k}{G} \left(\frac{L_1}{J_{k1}} + \frac{L_2}{J_{k2}} + \frac{L_3}{J_{k3}} \right) = \\ &= \frac{65312,5}{81000} \left(\frac{210}{157708,8} + \frac{87}{257733,33} + \frac{84}{4423767} \right) = 0,00136 \text{ rad} \end{aligned} \quad (58)$$

$$\varphi_{AB} = 0,078^\circ$$

Nakroucení ramene $\varphi_{AB} = 0,078^\circ$ bylo zadavatelem BP vyhodnoceno za vyhovující.

6.6.2. Ohyb ramene

V tomto případě (Obr. 59) se rameno považuje za pevně uložené na pravém konci, na levém konci je zatíženo silou $F = mg = 25 \cdot 9,81 = 245,25 \text{ N}$, kde m je maximální hmotnost nástroje (25 kg).



Obr. 59: Schéma pro výpočet ohybu ramene (obrázek není v měřítku, rozměry jsou v mm)

Výpočet se provedl podle Mohrova integrálu (u je svislý posuv konce ramene):

$$\begin{aligned} u &= \int_{(L)} \frac{M_o(x) \cdot m_o(x)}{EJ_z(x)} dx = \int_{(L)} \frac{(-Fx) \cdot (-x)}{EJ_z(x)} dx = \\ &= \frac{F}{E} \left(\int_0^{L_1} \frac{x^2}{J_{z1}(x)} dx + \int_{L_1}^{L_2} \frac{x^2}{J_{z2}(x)} dx + \int_{L_2}^{L_3} \frac{x^2}{J_{z3}(x)} dx \right) \end{aligned} \quad (59)$$

Po integraci:

$$\begin{aligned} u &= \frac{4F}{E} \left(\frac{L_1^3}{b_1 h_1^3} + \frac{L_2^3 - L_1^3}{b_2 h_2^3} + \frac{L_3^3 - L_2^3}{b_3 h_3^3} \right) = \\ &= \frac{4 \cdot 245,25}{210000} \left(\frac{210^3}{20 \cdot 72^3} + \frac{297^3 - 210^3}{20 \cdot 110^3} + \frac{381^3 - 297^3}{56 \cdot 110^3} \right) = 0,01 \text{ mm} \end{aligned} \quad (60)$$

Ohyb ramene $u = 0,01 \text{ mm}$ byl zadavatelem BP vyhodnocen za vyhovující.

7. Závěr

V bakalářské práci byla provedena analýza existujících řešení AVN pro různé typy obráběcích strojů. Podrobněji byla rozebrána konstrukce otočných ramen manipulátoru pro AVN včetně univerzálních provedení.

Sohledem na prostudovaná konstrukční řešení byla provedena analýza možného řešení pro dané požadavky zadavatele BP a navrhlo se 4 varianty konstrukce ramene. Byla sestavená tabulka vlastností variant řešení, ze které následně byla vybrána varianta pro detailní zpracování.

Navržené konstrukční řešení splňuje požadavky zadavatele BP popsané v kapitole 2. (Cíle práce) a disponuje následujícími vlastnostmi:

- Hmotnost ramene – 43,6 kg
- Moment setrvačnosti k ose otáčení ramene – 2 kg/m²
- Doba uchopení/uvolnění nástroje – max. 0,6 s
- Nakroucení ramene s uchopeným nástrojem – 0,078°
- Průhyb ramene s uchopeným nástrojem – 0,01 mm
- Počet cyklů uchopení nástroje – 5,6.10⁶

Všechny vlastností jsou zadavatelem BP vyhodnocené za vyhovující. Výsledky kontrolních výpočtů jsou v doporučených odbornou literaturou mezích.

Grafické zpracování (příloha Výkresová dokumentace):

- Výkres sestavy RAMENO OTOČNÉ NUCENĚ OTEVÍRANÉ PRO ISO 50 HSK 100 HSK 63 s kusovníkem (číslo výkresu RONU-01-00)
- Výrobní výkres TĚLESO RAMENE (číslo výkresu RONU-01-01)
- Výrobní výkres ČELIST A (číslo výkresu RONU-01-04)
- Výrobní výkres KÁMEN TLAČNÝ (číslo výkresu RONU-01-07)

Seznamy

Seznam použitých zdrojů

- [1] HOUŠA, Jaromír a Bedřich RUDOLF. *Výrobní stroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-0993-9.
- [2] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. 3. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN ISBN9788026067801.
- [3] PAVLÍK, Jan. *PROBLEMATIKA RYCHLÉ AUTOMATICKÉ VÝMĚNY NÁSTROJŮ U OBRÁBĚCÍCH STROJŮ*. Brno, 2011. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Školitel: prof. Ing. Zdeněk Kolíbal CSc.
- [4] BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. *Části strojů*. Vyd. 5., přeprac. (v SNTL 1. vyd.). Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. Technický průvodce. ISBN 80-030-0046-7.
- [5] Vyvrtávačka desková WRD 130/150 (Q) - TOS Varnsdorf a.s. In: *Vyvrtávačka desková WRD 130/150 (Q) - TOS Varnsdorf a.s.* [online]. Varnsdorf: TOS VARNSDORF [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: <https://www.tosvarnsdorf.cz/cz/produkty/horizontalni-vyvrtavacky-deskove/wrd-130-150-q/#&gid=1&pid=8>
- [6] Revolverová hlava s poháněnými nástroji, Difak s.r.o. In: *Revolverové hlavy typu TMBR BMT | Difak* [online]. Praha: Difak [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <http://www.difak.cz/cs/baruffaldi/revolverove-hlavy-typu-tmbr-bmt>
- [7] *Manurhin k'mx 413* [online]. Zlín, Malenovice: TAJMAC-ZPS [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: http://www.tajmac-zps.cz/sites/tajmac-zps-2.os.zps/files/kmx413_en.pdf
- [8] Lineární zásobník stroje Felder profit H10. In: *Dřevoobráběcí stroje Felder, Formátovací a okružní kotoučové pily, Spodní frézky, Srovnávací a tloušťkovací frézky, Filtrační jednotky* [online]. Praha: FELDER GROUP CZ [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://www.felder-group.com/cz-cz/vyrobky/cnc-obrabeci-centra/cnc-obrabeci-centrum-pro-nesting-profit-h10.html#lightbox-content-1472>
- [9] Zásobník nástrojů PAMA SPA. In: *Boring, milling machines and machining centers | PAMA Rovereto | Automatic Tool Changers* [online]. Rovereto, ITALY: PAMA SPA [cit. 2018-04-06]. Dostupné z: <http://us.pama.it/accessori/magazzini-utensili/>
- [10] Bubnový zásobník ATC 2450. In: *Zvláštní příslušenství ke strojům CM | ZAMAQ Tech - CNC obráběcí stroje a multifunkční centra* [online]. Hranice: ZAMAQ [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <http://www.zamaq.cz/zvlastni-prislusenstvi-ke-strojum-CM>



- [11] *Navýšení kapacity řetězového zásobníku Averex* [online]. In: Taichung, Taiwan: Averex Automation [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.averexcnc.com/images/pro/en/HS-450i/15.jpg>
- [12] Kinematické schéma dlouhotočného automatu MANURHIN K'MX 413. In: *Sliding headstock (swiss type) automatic lathe MANURHIN K'MX 413 / TAJMAC-ZPS, a.s.* [online]. Zlín, Malenovice: TAJMAC-ZPS [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.tajmac-zps.cz/en/KMX413>
- [13] AVN pro portálová frézovací centra Mattec. In: *Portálová frézovací centra Mattec - výměna nástrojů > Mattec tschechisch* [online]. Brno: SIRtec [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: https://www.mattec.de/cz/wp-content/uploads/sites/5/2017/12/4-WZW_02-1920x1021.jpg
- [14] Řešení AVN Fermat – Kuka s použitím univerzálního robotu. In: *TR Wigglesworth Machinery Company - Fermat Robotic Tool Crib - This Changes Everything! ::..* [online]. Bedford, Ohio: Wigglesworth Machinery [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.wigglesworth.com/display.cfm?p=1180&pp=883>
- [15] Kombinace výměníku zasekávacího typu a bubnového zásobníku s výklopnými lůžky na MAKO QH-630. In: *QH-630 - Rich Metal Co., Ltd* [online]. Bangkok, Thailand: Rich Metal [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: <http://www.richmetal.co.th/qh-630>
- [16] *Werkzeugwechselvorrichtung*. DE20102003378U. Uděleno 2011-08-04. Zapsáno 2010-03-10. Dostupné také z: https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20110804&DB=&locale=en_EP&CC=DE&NR=202010003378U1&KC=U1&ND=4
- [17] Vodorovná vyvrtávačka WHN 110Q. In: *Vodorovná vyvrtávačka WHN 110 (Q, MC) - TOS Varnsdorf a.s.* [online]. Varnsdorf: TOS Varnsdorf [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <https://www.tosvarnsdorf.cz/cz/produkty/horizontalni-vyvrtavacky-stolove/whn-110-q-mc/#&gid=1&pid=9>
- [18] *Gripper device for tool changer has locking device arranged between rotatably mounted second gripper section and control rod and rotatably mounted on gripper device via rotation point*. DE20061000354. Uděleno 2007-12-13. Zapsáno 2006-07-20. Dostupné také z: https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20071213&DB=&locale=en_EP&CC=DE&NR=102006000354B3&KC=B3&ND=4
- [19] *Automatic tool-changing arm of automatic tool changer*. US7604584. Uděleno 2009-10-20. Zapsáno 2008-06-18. Dostupné také z: https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20091020&DB=&locale=en_EP&CC=US&NR=7604584B1&KC=B1&ND=4



- [20] Special gripper arm CFT Rizzardi srl. In: *Special gripper arms - CFT Automation* [online]. Rivalta di Torino: CFT Rizzardi [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: http://cftautomation.it/site/dettaglio.php?id_noticia=92
- [21] Otočné rameno manipulátoru Sidepalsa. In: *Patents | Sidepalsa* [online]. Bizkaia, Spain: Sidepalsa [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.sidepalsa.com/en/patents/>
- [22] *Tool changer with two fingers*. ES2527317. Uděleno 2015-01-22. Zapsáno 2011-07-29. Dostupné také z: https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20150122&DB=&locale=en_EP&CC=ES&NR=2527317T3&KC=T3&ND=4
- [23] Sodemann - ISO Nástrojové pružiny. *Sodemann - ISO Nástrojové pružiny* [online]. Hinnerup - Denmark: Sodemann, 2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.sodemann-pruziny.cz/online-obchod/nastrojove-pruziny/iso>
- [24] *Válce dle norem ADN/AEN, ISO 21287* [online]. Praha: FESTO, 2013 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/ADN_CZ.PDF
- [25] Požadovaná velikost ložiska. *Požadovaná velikost ložiska* [online]. SKF [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/plain-bearings/bushings-thrust-washers-strips/principles-for-selection-and-application/selecting-bearing-size/requisite-bearing-size/index.html>
- [26] Kluzná pouzdra - PCMF 182017 E. *Kluzná pouzdra - PCMF 182017 E* [online]. SKF [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/plain-bearings/bushings-thrust-washers-strips/table-bushings/index.html?designation=PCMF%20182017%20E>
- [27] Kluzná pouzdra - PCM 161820 E. *Kluzná pouzdra - PCM 161820 E* [online]. SKF [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/plain-bearings/bushings-thrust-washers-strips/table-bushings/index.html?designation=PCM%20161820%20E>
- [28] Kluzná pouzdra - PCM 202320 E. *Kluzná pouzdra - PCM 202320 E* [online]. SKF [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/plain-bearings/bushings-thrust-washers-strips/table-bushings/index.html?designation=PCM%20161820%20E>

Seznam tabulek

Tabulka 1: Shrnutí možných provedení čelistí otočného ramene a jejich pohonu	29
Tabulka 2: Porovnání navržených variant	38
Tabulka 3: Parametry pružiny ISO 10243 - R204-720 (převzato z [23])	46
Tabulka 4: Vypočtené hodnoty sil čelistí otočného ramene	47
Tabulka 5: Vypočtené hodnoty sil F_o pneumatického válce pro otevření čelistí ramene a osově síly F_t v táhle.	49
Tabulka 6: Kompaktní válce dle norem ADN/AEN (převzato z [24])	50
Tabulka 7: Vybrané parametry kluzného pouzdra PCMF 182017 E [26]	53
Tabulka 8: Vybrané parametry kluzného pouzdra PCM 161820 E [27]	58
Tabulka 9: Výpočet síly na čep čelisti při otevření F_d	60
Tabulka 10: Výpočet síly na čep čelisti při uchopeném nástroji F_s	61
Tabulka 11: Vybrané parametry kluzného pouzdra PCM 202320 E [28]	62
Tabulka 12: Vzorce pro výpočet kvadratického momentu v krutu J_k a hodnoty bezrozměrného součinitele c [4]	65

Seznam obrázků

Obr. 1: Vyvrtávačka desková WRD 130/150 (Q) [5]	11
Obr. 2: Morfologie automatické výměny nástrojů [2]	13
Obr. 3: Revolverová hlava s poháněnými nástroji, Difak s.r.o. [6]	14
Obr. 4: Nástrojová lišta dlouhotočného automatu MANURHIN K'MX 413 [7]	15
Obr. 5: Lineární zásobník stroje Felder profit H10 [8]	16
Obr. 6: Zásobník nástrojů PAMA SPA [9]	16
Obr. 7: Bubnový zásobník ATC 2450 ZAMAQ Tech s.r.o. [10]	17
Obr. 8: Navýšení kapacity řetězového zásobníku Averex [11]	18
Obr. 9: Kinematické schéma dlouhotočného automatu MANURHIN K'MX 413 [12]	19
Obr. 10: AVN pro portálová frézovací centra Mattec [13]	20
Obr. 11: Řešení AVN Fermat – Kuka s použitím univerzálního robotu [14]	21
Obr. 12: Schéma pohybu ramene manipulátoru při uchopení nástroje [3]	22
Obr. 13: Kombinace výměníku zasekávacího typu a bubnového zásobníku s výklopnými lůžky na MAKO QH-630 [15]	22
Obr. 14: Patent DE202010003378U [16]	23
Obr. 15: Vodrovnná vyvrtávačka WHN 110Q [17]	24
Obr. 16: Patent DE102006000354 [18]	25
Obr. 17: Patent US7604584 [19]	26
Obr. 18: Special gripper arm CFT Rizzardì srl [20]	27
Obr. 19: Otočné rameno manipulátoru Sidepalsa [21]	28
Obr. 20: Patent ES2527317 [22]	28
Obr. 21: Porovnání důležitých pro AVN rozměrů nástrojových držáků ISO50, HSK100 a HSK63	30
Obr. 22: Současné provedení systému AVN	31
Obr. 23: Schéma pro výpočet síly na čelist	32
Obr. 24: Graf závislosti síly jedné čelisti na čase	33
Obr. 25: Návrh, varianta 1	34
Obr. 26: 3D pohled varianta 1	34
Obr. 27: Návrh, varianta 2	35
Obr. 28: 3D pohled varianta 2	35
Obr. 29: Návrh, varianta 3	36
Obr. 30: 3D pohled varianta 3	36
Obr. 31: Návrh, varianta 4	37
Obr. 32: 3D pohled varianta 4	37



Obr. 33: 3D model finální varianty.....	40
Obr. 34: Mechanismus otočného ramene	41
Obr. 35: Kinematické schéma	41
Obr. 36: Základní prvky ramene	42
Obr. 37: Čelist s naznačenými drážky nástrojů	42
Obr. 38: Čep pružiny a tlačný kámen.....	43
Obr. 39: Táhla, čepy kamene a táhel.....	43
Obr. 40: Kontrolní výpočty	44
Obr. 41: Výpočet síly pružiny	45
Obr. 42: Odečtení rozměrů pro výpočet upínací síly z modelu ramene.....	47
Obr. 43: Odečtení rozměrů pro výpočet síly pro otevření z modelu ramene	48
Obr. 44: Výpočet osově síly táhla	49
Obr. 45: Síly při otevření	51
Obr. 46: Plocha dotyku.....	51
Obr. 47: Síly a rozměry pro kontrolní výpočet čepu tlačný kámen-táhlo	52
Obr. 48: Úhly kyvů.....	53
Obr. 49: Provozní rozsah pv kluzných ložisek PCMF s kompozitem E.....	54
Obr. 50: Součinitel zatížení C_1 pro materiály ložisek PTFE a POM.....	55
Obr. 51: Součinitel rychlosti C_2 pro materiály ložisek PTFE a POM	55
Obr. 52: Teplotní součinitel C_3 pro materiály ložisek PTFE a POM	55
Obr. 53: Součinitel drsnosti povrchu C_4 pro materiály ložisek PTFE a POM.....	56
Obr. 54: Síly a rozměry pro kontrolní výpočet čepu táhlo-čelist	57
Obr. 55: Schéma pro výpočet síly na čep za pohybu čelisti	60
Obr. 56: Schéma pro výpočet síly na čep čelist-rameno.....	61
Obr. 57: 3D model otočného ramene (nahore) a výpočtový model (dole).....	64
Obr. 58: Schéma pro výpočet nakroucení ramene.....	65
Obr. 59: Schéma pro výpočet ohybu ramene	67

Seznam příloh

Elektronické (na CD)

1. BP 0233 - ZADANI.pdf (zadání BP)
2. BP 0233 - SKOROBOGATOV BP.pdf (text BP)
3. RONU MODEL.zip
4. VYKRESY (složka)
 - a. RONU-01-00.pdf (výkres sestavy s kusovníkem)
 - b. RONU-01-01.pdf (výrobní výkres TĚLESO RAMENE)
 - c. RONU-01-04.pdf (výrobní výkres ČELIST A)
 - d. RONU-01-07.pdf (výrobní výkres KÁMEN TLAČNÝ)

Výkresová dokumentace

1. Výkres sestavy s kusovníkem RAMENO OTOČNÉ NUCENĚ OTEVÍRANÉ PRO ISO 50 HSK 100 HSK 63 (číslo výkresu RONU-01-00)
2. Výrobní výkres TĚLESO RAMENE (číslo výkresu RONU-01-01)
3. Výrobní výkres ČELIST A (číslo výkresu RONU-01-04)
4. Výrobní výkres KÁMEN TLAČNÝ (číslo výkresu RONU-01-07)