



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MANIPULAČNÍ NÁSTROJOVÁ JEDNOTKA

AUTOMATIC TOOL CHANGER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Petr Láznička

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Miroslav Škopán, Csc.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Petr Láznička

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

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

Manipulační nástrojová jednotka

v anglickém jazyce:

Automatic Tool Changer

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Konstrukční návrh manipulační nástrojové jednotky pro výměnu nástrojů tříosé vertikální frézky.

Základní technické parametry:

- druh vřetene: ES325 – H6161H0405
- upínač: HSK E25 – DIN 69893
- počet pracovních nástrojů: minimálně 4

Cíle diplomové práce:

- kritická rešerše obdobných systémů,
- návrh vybraných konstrukčních řešení (jednotlivé varianty řešení),
- porovnání navržených konstrukčních variant,
- kapacitní a pevnostní výpočet vybrané konstrukční varianty,
- základní výkresová dokumentace (sestava, podsestavy a dílenské výkresy dle pokynů vedoucího DP)

Seznam odborné literatury:

1. SHIGLEY, J.E. - MISCHKE, Ch.R. - BUDYNAS R.G.: Konstruování strojních součástí, Vydalo VUT v Brně, nakladatelství VUTIUM 2010, ISBN 978-80-214-2629-0
2. ŠKOPÁN, M.: Hydraulické pohony strojů, elektronická skripta VUT v Brně 2009
3. NV 176/2008 o technických požadavcích na strojní zařízení
4. Firemní dokumentace

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 5.11.2014

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

Děkan fakulty



ABSTRAKT

Diplomová práce je zpracována se zaměřením na konstrukční řešení manipulační nástrojové jednotky pro CNC vertikální frézku SLV 300 ve spolupráci se zlínskou firmou IMC/Engineering s.r.o. Hlavním cílem práce je vytvoření několika konstrukčních variant na základě kritické rešerše obdobných zařízení a následná volba nejvhodnějšího řešení. Posouzení jednotlivých variant je provedeno s ohledem na změny způsobené na stávající konstrukci stroje. Zásadní je však vhodnost řešení z pohledu zákazníka firmy SolidVision s.r.o. Konstrukční řešení je navrženo pro možnost prezentace zařízení s unikátními vlastnostmi ve své třídě, čímž je míněna jednoduchá bezúdržbová konstrukce s možností snadného servisního přístupu. Pro zvolené řešení manipulační nástrojové jednotky jsou pevnostním výpočtem ověřeny nejvíce zatěžované části zařízení. Pro bližší seznámení s volenou konstrukcí je k technické správě přiložena výkresová dokumentace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Manipulační nástrojová jednotka, CNC vertikální frézka, zásobník nástrojů, kuličkový šroub.

ABSTRACT

The thesis is focus on design solutions of automatic tool changer for CNC vertical milling machine SLV 300 in cooperation with the design company IMC/Engineering s. r. o. The main goal of theses is the creation of several design variants based on the critical research of similar machinery and the subsequent choice of the most appropriate solution. The assessment of the various options is done with amount of the changes caused on the existing design of the machine. It is essential the suitability of the solution from the perspective of the customer's company SolidVision s. r. o. Design solution is being designed for the possibility of a presentation device with unique features in its class, which is meant to be a simple maintenance free design with the possibility of easy service access For the chosen solution of the automatic tool changer are by calculation verified by the most exposed part of the device. In the thesis is also design documentation, for a better understand of the design solution.



KEYWORDS

Automatic Tool Changer, CNC vertical milling machine, Tool Box, Precision ball screw



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Láznička, P. *Manipulační nástrojová jednotka*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 67 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Škopán, Csc.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Miroslav Škopán, Csc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne xx. května 2015

.....

Jméno a přímení



PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří my byli ochotni poskytnout odborné rady při řešení diplomové práce. Především bych chtěl poděkovat firmě IMC/Engineerg s.r.o. za umožnění spolupráce na projektech a za profesionální přístup při vedení diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval doc. Ing. Miroslavu Škopánovi, Csc za cenné informace při řešení problémů, spojených s diplomovou prací.



OBSAH

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.....	1
Úvod.....	11
1 Cíle práce.....	12
1.1 Cíle práce v bodech.....	12
1.1.1 Zadané parametry manipulační nástrojové jednotky.....	12
2 Charakteristika CNC vertikální frézky SLV 300	13
2.1 CNC frézka datron M7	15
3 Obdobné systémy manipulačních nástr. jednotek	16
3.1 Nástrojová jednotka DATRON	16
3.1.1 Manipulační nástrojová jednotka TC-E.....	17
3.1.2 Statická nástrojová jednotka TC-S	18
3.2 Manipulační nástrojové jednotky v ostatních CNC strojích.....	18
3.2.1 Manipulační nástrojová jednotka hvězdicová (disková)	19
3.2.2 Manipulační nástrojová jednotka kruhová (bubnová).....	20
3.2.3 Manipulační nástrojová jednotka řetězová.....	20
4 Koncepční návrh.....	21
4.1 Varianta 1.....	21
4.1.1 Konstrukční řešení.....	21
4.1.2 Zásahy do stávající konstrukce CNC frézky	22
4.1.3 Hlavní komponenty	22
4.1.4 zhodnocení konstrukční varianty.....	23
4.2 Varianta 2.....	23
4.2.1 Konstrukční řešení.....	23
4.2.2 Zásahy do stávající konstrukce CNC frézky	24
4.2.3 Hlavní komponenty	25
4.2.4 zhodnocení konstrukční varianty.....	25
4.3 Varianta 3.....	26
4.3.1 Konstrukční řešení.....	26
4.3.2 Zásahy do stávající konstrukce CNC frézky	27
4.3.3 Hlavní komponenty	27
4.3.4 zhodnocení konstrukční varianty.....	27
4.4 Výběr vhodné varianty řešení	28
4.4.1 Posouzení z hlediska zákazníka.....	28
4.4.2 Zásahy do stávající konstrukce.....	28
5 Vybraná konstrukční varianta.....	29



5.1	Podrobný popis konstrukčního řešení	29
5.1.1	Sestava rámu	29
5.1.2	Sestava lineárního vedení	30
5.1.3	Sestava zásobníku nástrojů	34
5.1.4	Sestava kuličkového šroubu	35
5.1.5	Sestava motoru a rozvodu	40
5.1.6	Sestava krytovaní manipulační nástrojové jednotky	44
5.1.7	Ostatní komponenty	44
5.2	Kontrola kuličkového šroubu	47
5.2.1	Vstupní parametry manipulace se zásobníkem nástrojů	47
5.2.2	Výpočet doby a dráhy jednotlivých fází výměny	48
5.2.3	Výpočet průměrných otáček v jednotlivých fázích	51
5.2.4	Výpočet středních otáček kuličkového šroubu	51
5.2.5	Výpočet axiálních silových účinků na kuličkový šroub v jednotlivých fázích ..	52
5.2.6	Výpočet středního axiálního zatížení	53
5.2.7	Výpočet kritické axiální síly v kuličkovém šroubu	53
5.2.8	Výpočet dovolené axiální síly v kuličkovém šroubu	54
5.2.9	Životnost kuličkového šroubu	54
5.2.10	Výpočet točivého momentu na kuličkovém šroubu	55
5.2.11	Výpočet výkonu na kuličkovém šroubu	55
5.2.12	Návrh pohonu manipulační nástrojové jednotky	55
5.3	Pevnostní výpočet	57
5.3.1	Výpočet svěrného pouzdra	57
5.3.2	Kontrola hnané řemenice	59
	Závěr	61
	Použité informační zdroje	62
	Seznam použitých zkratk a symbolů	64



ÚVOD

CNC výroba je v dnešní době velmi rozšířená a je jí věnována velká míra pozornosti. Snahou konstruktérů je vyvíjet zařízení, která výrazně usnadní a urychlí výrobní proces. Vysoké požadavky jsou kladeny zejména na snížení výrobních časů, což má výrazný dopad na koncovou cenu výrobku. Na zkrácení výrobního času se výrazně podílí čas výměny nástroje. Z důvodu složitosti obrobku je častá výměna nástroje nezbytná, a proto je této oblasti věnována značná míra pozornosti.

Pro Firmu SolidVision s.r.o. byla zkonstruována CNC vertikální frézka která svou velikostí a schopnostmi tvoří jedinečný stroj ve své třídě, který se na trhu zatím neobjevuje. CNC vertikální frézka vznikla jako první stroj z plánované řady firmy SolidVision s.r.o. Svou jednoduchostí ovládání splňuje nároky tréninkového pracoviště, lze jej však využít také v komerční sféře. Obrobky se prezentují vysokou přesností rozměrů, tvarů a kvalitou obrobených ploch. Díky účelnému uspořádání suportů a následnému efektivnímu zakrytování, zaujímá stroj minimální zástavbový rozměr. Základní díly vyrobené z hliníkové slitiny výrazně snižují celkovou hmotnost stroje. CNC frézka byla v návrhu prototypu zkonstruována bez výměny nástrojů, což je velkou nevýhodou pro komerční využití tohoto zařízení. Proto je třeba pro zrychlení výrobního procesu doplnit toto zařízení o manipulační nástrojovou jednotku, což je hlavním předmětem diplomové práce.

Diplomová práce je zaměřena na konstrukci manipulační nástrojové jednotky pro stávající stroj SLV 300. Pro možnost využití CNC vertikální frézky v komerční sféře je nezbytné navrhnout manipulační nástrojovou jednotku pro automatickou výměnu nástrojů. Na základě kritické rešerše jsou zkonstruovány tři koncepční návrhy manipulační nástrojové jednotky. Jednotlivé konstrukční varianty jsou následně porovnány. Porovnání z pohledu zákazníka, tedy servisní a kapacitní výhody, které jsou velmi důležité pro prezentaci zařízení na trhu. Při konstrukci je kladen hlavně důraz na snadný a rychlý servis manipulační nástrojové jednotky. Jako další srovnávací kritérium je množství a náročnost změn na stávající konstrukci CNC vertikální frézky. Z konstrukce jednotlivých koncepčních návrhů je zřejmé, že opatření stroje o manipulační nástrojovou jednotku přináší značné zásahy do stávající konstrukce CNC vertikální frézky SLV 300. Nelze navrhnout automatickou výměnu nástroje bez zásadních úprav na krytování a nosném rámu, ale také na „y-ovém“ suportu. Zásadním zásahem je již zmíněné prodloužení rozjezdu v „ose y“, tato změna vyžaduje nákup nových kuličkových šroubu a lineárních vedení.

Na základě zjištění nezbytných konstrukčních úprav stávající CNC vertikální frézky, se volba konstrukčního řešení spíše zaměřuje na co možná nejvyšší kapacitu zásobníku a komfortní servisní přístup. Na základě těchto požadavků je vybrána konstrukční varianta, která sice způsobuje rozšíření zástavby stroje, ale z pohledu servisního a kapacitního vykazuje nejvíce výhod.

Pro zvolenou konstrukční variantu je doložena výkresová dokumentace. Modely a výkresová dokumentace, jsou vytvářeny v počítačovém CAD/CAM/CAE 3D softwaru Pro/ENGINEER (computer aided design/computer aided manufacturing/computer aided engineering).



1 CÍLE PRÁCE

Cílem diplomové práce je navrhnout manipulační nástrojovou jednotku, na základě průzkumu systémů běžně používaných u strojů podobného typu. Je tedy třeba vytvořit návrh několika funkčních variant a porovnat jejich klady a zápory při využití pro CNC vertikální frézku SLV 300. Po vzájemném porovnání jednotlivých konstrukčních provedení, z pohledu funkce, kapacity a změny konstrukce stávajícího stroje, je třeba vybrat jedno nejvhodnější řešení. Na zvolené variantě následně provést pevnostní kontrolu stěžejních částí a vypracovat výkresovou dokumentaci dle zadání.

1.1 CÍLE PRÁCE V BODECH

- Kritická rešerše obdobných systémů
- Návrhy vybraných konstrukčních řešení (jednotlivé varianty řešení)
- Porovnání navržených konstrukčních variant
- Kapacitní a pevnostní výpočet vybrané konstrukční varianty
- Základní výkresová dokumentace

1.1.1 ZADANÉ PARAMETRY MANIPULAČNÍ NÁSTROJOVÉ JEDNOTKY

Pro využití stroje v komerční sféře je nutné, aby stroj disponoval automatickou výměnou nástrojů. Pro možnost použití manipulační nástrojové jednotky je nezbytná změna původního vřetene. Prototyp byl navržen bez automatické výměny, proto je potřeba pro variantu s automatickou výměnou zvolit nové vřeteno a vhodný upínač nástrojů. Jeden z požadavků zákazníka je návrh manipulační nástrojové jednotky s kapacitou minimálně čtyř nástrojů.

Upínač: HSK E25 – DIN 69893

Vřeteno: ES325 – H6161H0405

Počet nástrojů: minimálně 4



2 CHARAKTERISTIKA CNC VERTIKÁLNÍ FRÉZKY SLV 300

Technické specifikace stroje, pro který je manipulační nástrojová jednotka navrhována jsou zadány zákazníkem SolidVision s.r.o. Stroj je určen k obrábění hliníkových slitin, plastů a dřeva. Firma SolidVision s.r.o. ve spolupráci s IMC/Engineering vytvořila CNC frézku, která svou velikostí a schopnostmi tvoří jedinečný stroj ve své třídě. CNC vertikální frézka splňuje vysoké nároky výrobních pracovišť, jako je maximální produkční výkon, vysoká přesnost finálního výrobku a dodržení vysoké kvality obrobených ploch a to vše při zachování nízké ceny a provozních nákladů. CNC vertikální frézka tvoří první stroj z plánované řady firmy SolidVision. Svou jednoduchostí ovládání splňuje také nároky tréninkového pracoviště, jako pomůcka pro střední i vysoké školství v hodinách výuky CNC programování. Z tohoto důvodu stroj vykazuje vysokou bezpečnost, jednoduchost ovládání pro méně kvalifikovanou obsluhu. Lze jej však využít také v komerční sféře. Díky účelnému uspořádání suportů a následnému efektivnímu zakrytování, zaujímá stroj minimální zástavbový rozměr. Základní díly, které jsou vyrobeny z hliníkové slitiny, výrazně snižují celkovou hmotnost stroje. Průhledy v krytování stroje umožňují velmi dobrou vizuální kontrolu vlastního procesu obrábění. Odnímatelné boční panely umožňují pohodlný přístup pro servisní zásahy. Originálním způsobem je řešeno otevírání předních dveří pracovního prostoru. Dvojice tažných pružin vyvažuje hmotnost dveří a usnadňuje obsluhu manipulaci s nimi. Zásobník třísek je účelně umístěn v prostoru pod obráběcím stolem a tak neomezuje obsluhu v pohybu kolem stroje. Velkou předností CNC vertikální frézky je konstrukce suportů. Veškeré pohyblivé části jsou sestaveny jako celek na základní desce stroje. To umožňuje seřízení jednotlivých suportů a doladění nepřesností mimo základní rám stroje, na který je tento celek namontován až po finálním sestavení a odzkoušení.

Bezpečnost:

Vzhledem k předpokládanému uplatnění ve školství (zvýšený počet nekvalifikovaných obsluh i osob pohybujících se okolo stroje), musí stroj splňovat bezpečnostní předpisy stanovené normou ČSN EN 12417+A2 – Bezpečnost obráběcích a tvářecích strojů – Obráběcí centra.

Přehlednost:

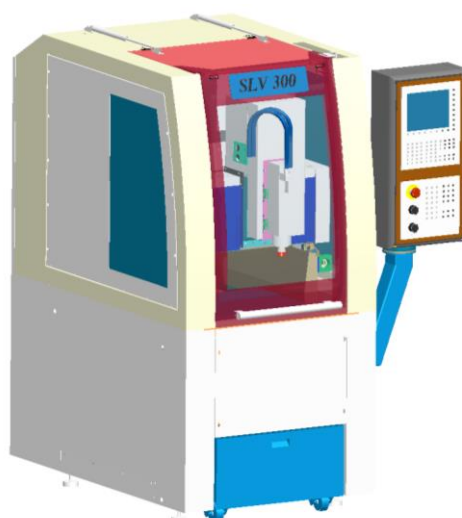
Celý obráběcí proces musí být přehledný i při plném zakrytování stroje.

Levný provoz:

Veškeré pohyblivé části (kuličkové matice, lineární vedení) jsou doplněny o mazací kapsle, které zajišťují spolehlivé mazání po celou dobu životnosti komponentu. Z tohoto důvodu není třeba instalovat do stroje mazací agregát a rozvod maziva.

Obráběné materiály:

Předpokládané obráběné materiály jsou dřevo, umělé dřevo, plasty a slitiny hliníku. Nepočítá se s vodním chlazením, pouze s eventualitou použití chlazení pomocí alkoholové mlhy (slitiny hliníku).



Obrázek 1 CNC vertikální frézka SLV 300 (model z Pro/ENGINEER)

Tabulka 1 parametry prototypu CNC vertikální frézky SLV 300

	SLV 300	jednotka
Řídicí systém	Sinumerik 808D ADVANCED	
Rozsah pojezdu – osa X	375	mm
Rozsah pojezdu – osa Y	400	mm
Rozsah pojezdu – osa Z	200	mm
Max./ Min. vzdálenost včetně od stolu	15 / 215	mm
Rozměry pracovního stolu	475 x 400	mm
Vřeteno – výkon	S1 – 2; S6 – 2,4	kW
Vřeteno - moment	S1 – 0,8; S6 – 0,95	Nm
Rozsah otáček vřetene	100 – 24 000	ot/min
Pohony	Siemens 1,9	Nm
Pracovní posuv	0-20 000 (30 000)	mm/min
Rychloposuv	0-20 000 (30 000)	mm/min
Opakovatelná přesnost	0,005	mm
Geometrická přesnost	0,01	mm
Materiál obrobku	AL slitiny, barevné kovy, plast	
Upnutí nástroje	ER25	mm
Rozměry stroje V x Š x H	1800x870x1330	mm
Hmotnost stroje	815	kg
Maximální výška obrobku	205	mm



2.1 CNC FRÉZKA DATRON M7

CNC vertikální frézce SLV 300 firmy SolidVision s.r.o. se z velkého sortimentu strojů nejvíce podobá CNC vertikální frézka Datron M7, vyráběná firmou Datron Technology, s.r.o. Tento stroj má podobnou zástavbovou velikost a srovnatelný pracovní prostor. Disponuje manipulační nástrojovou jednotkou, která má kapacitu pěti nástrojů upínačem HSK E25.



Obrázek 2 vertikální frézka DATRON M7[1]

Tabulka 2 technická specifikace CNC vertikální frézky Datron M7[1]

Technická specifikace	DATRON M7 Compact
Souřadnicový stůl	mramorový stůl na ocelové základně, portál osazený na dvou Y-pohonech, přesné vedení
Pracovní prostor (X, Y, Z)	500 x 500 x 240 mm
Výška portálu	200 mm
Zástavbové rozměry (Š, H, V)	1300 mm x 1300 mm x 1950 mm
Pohonné jednotky	digitální servopohony
Mazací a chladicí systém	Mazání minimálním množstvím, elektronicky nastavitelné dávkování
Vřeteno (volitelné)	600 W vysokofrekvenční vřeteno, 7000-60000 min ⁻¹ , s pneumatickým upínáním nástroje
Zásobník nástrojů (volitelný)	zásobník na 5 nástrojů se snímačem délky nástroje, zásobník na 15 nástrojů s krytem proti třískám a snímačem délky nástroje
Řídicí systém	decentralizované, digitální servo řízení, PC prostředí
Posuvové rychlosti	až do 16 m/min
Váha	cca. 800 kg



3 OBDOBNÉ SYSTÉMY MANIPULAČNÍCH NÁSTR. JEDNOTEK

Manipulační nástrojová jednotka je zařízení, které je využíváno ve výrobním procesu k automatické výměně nástroje. Vhodně zvolená nástrojová jednotka má velký vliv na rychlost výrobního procesu. Na výrobní časy jsou v dnešní době kladeny velké požadavky, hlavně z důvodu ekonomických. Převážná většina manipulačních nástrojových jednotek je využívána v oblasti obrábění oceli. Tento proces vyžaduje složitější technologický postup obrábění, což má za následek vyšší počet nástrojů potřebných k dosažení finálního stavu obrobku. Pro tyto aplikace se využívají nástrojové jednotky s kapacitou zásobníku většinou třiceti nástrojů a vyšší.

Stroje s podobnými technickými parametry jako CNC vertikální frézka SLV 300 vyrábí např. firma Datron Technology, s.r.o. Stroje od firmy Datron technology, s.r.o. jsou velmi kvalitní zařízení pro obrábění hliníkových slitin a plastů. Firma Datron Technology, s.r.o. si mimo jiné vyrábí i své vlastní manipulační nástrojové jednotky které mají kapacitu zásobníku běžně od pěti do patnácti nástrojů.

3.1 NÁSTROJOVÁ JEDNOTKA DATRON

Datron Technology, s.r.o. nabízí nástrojovou jednotku pro různé typy upínačů. Podle typu vřetene jsou k dispozici nástrojové jednotky obsahující nástroje s upínačem HSK kužel nebo nástroje s přímou upínací stopkou. Nástrojové jednotky lze popsat podle způsobu pohybu nástrojové desky, ve které jsou uloženy upínače s nástroji. Prvním typem je statická nástrojová jednotka, která je umístěna na libovolné pozici ve stroji, kterou lze měnit dle konkrétních potřeb. Nástrojová deska je nehybná. Tento typ nástrojové jednotky neobsahuje kryt proti třískám vznikajícím při procesu obrábění. Dalším typem je nástrojová jednotka, která vykonává určitý pohyb s nástrojovou deskou. Je umístěna na přesné pozici ve stroji, z důvodu přivedených energií. Tento typ lze nazvat manipulační nástrojová jednotka. Je vybavena krytem proti vniknutí třísek do prostoru zásobníku. Při otevírání tohoto krytu se nástrojová deska vysouvá do polohy výměny. V obou případech nástrojové jednotky je délka nástroje automaticky měřena a kompenzována pomocí senzoru. Umístění senzoru je na příslušné pozici mezi upínači uloženými v zásobníku. Jsou používány dva typy systému k měření délky nástroje. WLS sensor je využíván k měření a korekci délky nástroje. Využití tohoto senzoru je běžné pro statické nástrojové jednotky, z důvodu nižší ceny. Dalším používaným typem je senzor Z-Nano. Tento sensor se je určen k měření a korekci délky nástroje a také ke kontrole průměru nástroje. Tento sensor Z-Nano je velmi citlivý a lze jej použít také pro měření a korekci i velmi malých nástrojů bez hrozby jejich poškození.



3.1.1 MANIPULAČNÍ NÁSTROJOVÁ JEDNOTKA TC-E

Jednotka TC-E je schopna pojmout až patnáct nástrojů na zásobník. Kapacita patnácti nástrojů je možná za předpokladu, že jsou použity nástroje s přímou upínací stopkou (viz obr. 3). Pro nástroje s upínačem HSK E25 je manipulační nástrojová jednotka pro pět, maximálně jedenáct nástrojů a to z důvodu větších rozměrů upínače (viz obr. 4 a 5). Manipulační nástrojová jednotka je vybavena krytem, který chrání prostor zásobníku s uloženými nástroji proti vniknutí třísek a chladicí kapaliny. Tento kryt je automaticky otevírán pouze při výměně nástroje. V nástrojové jednotce je integrováno zařízení pro měření délky nástroje. Pro tento druh zásobníku používá firma Datron Technology, s.r.o. senzor Z-Nano.



Obrázek 3 TC-E-15 (Manipulační nástrojová jednotka pro patnáct nástrojů s přímou stopkou) [2]



Obrázek 4 TC-E-5 (Manipulační nástrojová jednotka pro pět nástrojů s upínačem HSK E25) [2]



Obrázek 5 TC-E-11 (Manipulační nástrojová jednotka pro jedenáct nástrojů HSK E25) [2]



3.1.2 STATICKÁ NÁSTROJOVÁ JEDNOTKA TC-S

Jednotka TC-S je typem statické nástrojové jednotky. Obsahuje pět až deset nástrojů s přímou stopkou. Nástrojová jednotka je pouze držák nástrojů s přidaným senzorem pro korekci nástroje. Firma Datron Technology, s.r.o. vyrábí tento typ nástrojové jednotky ve dvou provedeních. V prvním případě je TC-S vyráběn jako obrobek z hliníku, nebo jako druhá varianta se používá ohnutý plech (viz obr. 6). Tento typ nástrojové jednotky patří mezi nejlevnější varianty, kde se nepoužívá ochranný kryt proti třískám a chladicí kapalině. Držák nástroje je při výměně intenzivně ofukován tlakovým vzduchem vycházejícím z vřetene. Součástí této jednotky je snímač na měření délky nástroje. Pro tento typ nástrojové jednotky je požito senzoru WLS. Výhodou této jednotky je nízká pořizovací cena a variabilita uložení ve stroji.



Obrázek 6 TC-S (pro deset a pro pět nástrojů)[2]

3.2 MANIPULAČNÍ NÁSTROJOVÉ JEDNOTKY V OSTATNÍCH CNC STROJÍCH

Ve výrobním procesu je užíváno mnoho variant manipulačních nástrojových jednotek. Typ manipulační nástrojové jednotky se volí podle počtu a druhu používaných upínačů. Dalším kritériem pro volbu nástrojové jednotky jsou její vlastní rozměry a její následné umístění na stroji. Je důležité vždy zvážit, zda je daná nástrojová jednotka vhodná pro konkrétní uspořádání stroje. Většina manipulačních nástrojových jednotek je umístěna ve strojích, které jsou určeny zejména pro obrábění oceli. Jedná se o nástrojové jednotky vysokokapacitní. Vysokokapacitní manipulační nástrojová jednotka se velmi liší od předchozích nástrojových jednotek vyráběných firmou Datron Technology, s.r.o. Konstrukční provedení je komplikované a zástavbové rozměry jsou daleko větší. V mnoha případech se jedná o zařízení, která svými rozměry rozšiřují zástavbovou velikost stroje.

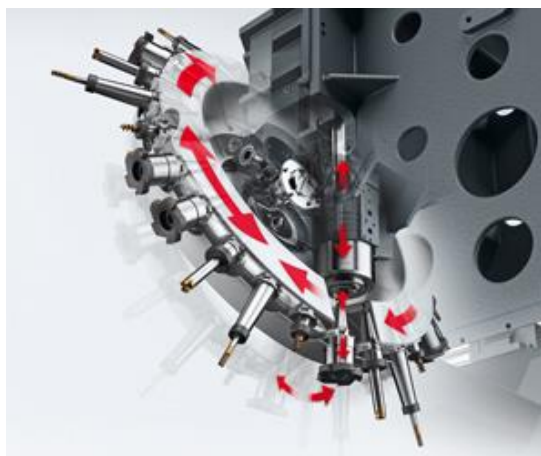


3.2.1 MANIPULAČNÍ NÁSTROJOVÁ JEDNOTKA HVĚZDICOVÁ (DISKOVÁ)

Jednotlivé nástroje jsou uloženy na disku v mechanických držácích (viz obr. 7). Každý nástroj má svou konkrétní pozici. Tyto nástrojové jednotky jsou omezeny počtem nástrojů. Je možno do nich uložit běžně 12 až 30 nástrojů. Tato nástrojová jednotka je charakteristická tím, že osa nástroje je rovnoběžná, nebo šikmá k ose otáčení zásobníku. Výměna nástroje je rychlá. Toto zařízení nevyžadují další pomocný mechanismus výměny. Vřetenem je odebírán nástroj přímo z nástrojové jednotky. Hvězdicová nástrojová jednotka je konstruována s kapacitou cca třiceti nástrojů. S přibývajícím počtem nástrojů je zvětšován průměr disku, což je nevýhodné pro zástavbu ve stroji. V některých případech je tato nástrojová jednotka součástí vřetene (viz. Obr. 8).



Obrázek 7 manipulační nástrojová jednotka hvězdicová (DMG/MORI)[4]



Obrázek 8 manipulační nástrojová jednotka součástí vřetene (DMG/MORI)[5]



3.2.2 MANIPULAČNÍ NÁSTROJOVÁ JEDNOTKA KRUHOVÁ (BUBNOVÁ)

Kruhová manipulační nástrojová jednotka je charakteristická tím, že jednotlivé nástroje jsou uloženy na obvodu bubnu v pohyblivých držácích. Manipulační nástrojové jednotky tohoto typu disponují vysokou kapacitou nástrojů. Nejčastěji se používána jednotka s kapacitou zásobníku do cca třiceti nástrojů pro metodu s ramenovým podavačem (viz obr. 9). U tohoto typu nástrojové jednotky je osa nástroje uložena rovnoběžně s osou otáčení bubnu. Držáky nástrojů umožňují vyklápění o úhel 90°. Tento pohyb je vykonáván pomocí pneumatického manipulátoru, který vyklopí držák s nástrojem do polohy výměny. Z této polohy je nástroj odebrán s využitím mechanického ramene podavače. Nevýhodou kruhové manipulační nástrojové jednotky je její narůstající zástavbový rozměr v důsledku zvyšování počtu nástrojů a komplikovanější mechanika celého zařízení.



Obrázek 9 manipulační nástrojová jednotka bubnová (DMG/MORI)[6]

3.2.3 MANIPULAČNÍ NÁSTROJOVÁ JEDNOTKA ŘETĚZOVÁ

Řetězová manipulační nástrojová jednotka je charakterizována uložením nástrojů za sebou v držáku, který je složen z jednotlivých článků a představuje vlastně řetěz (viz obr. 10). Dráhu řetězu je možné přizpůsobit pro konkrétní požadavky zákazníka. Může být upraven tak, že jsou rozměry nástrojové jednotky přijatelnější, než u předchozího kruhového a diskového uspořádání. Kapacita takovéto nástrojové jednotky je v podstatě neomezená. Běžně se však používá pro kapacitu sto dvaceti nástrojů.



Obrázek 10 manipulační nástrojová jednotka řetězová (firma T+S Jakob)[3]

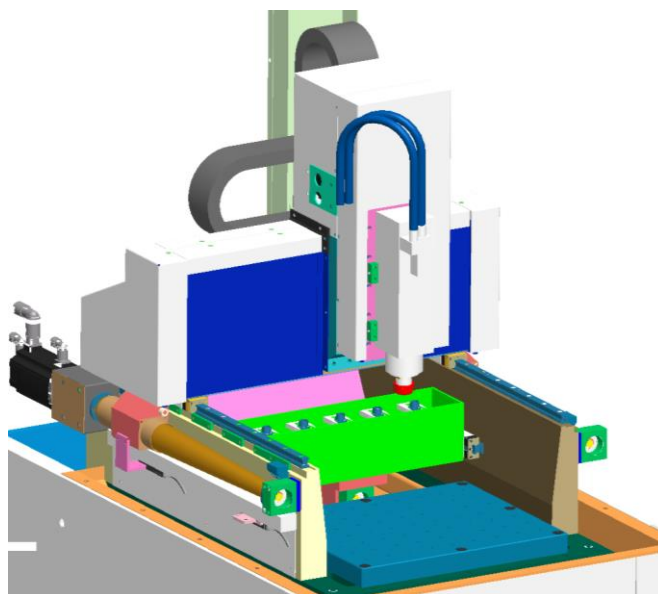


4 KONCEPČNÍ NÁVRH

Do koncepčního návrhu jsou zahrnuty tři varianty uspořádání manipulační nástrojové jednotky. Jednotlivé varianty jsou navrhovány pro koncepci CNC vertikální frézky SLV 300. Každá varianta je konstruována s ohledem na zadané technické parametry stanovené zákazníkem. Manipulační nástrojová jednotka musí být navržena, pro uložení minimálně čtyřech nástrojů s upínačem HSK E25. Dalším hlavním kritériem návrhu je snaha o navržení manipulační nástrojové jednotky, která si vynutí co nejméně změn na stávající konstrukci stroje. Pro každou variantu, je nezbytná změna konstrukce rámu, krytování a „Y-nového“ suportu stroje. Nelze navrhnout manipulační nástrojovou jednotku, která by konstrukci nezměnila. Jsou navrženy dvě varianty s hnacím ústrojím tvořeným elektromotorem a kuličkovým šroubem a jedna varianta s pohonem pneumatickým válcem. Při navrhování jednotlivých konstrukčních návrhů je snaha o vytvoření zásobníku nástrojů s co nevyšší kapacitou pro dané uložení ve stroji. Zásobník s vyšší kapacitou umožňuje výrazné zvýšení počtu obráběcích operací CNC vertikální frézky. Dalším kritériem návrhu je vytvoření konstrukce s co možná nejsnazším servisním přístupem.

4.1 VARIANTA 1.

Manipulační nástrojová jednotka s umístěním v zadní části pracovního prostoru stroje. Tato varianta koncepčního návrhu vznikla na základě vzoru firmy Datron Technology, s.r.o., která své manipulační nástrojové jednotky umísťuje v zásadě na tuto pozici.



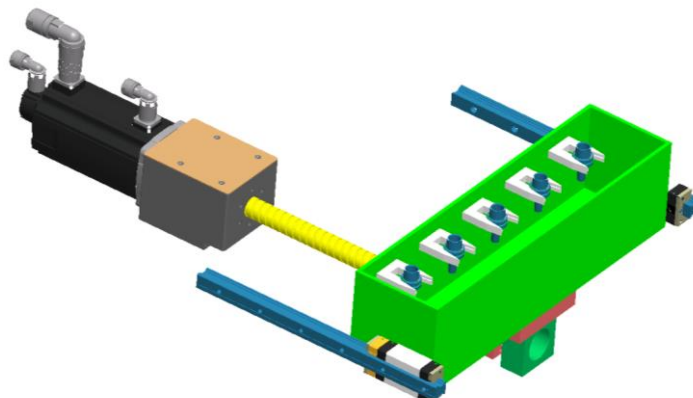
Obrázek 11 manipulační nástrojová jednotka v zadní části stroje (model z Pro/ENGINEER)

4.1.1 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Manipulace se zásobníkem nástrojů je zajištěna pomocí elektromotoru a kuličkového šroubu. Spojení pohonu se šroubem je navrženo užitím pružné spojky. K uchycení motoru a pro uložení jednoho konce kuličkového šroubu v zadní části stroje, je navržen krytý ložiskový domek. Pružná spojka je tímto krytem chráněna před třískami, které vznikají při procesu obrábění. Druhý konec kuličkového šroubu je uložen ve střední části stroje v ložiskovém domku. Prostřednictvím těchto ložiskových domků je celá sestava kuličkového šroubu a motoru uchycena k základní desce stroje. Kuličková matice je připojena k unašeči, přes který



je přenášen pohyb z kuličkové matice na zásobník nástrojů. Zásobník nástrojů musí být připojen k vozíkům lineárního vedení. Tím je zajištěno přesné vedení zásobníku do výměnné polohy. Lineární vedení nástrojové jednotky je umístěno na bočnicích stroje. Konstrukce lineárního vedení je v kombinaci T+U. Jedna vodící lišta je pevná označená výrobcem jako X-Rail a druhá kompenzační, značená UEX-20. Manipulační nástrojová jednotka je navržena se zásobníkem s kapacitou pěti nástrojů s upínačem HSK E25, čímž je splněn základní požadavek zákazníka. Pro umístění manipulační nástrojové jednotky v zadní části stroje není možná vyšší kapacita zásobníku a to z důvodu omezeného prostoru ve stroji.



Obrázek 12 sestava manipulační nástrojové jednotky varianta 1 (model z Pro/ENGINEER)

4.1.2 ZÁSAHY DO STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE CNC FRÉZKY

Toto řešení vyžaduje značný zásah do konstrukce stroje. Z důvodu umístění manipulační nástrojové jednotky v zadní části stroje, je nutné prodloužení pojezdu suportu ve směru „osy Y“. V důsledku prodloužení pojezdu je nutná změna lineárního vedení na této ose. S delším vedením je nezbytná výroba nových bočnic stroje a návrh delších kuličkových šroubů. V zadní části stroje je umístěn nosič energií, který vyžaduje nové řešení. Další velkou změnou v konstrukci stroje, je náročná modifikace zadního krytování. V zadní části stroje, není totiž dostatek prostoru pro uložení motoru.

4.1.3 HLAVNÍ KOMPONENTY

Značná část manipulační nástrojové jednotky se skládá z nakupovaných komponent, které jsou dimenzovány pro tuto aplikaci. Hlavní částí je servomotor od firmy Siemens. Jedná se o motor s označením SIMOTICS S-1FK7. Pro tento motor je výrobcem určen frekvenční měnič SINAMICS S110. Motor roztáčí kuličkový šroub přes spojku Rotex GS 19 od výrobce KTR. Kuličkový šroub a matice jsou voleny od firmy Bosch Rexroth. Použitý kuličkový šroub má označení SN-R 12x10Rx2. Pro tento šroub je použita kuličková matice FEM-E-S 12x10Rx2-2. Kuličkový šroub je uložen v ložiscích, které jsou určeny dle rozměrů konců kuličkového šroubu a způsobu uložení. Hlavní axiální ložisko kuličkového šroubu je výrobcem značeno LAN R159010600. Jedná se o axiálně radiální ložisko s děleným spodním kroužkem. Pojistná matice ložiska je označena R344600104_1. Radiální ložisko na druhém konci kuličkového šroubu je voleno taktéž od Bosch Rexroth s označením LAD R159060600. Na šroubu je radiální ložisko zajištěno pojistným kroužkem, který je dodáván výrobcem k ložisku. Manipulační nástrojová jednotka je vybavena snímačem pro měření a korekci nástrojů. Snímač je produktem firmy Datron Technology, s.r.o. s označením Z-Nano. Používaný upínač nástrojů HSK E25 DIN 69893 je výrobkem firmy HAIMER.



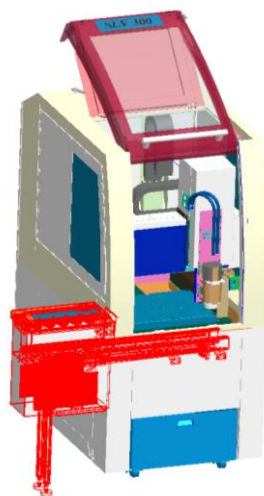
4.1.4 ZHODNOCENÍ KONSTRUKČNÍ VARIANTY

V případě tohoto uspořádání je velmi náročný přístup obsluhy pro servis nástrojů. Servis musí být prováděn z přední části stroje, kde obsluha musí překonávat vzdálenost celého pracovního prostoru, což není žádoucí. Servis lze provést i z boční strany stroje, kde obsluha však musí demontovat boční plechový kryt. Realizování servisu tímto způsobem je časově náročné, což by mělo negativní vliv na znovu uvedení stroje do chodu.

Z důvodu konstrukčních a servisních komplikací, není tato varianta řešení dostatečně efektivní. Řešení manipulační nástrojové jednotky tímto způsobem není pro vertikální CNC frézku SLV 300 výhodné.

4.2 VARIANTA 2.

Druhá navržená koncepce zařízení, vznikla pro možnost zvýšení kapacity zásobníku. V důsledku zvýšené kapacity, narůstají značně zástavbové rozměry manipulační nástrojové jednotky, a proto bylo nezbytné umístit podstatnou část zařízení mimo zástavbu stroje. Manipulační nástrojová jednotka je umístěna v přední části stroje. Při výměně je zásobník s nástroji přesouván na přesnou pozici výměny, která je v tomto případě definována v prostoru před pracovním stolem. Samotná výměna nástroje probíhá v prostoru, který je dobře viditelný. To umožňuje kvalitní vizuální kontrolu výměny ze strany obsluhy.



Obrázek 13 manipulační nástrojová jednotka v přední části stroje (model z Pro/ENGINEER)

4.2.1 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Konstrukce manipulační nástrojové jednotky počítá s kapacitou deseti nástrojů. Tato nástrojová jednotka je vytvořena jako samostatný konstrukční celek. Navržená konstrukce je montována jako samostatná sestava, která se umístí do stroje až po sestavení hlavních částí CNC vertikální frézky. Tento postup montáže je umožněn vhodnými úpravami stroje. Základní částí celé konstrukce manipulační nástrojové jednotky je nosný rám. Ten slouží k uložení hlavních komponent manipulační nástrojové jednotky. Na nosném rámu jsou zhotoveny přesné dosedací plochy pro uložení pohonu, ložiskových domků a vedení. V horním rámu jsou vytvořeny drážky pro kotvení k základnímu rámu CNC vertikální frézky. Pro přesné ustavení polohy manipulační nástrojové jednotky je rám opatřen stavěcími šrouby, které umožňují přesné finální ustavení celé manipulační nástrojové jednotky vůči stroji. Pro případ nerovné podložky, jsou ve stojanu rámu umístěny stavitelné patky. Pohyb zásobníku



nástrojů je řešen pomocí elektromotoru a kuličkového šroubu. Převod mezi motorem a šroubem je realizován pomocí řemenového převodu. Řemenice na hřídeli motoru je zajištěna pomocí svěrného pouzdra a řemenice na kuličkovém šroubu s využitím kotoučového pera. Sestava kuličkového šroubu se skládá ze šroubu a matice. Tato sestava je uložena v ložiscích, která jsou určena dle použitých konců kuličkového šroubu. Pro ložiska jsou navrženy ložiskové domky, které slouží ke kotvení celé sestavy kuličkového šroubu do rámu stroje. Ložiskové domky jsou opatřeny drážkami, které umožní při montáži ustavení celé sestavy kuličkového šroubu do požadované polohy. Nezbytnou součástí sestavy kuličkového šroubu je teleskopický kryt šroubu. Ten chrání šroub před třískami. Přenos pohybu z kuličkové matice na zásobník nástrojů je konstruován s využitím unašeče. K unašeči jsou připojeny saně uložené na lineárním vedení, které nesou samotný zásobník nástrojů. Vodicí lišty lineárního vedení se používají v kombinaci T+U. Jedna vodicí lišta je pevná označená výrobcem jako X-Rail Tex-20 a druhá kompenzační, značená UEX-20. Pro ochranu lineárního vedení proti vniknutí třísek jsou použity pásové kartáče, které zakrývají prostor vedení. Zásobník nástrojů je doplněn o plechovou clonu, která v nulové poloze zásobníku odděluje pracovní prostor stroje od servisního prostoru manipulační nástrojové jednotky a zabraňuje úniku třísek z pracovního prostoru stroje. Podstatná část manipulační nástrojové jednotky, ležící vně zástavby stroje. Důležitým konstrukčním celkem této varianty je krytování manipulační nástrojové jednotky. Krytování zabraňuje přímému kontaktu obsluhy s pohyblivými částmi zařízení. Kryty jsou důmyslně navrženy s ohledem na jednoduchou montáž. Uchycení krytů je realizováno pomocí šroubů. Kotví se k rámu manipulační nástrojové jednotky a pro dobré utěsnění celého manipulačního prostoru jsou přichyceny ke krytům stroje. Z důvodu snadného přístupu k zásobníku nástrojů, je horní kryt otvíratelný. Z bezpečnostních důvodů je opatřen elektromechanickým bezpečnostním snímačem, který je při manipulaci se zásobníkem uzamčený. Spodní kryty jsou konstruovány s větracími otvory pro dobrou cirkulaci vzduchu v prostoru motoru.



Obrázek 14 sestava manipulační nástrojové jednotky varianta 2 (model z Pro/ENGINEER)

4.2.2 ZÁSAHY DO STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE CNC FRÉZKY

Tato varianta způsobí zásah do konstrukčních celků stávajícího stroje. Zejména úprava krytů, a lineárního vedení „ose Y“. Prodloužené vedení cca o 35 mm vyžaduje použití delších kuličkových šroubů. Vnější krytování stroje musí být upraveno pro průchod zásobníku nástrojů do výměnné polohy. Je nezbytné zhotovení otvoru v krytu z boční strany stroje. Spodní kryt rámu stroje, který je původně navržen z jednoho kusu, musí být rozdělen na dva



samostatné kryty. Tato úprava je nezbytná pro zajištění snadné montáže spodního krytu. Zhotovený otvor v krytování, musí být opatřen plechovým límcem, ke kterému je možno montovat vnější krytování manipulační nástrojové jednotky. Na základním rámu stroje, není třeba provádět zásadních konstrukčních změn. V rámu jsou pouze zhotoveny závity pro šrouby, kterými je rám manipulační nástrojové jednotky spojen se základním rámem stroje.

4.2.3 HLAVNÍ KOMPONENTY

Manipulační nástrojová jednotka je konstruována s využitím servomotoru od výrobce Siemens s označením SIMOTICS S-1FK7. Pro tento motor je výrobcem určen frekvenční měnič SINAMICS S110. Kuličkový šroub je nakupovaná komponenta od výrobce Bosch Rexrot. Šroub s označením SN-R 12x10Rx2. Pro tento šroub je použita kuličková matice FEM-E-S 12x10Rx2-2. Ochrana kuličkového šroubu proti třískám je zabezpečena teleskopickou pružinou typu 25-750-50, která je výrobkem firmy Hestego. Kuličkový šroub je uložen v ložiscích, které jsou stanoveny dle rozměrů konců kuličkového šroubu a způsobu uložení. Ložiska, pojistná matice a pojistný kroužek ložiska jsou použity od výrobce Bosch Rexroth. Výrobce dodává tyto komponenty k nakupovanému šroubu. Označení hlavního ložiska je LAN R159010600. Jedná se o axiálně radiální ložisko s děleným spodním kroužkem. Pojistná matice ložiska je značena R344600304_1. Radiální ložisko výrobce značí R341400206_1. Na šroubu je toto ložisko zajištěno pojistným kroužkem R341073600_1. Převod mezi motorem a kuličkovým šroubem je realizován s využitím ozubeného řemene. Řemen PowerGrip HTD a řemenice jsou konstruovány dle výrobce Walter Flender Group. K uchycení řemenice na hřídeli motoru je využito svěrné pouzdro TLK300 od firmy Tollok. Řemenice je spojena na konci kuličkového šroubu kotoučovým perem a zajištěna maticí. Manipulační nástrojová jednotka je vybavena snímačem pro korekci a kompenzaci nástrojů. Snímač Z-Nano od firmy Datron Technology, s.r.o. Pro zajištění bezpečnosti je horní otevírací kryt opatřen elektromechanickým bezpečnostním spínačem NZ, VZ od firmy Euchner.

4.2.4 ZHODNOCENÍ KONSTRUKČNÍ VARIANTY

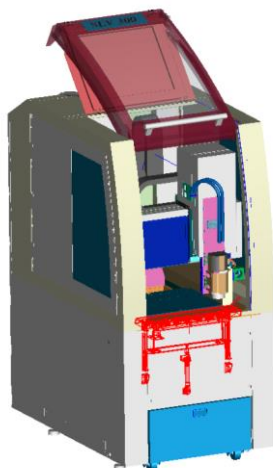
Použití druhé varianty koncepčního návrhu manipulační nástrojové jednotky umožňuje kapacitu desítek nástrojů. V důsledku vyšší kapacity zásobníku narůstají rozměry manipulační nástrojové jednotky. Z toho důvodu je podstatná část umístěna vně zástavby CNC vertikální frézky. Zásobník je při procesu obrábění v pozici mimo pracovní prostor. Tato pozice zásobníku je velmi výhodná z hlediska servisu a vizuální kontroly výměny nástrojů. Lze bez přerušení obráběcího procesu provést náhradu defektního nástroje. Dobrý servisní přístup i při procesu obrábění eliminuje prostoj stroje, což je velká výhoda. Nevýhoda druhého konstrukčního návrhu manipulační nástrojové jednotky je zvětšení celkové zástavby stroje. To může být komplikace pro pracovní stanoviště s omezeným prostorem.

Konstrukční uspořádání druhého koncepčního návrhu přináší množství výhod. Vysoká kapacita zásobníku nástrojů a velmi dobrý servisní přístup jsou vlastnosti, které toto konstrukční řešení manipulační nástrojové jednotky velmi zvýhodňují. Tato varianta konstrukčního řešení je pro užití na stroji SLV 300 výhodná.



4.3 VARIANTA 3.

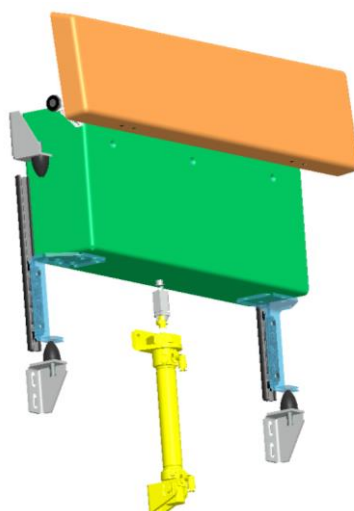
Jedná se o manipulační nástrojovou jednotku, která je uložena v přední části stroje. Umístění manipulační nástrojové jednotky je přímo v pracovním prostoru stroje. Třetí konstrukční varianta umožňuje kapacitu pěti nástrojů. Z důvodu omezeného prostoru v přední části stroje, není možné pro tuto manipulační nástrojovou jednotku zvýšit kapacitu zásobníku nástrojů.



Obrázek 15 manipulační nástrojová jednotka varianta 3. (model z Pro/ENGINEER)

4.3.1 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Konstrukční řešení třetí varianty manipulační nástrojové jednotky se liší od předchozích dvou variant. Pro tuto koncepci byl zvolen způsob manipulace pomocí dvoucestného pneumatického válce. V důsledku umístění manipulační nástrojové jednotky v přední části stroje je tento druh pohonu nejlépe využitelný a to hlavně z důvodu omezeného prostoru pod zásobníkem nástrojů. Pístnice pneumatického válce je se zásobníkem nástrojů spojena pomocí pružné kulové spojky, která eliminuje montážní nepřesnosti. Pro přesné vedení zásobníku je použito lineární vedení. Spojení zásobníku nástrojů s lineárním vedením je provedeno prostřednictvím plechových držáků. Dojezd zásobníku na přesnou pozici výměny, je zajištěn mechanickými dorazy. Mechanické dorazy jsou pro pneumatický pohon nezbytné. Při vertikální dopravě s využitím pneumatického válce vznikají nepřesnosti polohování. Výrobce uvádí pro zvolený pneumatický válec nepřesnost polohování cca +1,5 mm. Při dojezdu do výměnné polohy se zásobník zastaví o mechanický doraz, na přesně určené pozici. Manipulační nástrojová jednotka je opatřena horním krytem, který zamezuje vniku třísek do prostoru zásobníku nástrojů. Otevření horního krytu je zajištěno silou pneumatického válce. Zásobník je opatřen po stranách rolnami, které se při pohybu zásobníku odvalují po připravených plochách na spodní straně horního krytu. Uzavírání horního krytu při pohybu zásobníku směrem do nulové polohy zajišťují po stranách umístěné tažné pružiny. Horní kryt je uchycen pomocí pantů k plechovému límeči. Tento límeč je navařen na nosném rámu stroje. Plechový límeč slouží také pro uchycení lineárního vedení a příruby pneumatického válce.



Obrázek 16 sestava manipulační nástrojové jednotky varianta 3. (Pro/ENGINEER)

4.3.2 ZÁSAHY DO STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE CNC FRÉZKY

Tato konstrukční varianta manipulační nástrojové jednotky vyžaduje úpravu na základním rámu a stejně jako v obou předchozích variantách řešení, je nezbytná úprava „osy Y“. Prodloužení lineárního vedení a použití nových kuličkových šroubů na této ose stroje. Na základní rám je třeba navařit plechový límec, který zakryje celý prostor manipulační nástrojové jednotky. K základnímu rámu stroje musí být přivařeny profily, které tvoří podporu plechového límce ze strany určené pro kotvení vedení, pneumatického válce a pevných dorazů. Úprava konstrukce rámu CNC vertikální frézky pro tento koncepční návrh je velkou technologickou komplikací.

4.3.3 HLAVNÍ KOMPONENTY

Třetí navržená varianta se liší od dvou předchozích variant hlavně použitým pohonem. Pro tuto variantu byl zvolen pohon pneumatickým válcem od firmy Bosch Rexroth pneumatics. Jedná se o dvojitý pneumatický válec CLS-RD s průměrem pístu 20 mm, zdvihem 90 mm a vysouvací silou 198 N. Pro montáž pneumatického válce je voleno příslušenství, jako pružná kulová spojka PM5, připojovací příruba MS3 a spodní oko AB3. Lineární vedení pro tuto manipulační nástrojovou jednotku X-Rail TEX-20 je použito od firmy Rollon. Panty 218_9003 určené k otevírání horního krytu manipulační nástrojové jednotky jsou zvoleny od firmy Dirak. Manipulační nástrojová jednotka je vybavena snímačem pro měření a korekci nástrojů. Snímač označený Z-Nano je výrobkem firmy Datron Technology, s.r.o.

4.3.4 ZHODNOCENÍ KONSTRUKČNÍ VARIANTY

Pro případ třetího koncepčního návrhu je poměrně komplikovaný přístup obsluhy pro servis nástrojů. Servis musí být prováděn z přední části a to pouze při zastaveném stroji. Možnost servisu pouze tímto způsobem, má za následek prostoj stroje, což snižuje produktivitu výroby.

Z důvodu nutných konstrukčních změn a servisních komplikací, není tato varianta řešení dostatečně efektivní. Řešení manipulační nástrojové jednotky tímto způsobem není pro vertikální CNC frézku SLV 300 výhodné.



4.4 VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY ŘEŠENÍ

Jednotlivé varianty řešení manipulační nástrojové jednotky jsou posuzovány na základě změn v konstrukci stávajícího zařízení a hlavním parametrem jsou výhody a nevýhody, které přináší jednotlivé varianty z pohledu zákazníka. Při vyhodnocení všech těchto parametrů můžeme zvolit jednu nejvhodnější konstrukční variantu řešení.

4.4.1 POSOUZENÍ Z HLEDISKA ZÁKAZNÍKA

Důležitým faktorem pro výběr vhodné varianty ze strany zákazníka je kapacita zásobníku nástrojů a možnost komfortního servisu vyžadujícího minimální časovou náročnost. Vyšší kapacita zásobníku nástrojů přináší možnost zvýšit počet operací prováděných CNC vertikální frézou SLV 300. Pro případ výměny opotřebeného nástroje, nebo kontroly pohybového ústrojí manipulační nástrojové jednotky je komfortní přístup velmi důležitý. Z hlediska kapacity je nejvýhodnější druhá varianta řešení manipulační nástrojové jednotky. Kapacita zásobníku je deset nástrojů s upínačem HSK E25. Tato varianta řešení umožňuje komfortní servisní přístup ke všem částem manipulační nástrojové jednotky. Výměnu opotřebeného nástroje je možno provádět i při obráběcím procesu, což nezpůsobuje nežádoucí prostoj stroje.

4.4.2 ZÁSADY DO STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE

Úprava konstrukce stroje je důležité kritérium pro volbu konstrukční varianty manipulační nástrojové jednotky. Ze zpracovaných konstrukčních variant vyplývají nevyhnutelné změny na stávající konstrukci stroje. Pro využití manipulační nástrojové jednotky pro automatickou výměnu nástrojů, musí být prodloužen rozjezd „osy y“ ve všech případech. Nelze navrhnout manipulační nástrojovou jednotku, která by neměla dopad na stávající konstrukci CNC vertikální frézky SLV 300.

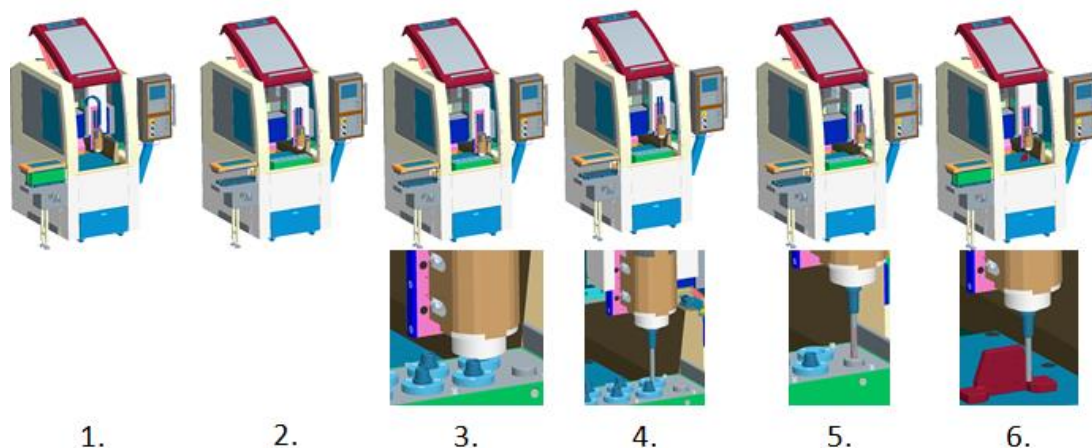
Z důvodu nejmenších změn na dosavadní konstrukci stroje, nejpohodlnějšího servisu a nejvyšším počtu nástrojů, je volena druhá varianta řešení manipulační nástrojové jednotky.



5 VYBRANÁ KONSTRUKČNÍ VARIANTA

5.1 PODROBNÝ POPIS KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

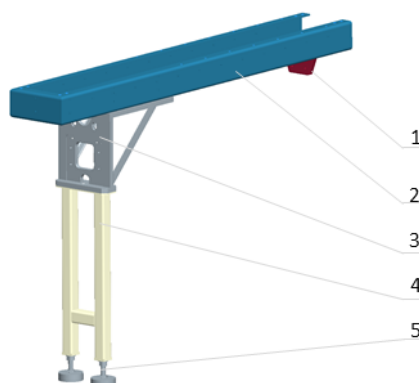
Konstrukce zvolené manipulační nástrojové jednotky se skládá z několika hlavních konstrukčních celků. Dílčí sestavy jsou popsány pro přiblížení vhodného finálního řešení manipulační nástrojové jednotky.



Obrázek 17 funkce manipulační nástrojové jednotky ve stroji (1. zásobník v nulové poloze, 2. pohyb zásobníku do výměnné polohy, 3. zásobník ve výměnné poloze – 4. upnutí nástroje (upínače), 5. odebrání nástroje (upínače), 5. korekce (měření) nástroje, 6. zásobník v nulové poloze – pracovní proces stroje) (Pro/ENGINEER)

5.1.1 SESTAVA RÁMU

Rám manipulační nástrojové jednotky zajišťuje stabilitu celého zařízení. Celek rámu je konstruován jako sestava tří hlavních svařovaných částí. Spojení hlavních částí je realizováno pomocí šroubů. Dále jsou do sestavy rámu přidány stavitelné patky a ložisková příruba.



Obrázek 18 sestava rámu (1- ložisková příruba, 2- horní rám, 3- spodní rám, 4- stojina, 5- stavitelná patka) (Pro/ENGINEER)



HORNÍ RÁM

Horní část sestavy rámu tvoří svařovaný rám Tento díl sestavy rámu je svařen z ohnutého plechu o síle stěny 4mm. Z důvodu zvýšení tuhosti je horní rám vyztužen ložiskovou přírubou, která jednak plní funkci ztužujícího žebra a současně slouží k uchycení ložiskového domku radiálního ložiska kuličkového šroubu.

Horní rám tvoří důležitou část celé sestavy rámu manipulační nástrojové jednotky. Horního rámu je užíváno k montáži lineárního vedení, pásových kartáčů (viz kapitola 5.1.7 obr. 39), a pevných havarijních dorazů. V boční stěně ohnutého profilu jsou vyfrézovány svislé drážky pro kotvení k základnímu rámu stroje. S využitím svislých drážek je při montáži manipulační nástrojové jednotky na stroj umožněno ustavení nástrojové jednotky do přesné polohy vůči pracovnímu stolu. Ve spodní stěně profilu jsou vyvrtány otvory s navařenými maticemi, které slouží pro spojení horního rámu se spodním rámem. Část horního rámu umístěná v pracovním prostoru, je opatřena o stavěcí šrouby. Prostřednictvím stavěcích šroubů je celá sestava ustavována do roviny s pracovní deskou stroje. Horní rám je užíván i pro uchycení krytování manipulační nástrojové jednotky. (viz obr. 18).

SPODNÍ RÁM

Spodní rám (viz obr. 18) je svařen ze základní desky, podstavy, dvou horních plechů a podpěrných „L“ profilů. Funkční plochy rámu jsou obráběny až po svaření z důvodu zajištění požadovaných geometrických tolerancí. Obrobené dosedací plochy slouží pro uložení motorové desky a ložiskového domku axiálně radiálního ložiska sestavy kuličkového šroubu. Horní dosedací plocha svařované sestavy je obráběna z důvodu přesného uložení horního rámu. V podstavě spodního rámu je vyvrtán otvor pro stavěcí šroub, kterým se provádí napínání řemene řemenového převodu.

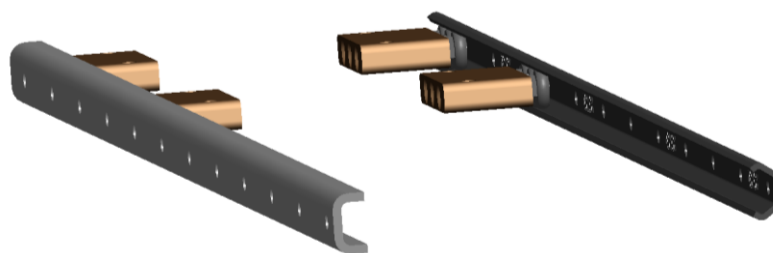
STOJINA

Stojina je konstruována jako svařovaná sestava. Stojina je svařena z horního plechu a čtvercových profilů. Použitý čtvercový profil je běžně dostupný ze sortimentu firmy Feron, a.s. Ze spodní strany čtvercových profilů jsou navařeny plechy, do nichž je po svaření zhotoven závit, pro připojení stavitelných patek. Patky umožňují eliminovat případné nerovnosti podložky, na niž je stroj ustaven. (viz obr. 18)

5.1.2 SESTAVA LINEÁRNÍHO VEDENÍ

Pro přesné vedení zásobníku nástrojů je manipulační nástrojová jednotka opatřena lineárním vedením od firmy Rollon. Pro toto konstrukční řešení lineárního vedení se používá kombinace dvou vedení T+U. Jedna lišta vedení je fixní a druhá kompenzační. Tato kombinace se užívá z důvodu drobných geometrických nepřesností ploch, na které jsou lineární vedení montována.

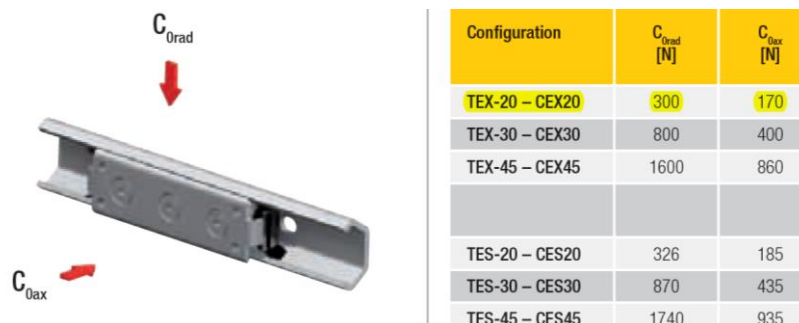
Výrobce Rollon uvádí provozní parametry lineárního vedení. Pro vedení je stanoveno přípustné provozní zrychlení 2 ms^{-2} a rychlost $1,5 \text{ ms}^{-1}$. [9]



Obrázek 19 sestava lineárního vedení (Pro/ENGINEER)

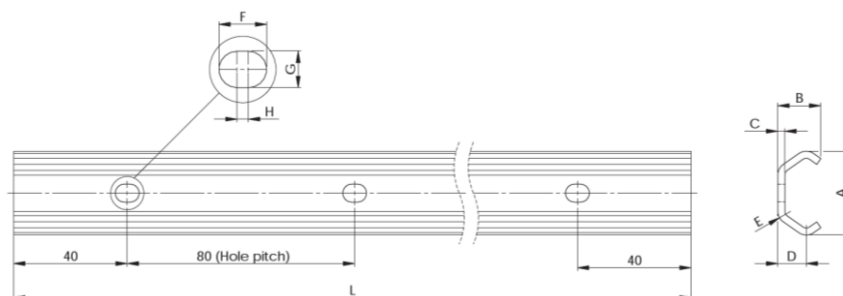
FIXNÍ LIŠTA

Fixní lišta X-Rail TEX-20-CEX20 (viz obr. 20) lineárního vedení zajišťuje přesné vedení vozíku bez možnosti vychýlení. Je schopna přenášet zatížení ve dvou směrech. Označení TEX udává druh materiálu vodící lišty (TEX=korozivzdorná ocel)



Obrázek 20 fixní lišta TEX-20-CEX20 [9]

Lišty lineárního vedení jsou dodávány firmou Rollon v standardních délkách. Pro manipulační nástrojovou jednotku je ze standardní řady volena lišta o délce 960 mm.



Obrázek 21 geometrické rozměry lišty TEX [9]

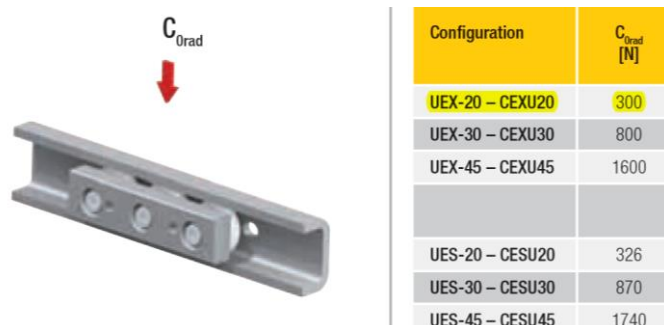
Tabulka 3 rozměry lišty TEX 20 [9]

typ vedení	velikost	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	E [mm]	F [mm]	G [mm]	H [mm]	díry pro šrouby
TEX	20	19,2	10	2	7	3	7	5	2	M4



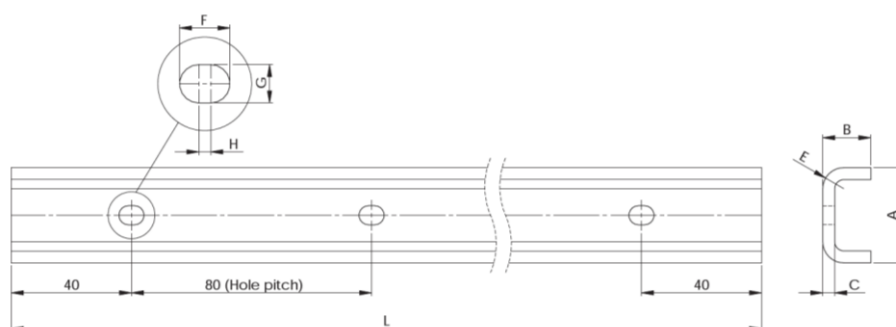
KOMPENZAČNÍ LIŠTA

Kompenzační lišty lineárního vedení se do sestavy umísťují z důvodu vyvážení výrobních nepřesností. Dovolená odchylka rolly od předepsaného uložení v liště lineárního vedení je $\pm 0,6$ mm [10]. Volená kompenzační lišta je typu UEX-20-CEXU20 (viz obr. 22). Označení UEX udává druh materiálu (UEX=korozivzdorná ocel)



Obrázek 22 kompenzační lišta UEX-20-CEXU20 [9]

Stejně jako u předchozího typu lišty TEX, existuje pro danou lištu UEX standardizovaná řada délek. Je volena lišta se stejnou délkou jako v předešlém případě 960 mm.



Obrázek 23 geometrické rozměry lišty UEX [9]

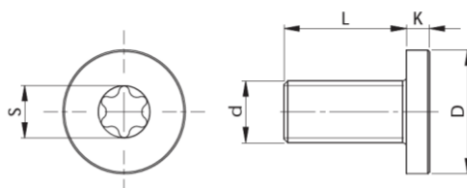
Tabulka 4 rozměry lišty UEX [9]

typ vedení	velikost	A [mm]	B [mm]	C [mm]	E [mm]	F [mm]	G [mm]	H [mm]	díry pro šrouby
UEX	20	20,5	11	3	5,5	7	5	2	M4

PŘIPOJOVACÍ ŠROUBY VEDENÍ

K uchycení lineárního vedení k rámu manipulační nástrojové jednotky je výrobcem doporučeno použití speciálního typu šroubů. Lišty lineárního vedení jsou montovány z vnitřní strany. Používají se šrouby s velmi nízkou hlavou, aby nedocházelo ke kontaktu mezi hlavou šroubu a rolnou vozíku.

Firmou Rollon je doporučeno použití šroubů dle ISO 7380 s nízkou hlavou nebo šrouby typu TORX (viz obr. 24). [9]



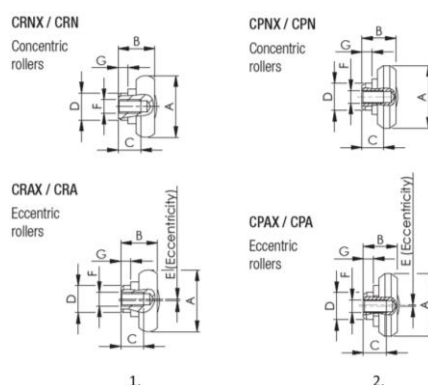
Obrázek 24 geometrické rozměry doporučeného šroubu [9]

Tabulka 5 parametry šroubu [9]

velikost vedení	typ šroubu	d	D [mm]	L [mm]	K [mm]	S	utahovací moment [Nm]
20	M4x8	M4x0,7	3	5,5	7	T20	3

ROLNA

Rolny pro stanovené typy lineárního vedení jsou produktem firmy Rollon. Na jednom vozíku lineárního vedení jsou použity tři rolny. Dvě rolny soustředné a jedna excentrická rolna umístěná ve střední části vozíku. Pro fixní lineární lištu jsou předepsány rolny s označením CRNX a CRAX (viz obr. 25-1). Pro kompenzační je označení roln CPNX a CPAX (viz. Obr. 25-2). Touto kombinací je umožněno lepší rozložení napětí na liště lineárního vedení, což má pozitivní vliv na životnost vedení.



Obrázek 25 rolny vozíků lineárního vedení (1. fixní, 2. kompenzační) [9]

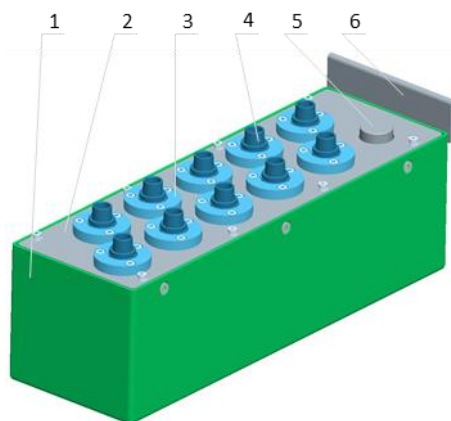
Tabulka 6 rozměry rolny dle výrobce Rollon [9]

typ rolny	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	E [mm]	F	G [mm]
CRNX20	14	8,7	6	6	-	M4	1,8
CRAX20	14	8,7	6	6	0,5	M4	1,8
CPNX20	14	7,35	5,5	6	-	M4	1,8
CPAX20	14	8,7	6	6	0,4	M4	1,8



5.1.3 SESTAVA ZÁSObNÍKU NÁSTROJŮ

Velkou předností tohoto konstrukčního řešení manipulační nástrojové jednotky je kapacita zásobníku nástrojů. Zásobník nástrojů je navržen s kapacitou deseti nástrojů s upínacím kuželem HSK E25 (viz obr. 26). Hlavní části zásobníku nástrojů tvoří sestava boxu, sestava nástrojové desky a vložené upínače s nástroji.



Obrázek 26 sestava zásobníku nástrojů (1.box, 2.nástrojová deska, 3.držák upínače, 4.upínač, 5.Z-Nano, 6.plechová clona) (model z Pro/ENGINEER)

SESTAV BOXU

Základní částí zásobníku nástrojů je box, který je svařen z plechu o síle 3mm. Ve vnitřním prostoru boxu je navařen plech, který slouží k uchycení snímače Z-Nano, pro měření a korekci nástroje. Pro uchycení nástrojové desky, jsou z vnitřní strany boxu namontovány lišty s předvrtanými závitovými otvory. Ze strany boxu orientované směrem k pracovnímu prostoru stroje, je namontována plechová clona, která při dojezdu do nulové polohy zajíždí pod krytování stroje. Plechovou clonou je oddělen prostor zásobníku v nulové poloze od pracovního prostoru stroje. Tím je zajištěna ochrana proti vniknutí třísek do zásobníku nástrojů. Ve dně boxu jsou vyvrtány otvory pro šrouby, kterými je celá sestava boxu uchycena k saním manipulační nástrojové jednotky.

SESTAVA NÁSTROJOVÉ DESKY

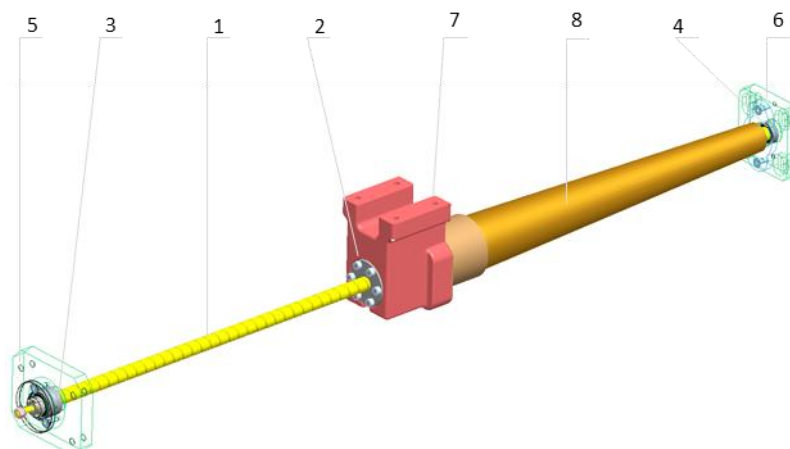
Sestava nástrojové desky je složena z hliníkové desky a držáků nástrojů. Deska je obráběna z jednoho kusu ze slitiny hliníku (3.3547 (AlMg4,5MnW28)). Slouží pro uchycení držáků nástrojů. Držáky jsou vyráběny z plastového materiálu voleného od firmy Murtfeld. Držáky nástrojů jsou uchyceny k nástrojové desce pomocí šroubů. Upínač HSK E25 je v tomto držáku uložen s vůlí, z důvodu kompenzace případných nepřesností, které mohou vzniknout při manipulaci se zásobníkem. (řádově desetiný milimetru).

UPÍNAČ HSK E25

Upínače HSK E25 jsou konstruovány pro malé řezné síly. Použití v oblasti obrábění hliníku, plastů a dřeva. V zásobníku nástrojů je uloženo deset upínačů HSK E25. Pro možnost využití různých typů nástrojů, jsou voleny upínače pro nástroje s průměrem upínací stopky v rozmezí tři až deset milimetrů. Limitní délka použitého nástroje je 110 mm o maximálním průměru břitu 20 mm. Stopka nástroje je v upínači zajištěna s užitím pojistného šroubu, nebo kleštiny.



5.1.4 SESTAVA KULIČKOVÉHO ŠROUBU

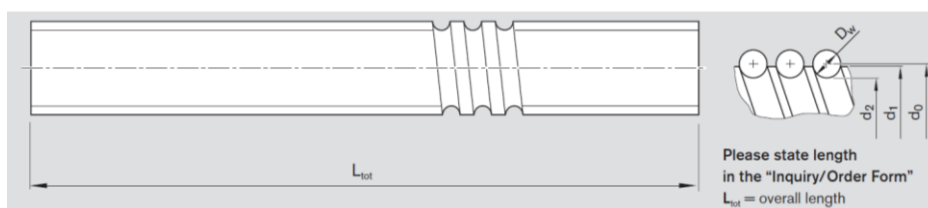


Obrázek 27 sestava kuličkového šroubu (1.kuličkový šroub SN-R, 2.kuličková matice FEM-E-S , 3.ložisko LAN, 4.ložisko LAD, 5.ložiskový domek, 6.lužiskový domek, 7.unašeč, 8.teleskopická pružina) (model z Pro/ENGINEER)

KULIČKOVÝ ŠROUB

Kuličkový šroub je nakupován od firmy Bosch Rexroth. Pro manipulační nástrojovou jednotku je volen kuličkový šroub standardní řady SN-R s označením 12x10Rx2 s tolerančním stupněm T5. Značení šroubu (12 vnější průměr závitů kuličkového šroubu, 10 výška stoupání kuličkového, R značí orientaci závitů - pravotočivý závit, 2 průměr kuličky uložena v kuličkové matici). Všechny číselné hodnoty ve znaku kuličkového šroubu jsou uváděny v milimetrech. Pro výrobu kuličkových šroubů SN-R je používán materiál 14 240. Závitů kuličkového šroubu jsou vyráběny technologií válcování, přičemž celá závitová část je kalena na tvrdost 60 HRC a následně je závit broušen.

Zvolený šroub je zkontrolován dle výpočtů daných výrobcem Bosch Rexroth v kombinaci s německou normou DIN ISO 3408-5 (viz kapitola 5.2).



Obrázek 28 parametry zvoleného kuličkového šroubu [8]

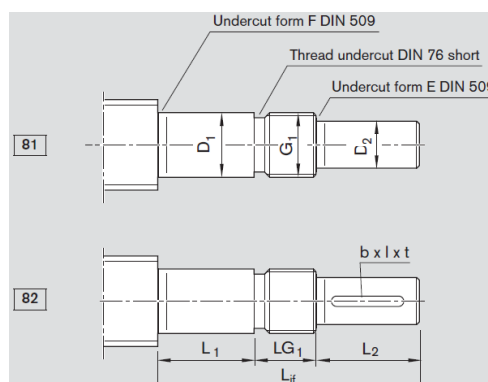
Tabulka 7 parametry zvoleného kuličkového šroubu [8]

$d_0 \times P \times D_w$	T5	d_1 [mm]	d_2 [mm]	maximální délka [mm]	
				standard	na požádání
12x10Rx2	R1531 495 00	19	16,9	1500	2500



Šrouby SN-R jsou v základní řadě vyráběny do maximální délky 1500 mm (viz tab. 7). Pro konstrukční řešení manipulační nástrojové jednotky je volen šroub s délkou 818 mm, což s rezervou spadá do standardní řady vyráběných šroubů.

Důležité části kuličkového šroubu tvoří jeho zakončení. Konce kuličkového šroubu určuje způsob uložení šroubu. Výrobce Bosch Rexroth uvádí několik forem vyráběných konců kuličkových šroubů. Pro konec kuličkového šroubu určený k uložení axiálního ložiska v přední části zařízení je z katalogu volena forma 81 (viz obr 29). Z konstrukčních důvodů je třeba zvolený konec kuličkového šroubu opatřit o drážku pro kotoučové pero a závit na malém průměru (D_2). Tato úprava je nutná pro zajištění hnané řemenice.



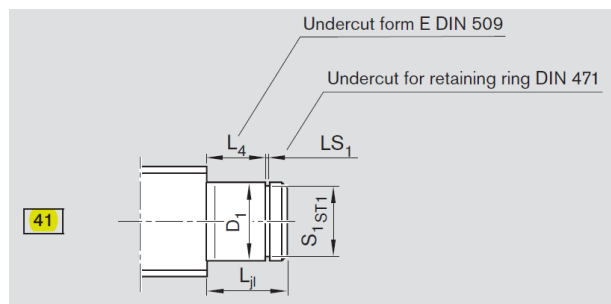
Obrázek 29 konec kuličkového šroubu (forma 81) [8]

Tabulka 8 rozměry konce kuličkového šroubu pro formu 81 [8]

rozměry [mm]									
forma	d_0	P	L_f	$D_{1\ h6}$	L_1	$D_{2\ h7}$	L_2	G_1	L_{G1}
81	12	2/5/10	40	6	14	5	16	M6x0,5	10

Pro určenou formu 81 konce kuličkového šroubu doporučuje výrobcem axiálně radiální ložisko s těsněním. Tento typ ložiska je zajišťován na konci kuličkového šroubu s využitím pojistné matice. Využívá se matice s jemným stoupáním závitu. Pojistná matice pro ložisko je výrobcem značena R344600304_1.

Pro druhý konec kuličkového šroubu je z katalogu Bosch Rexroth vybráno zakončení, které je konstruováno pro uložení jednořadého radiálního ložiska. Zvolená forma 41 (viz Obr. 30) určuje rozměry dosedací plochy pro ložisko a uvádí vzdálenost a rozměr drážky určené pro pojistný kroužek. Tento konec kuličkového šroubu leží v pracovním prostoru stroje, kde je ložisko vystaveno třískám vznikajícím při obrábění. Pro ochranu a delší životnost doporučuje Bosch Rexroth využití ložiska s těsněním.



Obrázek 30 konec kuličkového šroubu (forma 41) [8]

Tabulka 9 rozměry konce kuličkového šroubu pro formu 41 [8]

rozměry [mm]								
forma	d_0	P	D_{1j6}	L_{ji}	L_4	S_1	ST_1	LS_{1H13}
41	12	2/5/10	6	8	6	5.7	h10	0,8

KULIČKOVÁ MATICE

Kuličková matice je určena v závislosti na rozměru kuličkového šroubu. Pro kuličkový šroub je volena matice s přírubou s označením FEM-E-S R153249013 (viz obr. 31). Zvolená matice má rozměry dle použitého kuličkového šroubu 12x10Rx2-2. Označení je stejné jak pro matici, tak i pro kuličkový šroub (viz kuličkový šroub). Označení kuličkové matice se liší pouze o hodnotu za pomlčkou, která udává počet chodů zavítu v matici. Volená kuličková matice pro manipulační nástrojovou jednotku je na šroubu umístěna bez předpětí. Předepjaté matice jsou užívány pouze pro vyšší přesnost polohování a stabilnější chod matice při velkém zatížení. Předepnutí ovlivňuje opotřebení závitů a valivých elementů. Předepnutím je snížena celková životnost sestavy matice a šroubu.



Obrázek 31 kuličková matice FEM-E-S [8]

Tabulka 10 technické parametry matice [8]

$d_0 \times P \times D_w - i$	matice	únosnost [N]		max. rychlost v_{\max} [mm $^{-1}$]
		dyn. C	stat. C_0	
12x10Rx2-2	R1532 490 13	2500	3600	60



Mazání kuličkové matice:

Zajištění správného mazání je zásadní pro kvalitní a bezporuchový chod kuličkového šroubu a matice. Pro volenou velikost kuličkové matice výrobce nenabízí předřazenou mazací patronu. Z toho důvodu je matice pro kvalitní mazání plněna tukovou náplní. Pro provozní podmínky s nízkým zatížením a provozními teplotami v rozmezí (-20 až +80 C°), je výrobcem doporučeno použití tukové náplně s označením NLGI třídy 00, nebo Dynalube 520. S užitím tohoto mazacího média, je stanovena provozní doba, po kterou náplň spolehlivě vydrží a zajistí kvalitní mazání celé soustavy.

Pro kuličkovou matici s průměrem menším než 40 mm a stoupáním závitu 10 mm, je stanovena trvanlivost náplně na počet otáček ($n=50 \cdot 10^6$, $s=500$ km). [8]

Kuličková matice 12x10x2-2 je plněna tukovou náplní přes maznici. Výrobcem uváděné množství maziva je pro doplnění již používané matice (0,3 g). Při prvním mazání je třeba aplikovat dvojnásobek této stanovené hmotnosti. [8]

LOŽISKA KULIČKOVÉHO ŠROUBU

Ložiska kuličkového šroubu jsou určena dle konstrukce konců šroubu. Obě použitá ložiska jsou nakupována od výrobce Bosch Rexroth přímo s kuličkovým šroubem. Uložení kuličkového šroubu je konstruováno s jedním dvouřadým axiálně radiálním ložiskem LAN R159010600 a jedním radiálním ložiskem LAD R159060600 (viz. obr. 30). Z důvodu funkce ložisek v obráběcích stroji, kde jsou vystavena nepříznivému pracovnímu prostředí, je nezbytné použití ložisek s těsněním. Tím je zajištěna ochrana valivých elementů proti vniknutí třísek.



Obrázek 32 použitá ložiska (1.axiálně radiální ložisko LAN, 2.radiální ložisko LAD) [8]

LOŽISKOVÉ DOMKY

Ložiskové domky jsou vyráběné součásti sloužící ke spolehlivému uložení celé sestavy kuličkového šroubu na rám manipulační nástrojové jednotky. Ložiskový domek radiálního ložiska je opatřen drážkami pro šrouby. Ložiskový domek axiálního ložiska je konstruován pouze se závitovými otvory. Drážky pro ustavení tohoto domku jsou z důvodu snazší montáže zhotoveny na dosedací ploše spodního rámu. Prostřednictvím drážek je možné ustavení sestavy kuličkového šroubu do přesné polohy vůči lineárnímu vedení manipulační nástrojové jednotky. Ložiskový domek axiálního ložiska je opatřen závitovými otvory, sloužící pro montáž víčka, které pevně zajišťuje ložisko v ložiskovém domku.

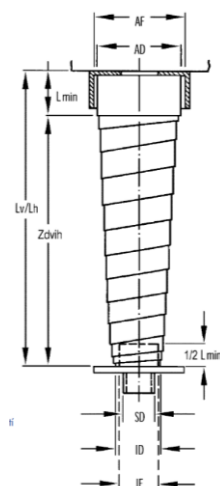


UNAŠEČ

Unašeč je vyráběná součást z hliníkové slitiny (3.3547 (AlMg4,5MnW28)). Touto komponentou je zajištěno přenášení pohybu z kuličkové matice na saně a následně na zásobník nástrojů. V unašeči je obrobena dosedací plocha se závitovými otvory a to z důvodu uložení kuličkové matice. Kuličková matice je s tělesem unašeče spojena šesti šrouby. Ze strany orientované směrem do pracovního prostoru je k unašeči připojena příruba teleskopické pružiny (viz obr. 33).

TELESKOPICKÁ PRUŽINA

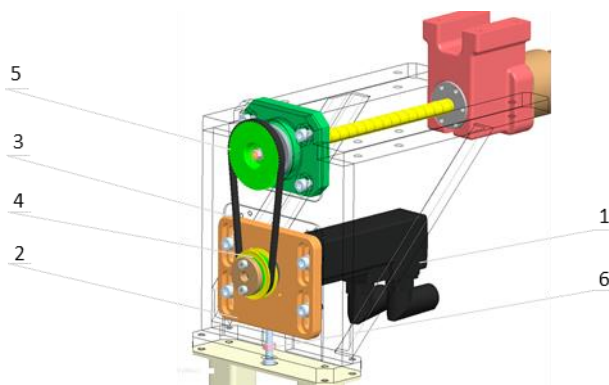
Teleskopická pružina je důležitou komponentou sestavy kuličkového šroubu. Chrání část kuličkového šroubu uloženou v pracovním prostoru stroje. Část kuličkového šroubu v pracovním prostoru je vystavena třískám vznikajícím při procesu obrábění. Pro uložení teleskopické pružiny jsou na obou jejích koncích umístěny jednoduché centrovací příruby. Základní rozměry centrovací příruby jsou stanoveny výrobcem (viz obr. 33). Vnitřní rozměry příruby musí umožnit volný pohyb pružiny, aby nedocházelo k zadírání. Pružina se v přírubě při stlačování a roztahování otáčí. V důsledku toho nesmí být s přírubami pevně spojena. Teleskopická pružina je volena ze standardizované řady výrobků firmy Hestego.



Obrázek 33 teleskopická pružina Hestego (IF-vnitřní průměr centrovací příruby (ID - 2mm), ID-vnitřní průměr spirálové pružiny, SD-maximální vnější průměr krytého dílu, AD-vnější průměr spirálové pružiny, AF-vnitřní průměr centrovací příruby velké (AD + 4mm), Lh-maximální roztahení při horizontálním použití) [13]

Tabulka 11 rozměry použité teleskopické pružiny [13]

typ	SD [mm]	ID [mm]	AD [mm]	Lh [mm]	BB [mm]
25-750-50	21	25	47	690	50



Obrázek 34 sestava motoru a rozvodů (1.motor, 2.motorová deska, 3.řemen, 4.malá řemenice, 5.velká řemenice, 6.stavěcí šroub) (model z Pro/ENGINEER)

5.1.5 SESTAVA MOTORU A ROZVODU

MOTOR

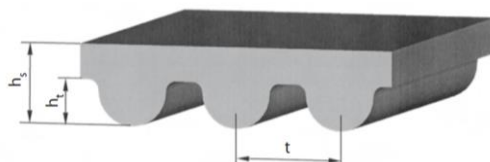
Kuličkový šroub je poháněn servomotorem s polohovým odměřováním. Servomotor je produktem firmy Siemens s označením SIMOTICS S-1FK7015. Pro tento motor je výrobcem určen frekvenční měnič SINAMICS S110. Servomotor je volen na základě potřebného výkonu a točivého momentu. Tyto návrhové parametry vycházejí z výpočtu kuličkového šroubu (viz kapitola 5.2). Pracovní vytížení manipulační nástrojové jednotky je pouze cca 10% z celkového pracovního času CNC vertikální frézky, z toho důvodu je dostačující servomotor s přirozeným chlazením. Nedochází k dlouhodobému zatěžování motoru.

DESKA MOTORU

Deska motoru je vyráběná součást, která slouží k uchycení motoru. Motorová deska je uložena na obrobene ploše spodního rámu manipulační nástrojové jednotky. K uchycení desky ke spodnímu rámu jsou použity čtyři šrouby. Vyfrézované dlouhé drážky v motorové desce umožňují pomocí stavěcího šroubu správné napnutí ozubeného řemene. Konečná poloha je pak zafixována maticí na stavěcím šroubu. (viz obr. 34).

ŘEMEN

Řemen je nakupovaná komponenta od výrobce Walter Flender Group. Pro převod je volen neoprenový ozubený řemen PowerGrip HTD s roztečí zubů 3 mm a šířkou řemene 6 mm (viz. Obr. 35). Pro tento řemen udává výrobce dovolenou provozní sílu 92 N, což je pro převod manipulační nástrojové jednotky s rezervou splněno. Délka řemene pro převod je volena ze standardní řady řemenů. Pro navržený převod je volen řemen o délce 345 mm s počtem zubů 115.



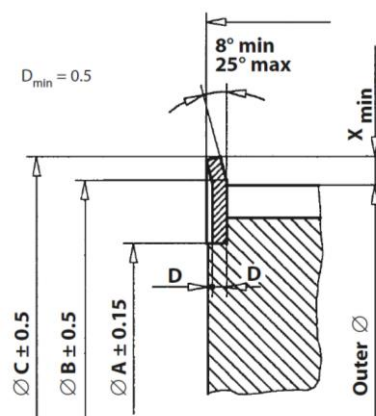
Obrázek 35 řemen PowerGrip HTD [10]



MALÁ ŘEMENICE

Malá řemenice je uložena na hřídeli motoru. Spojení řemenice s hřídelí motoru je konstruováno pomocí svěrného pouzdra TLK 300. Řemenice je volena ze standardního sortimentu výrobce Walter Flender Group pro řemen PowerGrip HTD. Navrženému převodu (viz kapitola 5.2.12) odpovídá řemenice s počtem zubů 36. Malá řemenice je opatřena bočními přírubami, které zamezují spadnutí řemene.

Pro převodové poměry do 1:3 a osové vzdálenosti nižší než stonásobek tloušťky řemene je dostačující boční příruba (viz obr. 36) pouze u malé řemenice.[10]



Obrázek 36 boční příruba [10]

Tabulka 12 rozměry boční příruby [10]

rozteč 3 mm				
počet zubů	A [mm]	B [mm]	C [mm]	s [mm]
35-37	30	35	41	1

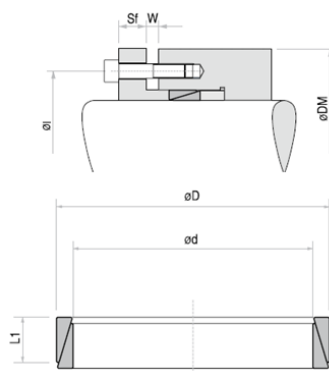
VELKÁ ŘEMENICE

Velká řemenice je uložena na konci kuličkového šroubu. Přenos točivého momentu z řemenice na kuličkový šroub je řešen pomocí kotoučového pera. Kotoučové pero je voleno z důvodu malého průměru konce kuličkového šroubu. Řemenice je zajištěna na konci kuličkového šroubu pomocí matice a pružné podložky se čtvercovým průřezem. Velká řemenice je volena od výrobce Walter Flender Group pro řemen PowerGrip HTD s počtem zubů 60. Pro převodový poměr (viz kapitola 5.2.12), není nutné užití konstrukce s boční přírubou.

SVĚRNÉ HŘÍDELOVÉ SPOJENÍ

Přenos točivého momentu z hřídele motoru na malou řemenici je konstruován s využitím svěrného spojení TLK 300 od firmy Tollok. Svěrné hřídelové spojení se volí dle vnějšího průměru hřídele a přenášeného točivého momentu. Výrobce jsou předepsány výrobní úchytky a drsnosti povrchů (hřídele a náboje), které musí být dodrženy pro správnou funkci svěrného spojení. (viz obr. 37)

Maximální drsnost povrchu $R_a=0,8 \mu\text{m}$. Svěrná hřídelová spojení pro hřídele do průměru 40 mm (dovolená úchytky plochy h6 – na hřídeli, H7 – na náboji) [17].



Obrázek 37 svěrné hřídelové spojky TLK 300 (ϕl – rozteč šroubů, Sf – tloušťka příruby, W – vzdálenost před utažením šroubů, ϕDM – minimální průměr náboje) [17]

Tabulka 13 rozměry použitých svěrných hřídelových spojek [17]

rozměry			celk. síla	točivý moment	axiál. síla	vzdálenost W před utáhnutím	dist. kroužek		měrný tlak	
							vnitřní	vnější	hřídel	náboj
$d \times D$ [mm]	B [mm]	L1 [mm]	Pa [N]	Mt [Nm]	Fa [N]	1 [mm]	d1 [mm]	D1 [mm]	pw [MPa]	pn [MPa]
8x11	4,5	3,7	5300	5	1,17	2,5	8,1	10,9	120	90

Pro standardní řadu svěrných hřídelových spojení jsou výrobcem Tollok předepsány charakteristické technické parametry (viz tab. 13). Svěrná spojení (pouzdra) musí být předepnuta silou (P_a), pro vyvolání únosného točivého momentu (M_t) a axiální síly (F_a).

Výrobce uvádí několik základních parametrů pro správnou konstrukci svěrného spoje. Tyto parametry je třeba ověřit výpočtem. Základní uvedené parametry jsou, maximální rozteč šroubů na náboji, minimální tloušťka příruby, minimální průměr náboje a počet šroubů potřebných k dotažení příruby.

Maximální rozteč šroubů (pouzdro 8x11 mm): (viz [16] str. 18)

$$l = D + 12 + d_g \quad [\text{mm}]$$

$$l = 11 + 12 + 4 \quad [\text{mm}]$$

$$l = 27 \text{ mm}$$

kde:

(1)

l [mm]...maximální rozteč šroubů

D [mm]...vnější průměr svěrného pouzdra (viz tab. 13)

d_g [mm]...průměr šroubu (použitý šroub M4)



Minimální tloušťka příruby (pouzdro 8x11 mm): (viz [16] str. 18)

$$S_f = d_g \cdot 1,3 \text{ [mm]}$$

$$S_f = 4 \cdot 1,3 \text{ [mm]}$$

$$S_f = 5,2 \text{ mm}$$

(2)

kde:

S_f [mm]...minimální tloušťka příruby (při použití šroubů pevnostní třídy 8.8)

Počet šroubů potřebných k dotažení příruby (pouzdro 8x11 mm): (viz [16] str. 18)

$$x = \frac{P_a}{P_v} \text{ [-]}$$

$$x = \frac{P_a}{P_v} \text{ [-]}$$

$$x = 1,4$$

(3)

kde:

x [-]...počet šroubů určených k utažení příruby

P_a [N]...celková axiální síla (viz tab. 13)

$P_v=3900$ [N]...axiální síla ve svěrném spojení vyvolaná jedním šroubem

(výrobce Tollok předepisuje hodnotu axiální síly P_v pro šroub (M4 pevnostní třídy 8.8))

Pro rovnoměrné utažení příruby musí být použito minimálně dvou šroubů. Z důvodu použití řemenice z hliníkové slitiny 3.2315 (AlSi1MgMn) je nezbytná kontrola dovoleného tlaku v závitech a stanovení utahovacího moment (viz kapitola 5.3.1)

Minimální průměr náboje (pouzdro 8x11 mm): (viz [16] str. 18)

Pro výpočet minimálního průměru, je třeba znát mez kluzu materiálu, který je použit pro konstrukci náboje. Dalším parametrem je konstanta zohledňující typ použití svěrného spojení. Při použití svěrných pouzder Tollok je výpočet minimálního průměru náboje proveden s využitím stejné konstanty, jako pro široké duté náboje.[17] Řemenice jsou konstruovány z materiálu 3.2315 (AlSi1MgMn) která má předepsanou mez kluzu $Re=260$ MPa. [16]

$$K = \sqrt{\frac{\sigma_{02} + (C \cdot p_n)}{\sigma_{02} - (C \cdot p_n)}} \text{ [-]}$$

$$K = 1,435$$

kde:

K [-]...konstanta pro určení minimálního průměru náboje

(4)

$\sigma_{02}=Re$ [MPa]...mez kluzu materiálu

p_n [MPa]...měrný tlak na náboj (viz tab. 13)

C [-]...konstanta zohledňující typ použití svěrného spojení



$$DM \geq D \cdot K \quad [\text{mm}]$$

$$DM \geq 11 \cdot 1,435 \quad [\text{mm}]$$

$$DM \geq 15,783 \text{ mm}$$

(5)

kde:

 DM [mm]...minimální průměr náboje

Malá řemenice na motoru je volena s počtem zubů 36. Pro tento počet zubů je výrobcem určen rozměr náboje o velikosti 26 mm. [10]

5.1.6 SESTAVA KRYTOVÁNÍ MANIPULAČNÍ NÁSTROJOVÉ JEDNOTKY

Krytování manipulační nástrojové jednotky, je nutné z důvodu zakrytí veškerých pohyblivých částí. Kryty tvoří hlavní bezpečnostní prvek celé sestavy. Konstrukce krytů umožňuje snadnou a rychlou montáž i demontáž v případě potřeby servisu.

HORNÍ OTEVÍRACÍ KRYT

Prostřednictvím horního otevíracího krytu je umožněn snadný přístup obsluhy k zásobníku nástrojů. Při plném otevření je kryt zajištěn proti zavření podpěrou, což umožňuje pohodlnou práci v prostoru zásobníku. Konstrukce horního otevíracího krytu je složena z plechové kostry, ke které je z důvodu dobré vizuální kontroly zařízení připevněno bezpečnostní průhledné sklo. Pro zajištění bezpečnosti je otevření krytu blokováno elektromechanickým bezpečnostním spínačem. Tím je znemožněn přístup k zásobníku nástrojů při procesu výměny nástroje. Na horním otevíracím krytu je upevněn aktuátor (vidlička) spínače. Při uzavřeném krytu je aktuátor zajištěn v tělese spínače.

PEVNÉ KRYTY

Pevné krytování manipulační nástrojové jednotky je vyrobeno ze tří samostatných krytů. Rozdělení krytování na tři samostatné kryty, je z důvodu snadné montáže a demontáže. Pevné kryty zakrývají části manipulační nástrojové jednotky, které jsou umístěny mimo zástavbu stroje. Zakrytí pohyblivých částí zařízení je z bezpečnostního hlediska nezbytné. Stroj musí splňovat bezpečnostní normu ČSN EN 12417+A2 – Bezpečnost obráběcích a tvářecích strojů – Obráběcí centra. Tato norma přikazuje zakrytí veškerých pohyblivých částí stroje. Pevné kryty jsou montovány k rámu manipulační nástrojové jednotky a ke krytům stroje pomocí šroubů. V horním pevném krytu je připravena plocha sloužící pro uložení tělesa bezpečnostního spínače. Bezpečnostní spínač je připevněn ke krytu pomocí šroubů. Následně je celé těleso spínače uschováno pod krytem s otvorem. Otvor v horním krytu spínače je zhotoven z důvodu průchodu aktuátoru (vidličky) do tělesa spínače. Krytem ve spodní části zařízení je zakryt prostor s uloženým servomotorem a řemenovým převodem. Pro zajištění dobré cirkulace vzduchu v prostoru motoru, jsou spodní kryty opatřeny větracími otvory.

5.1.7 OSTATNÍ KOMPONENTY

SANĚ

S využitím saní je přenášen pohyb z unašeče na zásobník nástrojů. Tato komponenta je uložena na lineárním vedení, které nese celou hmotnost zásobníku nástrojů. Pro zaručení přesného spojení s vedením a unaščem, musí být dosedací plochy obrobena. Jedna strana saní je opatřena drážkami, které umožňují snadnou montáž na vozíky lineárního vedení.



NOSIČ ENERGÍÍ

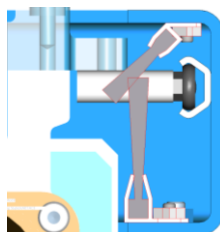
Nosič energií (viz Obr. 38) je nakupován od firmy KabelSchlepp. Pro tuto konstrukční variantu manipulační nástrojové jednotky je volen nejmenší nosič energií s vyráběného sortimentu. Nosič energií je určen pro uložení jediného kabelu, kterým napájen snímač Z-Nano. Jeden konec nosiče je uchycen k zásobníku nástrojů v místě, kde vychází kabel od snímače a druhý konec je připojen k základnímu rámu manipulační nástrojové jednotky. Použití tohoto typu nosiče je doporučeno pro zařízení s maximální rychlostí pohybu 10 ms^{-1} a maximálním zrychlením 50 ms^{-2} . Limitní provozní hodnoty pro užití v manipulační nástrojové jednotce jsou splněny s velkou rezervou.



Obrázek 38 nosič energií Kabelschlepp [11]

PÁSOVÉ KARTÁČE

Pásové kartáče jsou využity jako ochranný prvek zajišťující čistotu lineárního vedení. Zabráňují vniknutí třísek vznikajících při procesu obrábění do prostoru lineárního vedení. Pro tuto konstrukční variantu jsou užity dva kartáče umístěné před každým lineárním vedením (viz obr. 39). Pásové kartáče se montují na horní rám manipulační nástrojové jednotky. Ze standardizované řady pásových kartáčů (firmy Mink Bürsten) jsou voleny dva kartáče kolmé s označením Mink STL2011 a dva kartáče skloněné pod úhlem 45° s označením Mink STL1820.



Obrázek 39 umístění stíracích kartáčů Mink Bürsten (z horní strany vedení - pásový kartáč STL 1820, ze spodní strany vedení - kartáč STL 2011), (model z Pro/ENGINEER)

ELEKTROMECHANICKÝ BEZPEČNOSTNÍ SPÍNAČ

Důležitým bezpečnostním prvkem pro tuto variantu manipulační nástrojové jednotky je elektromechanický bezpečnostní spínač (viz obr. 40). Spínač je zabráňuje otevření horního krytu při procesu manipulace se zásobníkem. Otevření horního krytu zásobníku nástrojů je umožněno pouze v případě vypnutého stroje, nebo při procesu obrábění, kdy zásobník spočívá v nulové (základní) poloze a je nutný rychlý servis nástroje. Zámek je nakupovaná komponenta od firmy Euchner. Elektromechanické bezpečnostní spínače řady NZ, VZ jsou vyráběny s odděleným aktuátorem (vidličkou). Aktuátor je umístěn na otevíracím krytu a těleso spínače na pozici v horním pevném krytu.



Spínač NZ, VZ umožňuje otáčení hlavy o úhel 90 stupňů. Unikátní konstrukce má samočistící schopnost, která výrazně omezuje možnost ucpání spínací hlavy nečistotami.[18]



Obrázek 40 bezpečnostní spínač NZ, VZ 089486 [18]

ŽLAB

Pro ochranu motoru a zachycení případných nečistot je do sestavy zařazen plechový žlab. Ten je uchycen na spodní rám manipulační nástrojové jednotky a na plechový límeč zhotovený v otvoru z boční strany stroje. Žlabem je kompletně oddělen prostor motoru od prostoru pod kuličkovým šroubem. Případné nečistoty, nebo vysrážená vlhkost jsou zachycovány na žlabu. Konstrukce plechového žlabu je navržena s dostatečným spádem pro odvod výše zmíněných nečistot a vlhkosti.



5.2 KONTROLA KULIČKOVÉHO ŠROUBU

Pro pohyb se zásobníkem nástrojů je volen kuličkový šroub od firmy Bosch Rexroth ze standardní řady SN-R. Kontrola kuličkového šroubu je provedena podle vzoru německé normy DIN ISO 3408-5. Dle této normy je řešen výpočet středních otáček, střední axiální síly a životnosti kuličkového šroubu. Pro další kontrolu je využíváno výpočtů, které jsou uvedeny v katalogu Bosch Rexroth. Dle tohoto výpočtů lze zvolený šroub zkontrolovat na kritickou axiální sílu. Firmou Bosch Rexroth je stanoven výpočet pro určení potřebného točivého momentu a výkonu pro dané zatížení kuličkového šroubu.

Provedená kontrola kuličkového šroubu byla konzultována s inženýrem Lubomírem Ostrým. (Vedoucí vývoje ve firmě KULIČKOVÉ ŠROUBY KUŘIM a.s.)

5.2.1 VSTUPNÍ PARAMETRY MANIPULACE SE ZÁSOBNÍKEM NÁSTROJŮ

Kuličkový šroub je kontrolován v závislosti na stanovené rychlostní charakteristice manipulace. Volba maximální rychlosti a zrychlení je omezena použitým lineárním vedením (viz kapitola 5.1.2). Pro manipulaci je volena hodnota rychloposuvu $v=0,6 \text{ ms}^{-1}$ a zrychlení $a=2 \text{ ms}^{-2}$. Na základě těchto zvolených parametrů je následně vypočten časový a silový průběh na dráze manipulace. Dráha posuvu zásobníku nástrojů z nulové polohy do polohy výměny je $s=613 \text{ mm}$. Pohyb zásobníku nástrojů je dělen do šesti fází (viz tab. 13).

Tabulka 14 vstupní parametry manipulace

fáze	rychlost	zrychlení
	$[\text{ms}^{-1}]$	$[\text{ms}^{-2}]$
1	0	2
	0,6	
2	0,6	0
3	0,6	-2
	0	
4	0	2
	0,6	
5	0,6	0
6	0,6	-2
	0	

1. Fáze...rozjezd zásobníku z nulové polohy (pohyb zrychlený)
2. Fáze...rychloposuv zásobníku (pohyb konstantní rychlostí)
3. Fáze...dojezd zásobníku do výměnné polohy (pohyb zpomalený)
4. Fáze...rozjezd zásobníku z výměnné polohy (pohyb zrychlený)
5. Fáze...rychloposuv zásobníku (pohyb konstantní rychlostí)
6. Fáze...dojezd zásobníku do nulové polohy (zpomalený pohyb)

**5.2.2 VÝPOČET DOBY A DRÁHY JEDNOTLIVÝCH FÁZÍ VÝMĚNY**

Výpočty doby a dráhy jednotlivých fází jsou provedeny na základě vstupních volených parametrů pohybu zásobníku nástrojů. Základní vstupní parametry - počáteční zrychlení a rychloposuv.

Je možné provést výpočty pouze pro pohyb zásobníku v jednom směru (z nulové polohy do polohy výměny), protože pohyb zásobníku je navržen symetricky (zásobník nástrojů se pohybuje stejně z polohy výměny zpět do nulové polohy). Z tohoto faktu vyplývá rovnoměrné opotřebení závitů matice a kuličkového šroubu.

DOBA PRVNÍ FÁZE

Doba prvního úseku je vypočtena v závislosti na zvoleném počátečním zrychlení a cílové rychlosti rychloposuvu zásobníku nástrojů (viz. tab. 12).

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$t_1 = \frac{\Delta v}{a} = \frac{0,6}{2} = 0,3 \text{ s}$$

kde: (6)

t_1 [s]...doba první fáze

$\Delta v = 0,6 \text{ [ms}^{-1}\text{]}$...změna rychlosti v první fázi

$a = 2 \text{ [ms}^{-2}\text{]}$...zrychlení v první fázi

DRÁHA PRVNÍ FÁZE

Dráha prvního úseku je vypočtena z času a zrychlení v první fázi pohybu.

$$s_1 = a \cdot t_1^2 = 2 \cdot 0,3^2 = 0,18 \text{ m}$$

kde: (7)

s_1 [m]...dráha první fáze

DOBA TŘETÍ FÁZE

Doba třetího úseku je stejná jako doba prvního úseku. Zásobník zpomaluje na stejné dráze z rychlosti $v=0,6 \text{ ms}^{-1}$ se zpomalením $a=2 \text{ ms}^{-2}$ (viz. tab. 12).

$$t_3 = t_1 = 0,3 \text{ s}$$

kde: (8)

t_3 [s]...doba třetí fáze

DRÁHA TŘETÍ FÁZE

$$s_3 = s_1 = 0,18 \text{ m}$$

kde: (9)

s_3 [m]...dráha třetí fáze

**DRÁHA DRUHÉ FÁZE**

Dráha druhého úseku je stanovena rozdílem celkové dráhy manipulace v jednom směru a součtu dráhy prvního a třetího úseku.

$$s_2 = s - 2 \cdot s_1 = 0,613 - 2 \cdot 0,18 = 0,253 \text{ m}$$

kde:

$s = 0,613$ [m]...dráha manipulace z nulové polohy do polohy výměny

s_2 [m]...dráha druhé fáze

(10)

DOBA DRUHÉ FÁZE

$$t_2 = \frac{s_2}{v} = \frac{0,253}{0,6} = 0,422 \text{ s}$$

kde:

t_2 [s]...doba druhé fáze

$v = 0,6$ [ms^{-1}]...rychlost ve druhé fázi

(11)

DOBA POHYBU ZÁSOBNÍKU Z NULOVÉ POLOHY DO POLOHY VÝMĚNY

Jedná se o efektivní časovou hodnotu. Za tuto dobu je zásobník nástrojů ustaven přímo v poloze výměny.

$$t_{0-0,613} = t_1 + t_2 + t_3 = 0,3 + 0,422 + 0,3 = 1,022 \text{ s}$$

kde:

$t_{0-0,613}$ [s]...doba manipulace z nulové polohy do polohy výměny

(12)

CELKOVÁ DOBA POHYBU ZÁSOBNÍKU Z NULOVÉ POLOHY DO POLOHY VÝMĚNY A ZPĚT DO NULY

Tato časová hodnota je pouze teoretická. V celkovém čase není zahrnuta doba, po kterou zásobník setrvává ve výměnné poloze kdy si vřeteno odebírá nástroj z příslušné pozice. Pro každou pozici nástroje je tato doba odlišná. Záleží také na výchozí pozici, ze které vřeteno zahajuje pohyb směrem k zásobníku. Celková doba je využita pro stanovení procentuálních časových úseků, které slouží k výpočtu středního axiálního zatížení kuličkového šroubu. Nejvyšší hodnota středního axiálního zatížení vznikne v případě, kdy je pohyb zásobníku kontinuální, proto je doba prostoje zásobníku zanedbána. Šroub je tedy zkontrolován na nejkritičtější možnou situaci.

$$t_c = 2 \cdot t_{0-0,613} = 2 \cdot 1,022 = 2,044 \text{ s}$$

kde:

t_c [s]...celková doba manipulace z nulové polohy do polohy výměny a zpět

(13)


VÝPOČET PROCENTUÁLNÍCH ČASOVÝCH ÚSEKŮ JEDNOTLIVÝCH FÁZÍ

Výpočet procentuálních časových úseku vyplývá z časů jednotlivých fází manipulace, v poměru s celkovou teoretickou dobou výměny (viz. tab. 13). Stanovení procentuálních úseků je z důvodu určení střední axiální síly.

(viz [8])

$$q_j = \frac{t_j}{t_c} \cdot 100 \text{ [%]}$$

kde:

q_j [%]...procentuální časový úsek dané fáze (14) [8]

t_j [s]...doba jednotlivých fází

t_c [s]...celková doba manipulace z nulové polohy do polohy výměny a zpět

Tabulka 15 časové úseky jednotlivých fází

fáze	pohyb	uražená dráha	doba t_j	celková doba t_c	časový úsek q_j	rychlost v	zrychlení a
	[m]	[m]	[s]	[s]	[%]	[ms ⁻¹]	[ms ⁻²]
1	0	0,18	0,3	2,044	14,68	0	2
	0,18					0,6	
2	0,18	0,253	0,422		20,65	0,6	0
	0,433						
3	0,433	0,18	0,3		14,68	0,6	-2
	0,613					0	
4	0,613	0,18	0,3		14,68	0	2
	0,433					0,6	
5	0,433	0,253	0,422		20,65	0,6	0
	0,18						
6	0,18	0,18	0,3		14,68	0,6	-2
	0					0	



5.2.3 VÝPOČET PRŮMĚRNÝCH OTÁČEK V JEDNOTLIVÝCH FÁZÍCH

Průměrné otáčky kuličkového šroubu jsou stanoveny z rychlosti v jednotlivých fázích a ze stoupání závitu kuličkového šroubu. Pro fáze zrychlení a zpomalení zásobníku je pro výpočet volena střední hodnota rychlosti v těchto fázích.

(viz [8])

$$n_j = \frac{v_j}{P} \cdot 60 \cdot 1000 \quad [\text{min}^{-1}]$$

kde:

$$n_j \quad [\text{min}^{-1}] \dots \text{otáčka v jednotlivých fázích} \quad (15)$$

$$v_j \quad [\text{ms}^{-1}] \dots \text{průměrná rychlost v jednotlivých fázích}$$

$$P \quad [\text{mm}] \dots \text{stoupání závitu kuličkového šroubu}$$

Tabulka 16 průměrné otáčky v jednotlivých fázích

fáze	průměrná rychlost	stoupání závitu	průměrné otáčky
	v_j [ms ⁻¹]	P [mm]	n_j [min ⁻¹]
1	0,3	10	1800
2	0,6		3600
3	0,3		1800
4	0,3		1800
5	0,6		3600
6	0,3		1800

5.2.4 VÝPOČET STŘEDNÍCH OTÁČEK KULIČKOVÉHO ŠROUBU

Střední otáčky kuličkového šroubu jsou stanoveny podle otáček v jednotlivých úsecích.

(viz [8])

$$n_m = \sum_{x=1}^n \frac{q_x}{100} \cdot n_x \quad [\text{min}^{-1}]$$

$$n_m = \frac{q_1 \cdot |n_1| + q_2 \cdot |n_2| + q_3 \cdot |n_3| + q_4 \cdot |n_4| + q_5 \cdot |n_5| + q_6 \cdot |n_6|}{100} \quad [\text{min}^{-1}]$$

$$n_m = \frac{14,68 \cdot 900 + 20,65 \cdot 1800 + 14,68 \cdot 900 + 14,68 \cdot 900 + 20,65 \cdot 1800 + 14,68 \cdot 900}{100} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (16)$$

$$n_m = 1271 \quad \text{min}^{-1}$$

kde:

$$n_m \quad [\text{min}^{-1}] \dots \text{střední otáčky kuličkového šroubu}$$



5.2.5 VÝPOČET AXIÁLNÍCH SILOVÝCH ÚČINKŮ NA KULIČKOVÝ ŠROUB V JEDNOTLIVÝCH FÁZÍCH

Kuličkový šroub je zatěžován axiální silou vyvolanou vlivem zrychlení zásobníku nástrojů a odporem těsnění kuličkové matice (viz tab. 16). Ostatní pasivní odpory vyvolané stíracími kartáči, teleskopickou krycí pružinou a lineárním vedením nejsou výrobcem uváděny a nelze je individuálně změřit. Z toho důvodu jsou tyto vedlejší pasivní odpory pro výpočet kuličkového šroubu zanedbány.

VÝPOČET TŘECÍ SÍLY TĚSNĚNÍ KULIČKOVÉ MATICE

(viz [8])

$$F_t = \frac{M_t \cdot 2000 \cdot \pi}{P} \quad [\text{N}]$$

$$F_t = \frac{0,03 \cdot 2000 \cdot \pi}{10} \quad [\text{N}]$$

$$F_t = 18,85 \text{ N} \quad (17)$$

kde:

F_t [N]...třecí síla těsnění kuličkové matice

$M_t=0,03$ [Nm]...třecí moment těsnění matice (uvedený výrobcem)

VÝPOČET AXIÁLNÍ SÍLY V PRVNÍ FÁZI

$$F_1 = F + F_t \quad [\text{N}]$$

$$F_1 = 40 + 18,85 \quad [\text{N}]$$

$$F_1 = 58,85 \text{ N} \quad (18)$$

kde:

F_1 [N]...axiální síla v první fázi

F [N]...síla vyvolaná zrychlením zásobníku

Tabulka 17 axiální silové účinky v jednotlivých fázích

fáze	1	2	3	4	5	6
hmotnost [kg]	20					
zrychlení a [ms ⁻²]	2	0	2	2	0	2
síla F_j [N]	58,85	18,85	58,85	58,85	18,85	58,85
otáčky n_j [min ⁻¹]	1800	3600	1800	1800	3600	1800
čas q_j [%]	14,68	20,65	14,68	14,68	20,65	14,68

Ve fázích pohybu konstantní rychlostí, je šroub zatěžován pouze třecí silou těsnění.



5.2.6 VÝPOČET STŘEDNÍHO AXIÁLNÍHO ZATÍŽENÍ

(viz [20])

$$F_m = \sqrt[3]{\sum_{j=1}^n F_j^3 \cdot \frac{n_j}{n_m} \cdot \frac{q_j}{100}} \quad [\text{N}]$$

$$F_m = \sqrt[3]{\sum_{j=1}^6 F_j^3 \cdot \frac{n_j}{n_m} \cdot \frac{q_j}{100} + F_2^3 \cdot \frac{n_2}{n_m} \cdot \frac{q_2}{100} + \dots + F_6^3 \cdot \frac{n_6}{n_m} \cdot \frac{q_6}{100}} \quad [\text{N}]$$

$$F_m = 44,587 \text{ N}$$

(19)

kde:

F_m [N]...střední axiální zatížení

F_j [N]...axiální zatížení v jednotlivých fázích

5.2.7 VÝPOČET KRITICKÉ AXIÁLNÍ SÍLY V KULIČKOVÉM ŠROUBU

(viz [8])

f_{Fc} value	End fixity
2.6	IV
10.2	III
20.4	II
40.6	I

Obrázek 41 volba konstanty stanovené použitými ložisky[8]

$$F_c = f_{Fc} \cdot \frac{d_2^4}{l_c^2} \cdot 10^4 \quad [\text{N}]$$

$$F_c = 20,4 \cdot \frac{9,9^4}{732^2} \cdot 10^4 \quad [\text{N}]$$

$$F_c = 3657 \text{ N}$$

kde:

F_c [N]...kritická axiální síla pro kuličkový šroub

d_2 [mm]...malý průměr závitu kuličkového šroubu

l_c [mm]...nepodepřená délka kuličkového šroubu

f_{Fc} [-]...konstanta stanovená použitými ložisky (viz obr. 40)

(20)

**5.2.8 VÝPOČET DOVOLENÉ AXIÁLNÍ SÍLY V KULIČKOVÉM ŠROUBU**

(viz [8])

$$F_{cp} = \frac{F_c}{2} \text{ [N]}$$

$$F_{cp} = \frac{3657}{2} \text{ [N]}$$

$$F_{cp} = 1829 \text{ N} \tag{21}$$

kde:

 F_{cp} [N]...dovolená axiální síla na kuličkový šroub**5.2.9 ŽIVOTNOST KULIČKOVÉHO ŠROUBU**

Životnost zvoleného kuličkového šroubu je stanovena z hodnoty dynamické únosnosti kuličkové matice a středního axiálního zatížení kuličkového šroubu.

VÝPOČET ŽIVOTNOSTI KULIČKOVÉHO ŠROUBU V POČTECH CYKLŮ

(viz [20])

$$L = \left(\frac{C_a}{F_m} \right)^3 \cdot 10^6 \text{ [-]}$$

$$L = \left(\frac{2500}{44,587} \right)^3 \cdot 10^6 \text{ [-]} \tag{22}$$

$$L = 1,763 \cdot 10^{11}$$

kde:

 L [-]...životnost uvedená v počtu cyklů C_a [N]...dynamická únosnost kuličkové matice**VÝPOČET ŽIVOTNOSTI KULIČKOVÉHO ŠROUBU V HODINÁCH**

(viz [20])

$$L_h = \frac{L}{60 \cdot n_m} \text{ [h]}$$

$$L_h = \frac{1,763 \cdot 10^{11}}{60 \cdot 2543} \text{ [h]}$$

$$L_h = 1,155 \cdot 10^6 \text{ h} \tag{23}$$

kde:

 L_h [h]...životnost v hodinách

**5.2.10 VÝPOČET TOČIVÉHO MOMENTU NA KULIČKOVÉM ŠROUBU**

Točivý moment je stanoven v závislosti na provozní síle a stoupání kuličkového šroubu.

(viz [8])

$$M_{ta} = \frac{F_L \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} \quad [\text{Nm}]$$

$$M_{ta} = \frac{58,85 \cdot 10}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} \quad [\text{Nm}]$$

$$M_{ta} = 0,104 \text{ Nm}$$

kde:

(24)

M_{ta} [Nm]...točivý moment pro převod z rotačního na translační pohyb

$F_L = F_1$ [N]...maximální axiální síla při zrychlení

$\eta = 90$ [%]...mechanická účinnost převodu z rotačního na translační pohyb

5.2.11 VÝPOČET VÝKONU NA KULIČKOVÉM ŠROUBU

Jmenovitý výkon na kuličkovém šroubu závisí na točivém momentu a maximálních provozních otáčkách kuličkového šroubu.

(viz [8])

$$P_a = \frac{M_{ta} \cdot n}{9550} \quad [\text{kW}]$$

$$P_a = \frac{0,104 \cdot 3600}{9550} \quad [\text{kW}]$$

$$P_a = 0,039 \text{ kW}$$

(25)

kde:

P_a [kW]...výkon na kuličkovém šroubu

n [min^{-1}]...maximální provozní otáčky kuličkového šroubu

5.2.12 NÁVRH POHONU MANIPULAČNÍ NÁSTROJOVÉ JEDNOTKY

Pro manipulační nástrojovou jednotku je volen servomotor s polohovým odměřováním od firmy Siemens. Technické parametry servomotoru jsou určeny na základě výpočtů kuličkového šroubu.

NÁVRHOVÉ PARAMETRY

točivý moment na kuličkovém šroubu $M_{ta}=0,104 \text{ Nm}$ (viz kapitola 5.2.10)

minimální potřebný výkon $P_a=0,039 \text{ kW}$ (viz kapitola 5.2.11)

provozní otáčky kuličkového šroubu $n= 3600 \text{ min}^{-1}$ (viz kapitola 5.2.3)

Z důvodu vysokých otáček a nízkého točivého momentu je mezi servomotor a kuličkový šroub vložen převod. Ve standardizované řadě není motor, který přesně odpovídá spočteným parametrům. Motor splňující výkonové požadavky kuličkového šroubu je nabízen pouze



s vysokou hodnotou jmenovitých otáček, proto je nezbytné užití převodu mezi motorem a kuličkovým šroubem „dopomala“.

Konstrukce převodu je navržena v závislosti na parametrech motoru a potřebném výstupu pro kuličkový šroub. Převodový poměr je stanoven z poměru jmenovitých otáček motoru a maximálních provozních otáček kuličkového šroubu.

Ze standardizované řady (S-1FK7) servomotorů je volen na základě výkonu motor s označením 1FK7011-5AK21.

Tabulka 18 technické parametry servomotoru [19]

1FK7011-5AK21 s přirozeným chlazením, bez brzdy						
jmenovitá otáčky	jmenovitý výkon	statický točivý moment	jmenovitý točivý moment	jmenovitý proud	počet pólových dvojic	hmotnost
[min ⁻¹]	[kw]	[Nm]	[Nm]	[A]	[-]	[kg]
6000	0,05	0,18	0,08	0,5	4	0,9

JMENOVITÝ TOČIVÝ MOMENT MOTORU

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad [-]$$

$$i = \frac{6000}{3600} \quad [-]$$

$$i = 1,667$$

kde:

(26)

i [-]...převodový poměr mezi motorem a kuličkovým šroubem

n_1 [min⁻¹]...jmenovitá otáčky motoru

$n_2 = n$ [min⁻¹]...maximální provozní otáčky kuličkového šroubu

$$M_m = \frac{M_m}{i} \quad [\text{Nm}]$$

$$M_m = \frac{0,104}{1,667} \quad [\text{Nm}]$$

$$M_m = 0,062 \text{ Nm}$$

(27)

kde:

M_m [Nm]...jmenovitý točivý moment motoru



5.3 PEVNOSTNÍ VÝPOČET

5.3.1 VÝPOČET SVĚRNÉHO POUZDRA

VÝPOČET ZÁKLADNÍCH ROZMĚRŮ ŠROUBU

(viz[22] str. 419,420)

$$H = 0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot P_{M4} \text{ [mm]}$$

$$H = 0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,7 \text{ [mm]}$$

$$H = 0,606 \text{ mm}$$

(28)

kde:

H [mm]...výška základního trojúhelníku

P_{M4} [mm]...stoupání závitu šroubu M4

$$h_{M4} = \frac{5}{8} H \text{ [mm]}$$

$$h_{M4} = 0,379 \text{ mm}$$

(29)

kde:

h_{M4} [mm]...nosná výška závitu šroubu M4

$$d_{2M4} = d_{M4} - \frac{3 \cdot H}{4} \text{ [mm]}$$

$$d_{2M4} = 3,545 \text{ mm}$$

(30)

kde:

d_{2M4} [mm]...střední průměr závitu šroubu M4

d_{M4} [mm]...jmenovitý průměr závitu šroubu M4

$$n_{M4} = \frac{2 \cdot d_{M4}}{P_{M4}} \text{ [-]}$$

$$n_{M4} = 11,429$$

(31)

kde:

n_{M4} [mm]...počet nosných závitu šroubu M4

$2 \cdot d_{M4}$ [mm]...hloubka zašroubování šroubu v řemenici M4

Pouze jedenáct celých závitu je zašroubováno v díře.

**TLAK V ZÁVITECH ŠROUBU M4**

Axiální síla Pa (viz tab. 13) potřebná pro správné předepnutí svěrného pouzdra, je rozdělena na dva šrouby v přírubě. ($F_{M4}=0,5 \cdot Pa$).

$$p_{M4} = \frac{F_{M4}}{\pi \cdot d_{2M4} \cdot h_{M4} \cdot n_{M4}} \quad [\text{MPa}]$$

$$p_{M4} = \frac{2650}{\pi \cdot 3,545 \cdot 0,379 \cdot 11} \quad [\text{MPa}]$$

$$p_{M4} = 57,087 \quad \text{MPa} \quad (32)$$

kde:

p_{M4} [MPa]...tlak v závitech šroubu M4

F_{M4} [N]...axiální síla ve šroubu M4

Dovolená hodnota tlaku v závitech šroubu, pro materiál matice hliníková slitina $p_d=60\text{MPa}$ (viz[22] str. 453)

VHODNÝ UTAHOVACÍ MOMENT PRO ŠROUBY M4

Pro vyvolání potřebné síly ve spoji lze poměrně dobře odhadnout velikost utahovacího momentu. Uťahovací moment je stanoven jako součet třecího momentu v závitech šroubu a třecího momentu pod hlavou šroubu. Součinitel tření v závitech je velmi náročné odhadnout.

Pro řešení utahovacího momentu je volen součinitel tření $f=0,15$. (viz[22] str. 431)

Použitý výpočet utahovacího momentu. (viz[22] str. 449)

$$M_{t1_M4} = \frac{F_{M4} \cdot d_{2M4}}{2} \cdot \left(\frac{P_{M4} \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \pi \cdot f \cdot d_{2M4}}{\pi \cdot d_2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f \cdot P_{M4}} \right) \quad [\text{Nm}]$$

$$M_{t1_M4} = \frac{2650 \cdot 3,545}{2} \cdot \left(\frac{0,7 \cdot \cos\left(\frac{60}{2}\right) + \pi \cdot 0,15 \cdot 3,545}{\pi \cdot 3,545 \cdot \cos\left(\frac{60}{2}\right) - 0,15 \cdot 0,7} \right) \quad [\text{Nm}]$$

$$M_{t1_M4} = 1,121 \quad \text{Nm}$$

kde:

M_{t1_M4} [Nm]...třecí moment v závitech šroubu

$\alpha = 60^\circ$...úhel profilu metrického závitu

f [-]...součinitel smykového tření v závitech

(33)



$$d_{0_M4} = \frac{d_{hl_M4} + d_{M4}}{2} \quad [\text{mm}]$$

$$d_{0_M4} = \frac{7 + 4}{2} \quad [\text{mm}]$$

$$d_{0_M4} = 5,5 \quad \text{mm}$$

(34)

kde:

d_{0_M4} [mm]...střední průměr mezi kruhové dosedací plochy pod hlavou šroubu

d_{hl_M4} = 7 [mm]...průměr hlavy šroubu M4

$$M_{t2_M4} = \frac{f \cdot d_{0_M4} \cdot F_{M4}}{2} \quad [\text{Nm}]$$

$$M_{t2_M4} = \frac{0,15 \cdot d_0 \cdot 2650}{2} \quad [\text{Nm}]$$

$$M_{t2_M4} = 1,093 \quad \text{Nm}$$

(35)

kde:

M_{t2_M4} [Nm]...třecí moment pod hlavou šroubu

$$M_{U_M4} = M_{t1_M4} + M_{t2_M4} \quad [\text{Nm}]$$

$$M_{U_M4} = 1,121 + 1,093 \quad [\text{Nm}]$$

$$M_{U_M4} = 2,214 \quad [\text{Nm}]$$

(36)

kde:

M_{U_M4} [Nm]...utahovací moment pro šrouby M4

5.3.2 KONTROLA HANÉ ŘEMENICE

Pro přenos točivého momentu z hnané řemenice na kuličkový šroub je užito kotoučového pera. Řemenice je vyráběna z hliníkové slitiny. Z toho důvodu je důležitá kontrola dovoleného tlaku v drážce náboje. Kotoučová pera jsou vyráběna z materiálu 1.0060, který disponuje v porovnání s materiálem řemenice několikanásobně lepšími pevnostními vlastnostmi. Z toho důvodu hrozí přednostně porušení náboje. Zásadní je tedy určení tlaku v drážce náboje a následné srovnání s dovolenou tlakovou hodnotou pro daný způsob zatěžování.

Manipulační nástrojová jednotka je urychlována s velkým zrychlením v obou směrech (z nulové polohy do polohy výměny a zpět), proto je kontrola otlacení boku drážky v náboji volena pro střídavé velké rázy. Pro střídavé velké rázy je uvedena hodnota dovoleného tlaku v drážce náboje $0,25p_0$. Základní hodnota tlaku $p_0=70\text{MPa}$ pro náboj ze slitiny (AlSiMg) je uvedena v tabulce. (viz[22] str. 1081)

Tabulka 19 základní rozměry kotoučového pera a drážky (viz [21] str. 407)

průměr hřídele d	pero			drážka v hřídeli			drážka v náboji	
	šířka b	výška v	délka l	šířka s	hloubka h	průměr d	šířka s	hloubka h ₁
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
5	1,5	2,6	6,76	1,5	1,8	7	1.5	0,9



KONTROLA DRÁŽKY NÁBOJE NA OTLAČENÍ

$$S_1 = \frac{r_p^2}{2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot \alpha}{180} - \sin(\alpha) \right) \quad [\text{mm}^2]$$

$$S_1 = 12,83 \text{ mm}^2$$

kde:

 S_1 [mm²]...plocha kotoučového pera r_p [mm]...poloměr kotoučového pera α [°]...uhel kruhové úseče ($\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{l}{d}$)

(37)

$$S_2 = r_p^2 \cdot \arccos\left(\frac{r_p - h}{r_p}\right) - (r_p - h) \cdot \sqrt{2 \cdot t \cdot r_p - h^2} \quad [\text{mm}^2]$$

$$S_2 = 7,828 \text{ mm}^2$$

kde:

 S_2 [mm²]...plocha kotoučového pera v drážce hřídele h [mm]...hloubka drážky v hřídeli

(38)

$$p_{dr} = \frac{2 \cdot M_{ta}}{S_{pdr} \cdot d_s} \quad [\text{MPa}]$$

$$p_{dr} = \frac{2 \cdot 0,104}{5,001 \cdot 5} \quad [\text{MPa}]$$

$$p_{dr} = 8,318 \text{ MPa}$$

kde:

 p_{dr} [MPa]...tlak v drážce náboje S_{pdr} [mm²]...plocha koutoučového pera v drážce náboje ($S_{pdr} = S_1 - S_2$) d_s [mm]...průměr konce kuličkového šroubu (viz tab. 19)

(39)

$$p_{d_Al} = 0,25 \cdot p_{0_Al} \quad [\text{MPa}]$$

$$p_{d_Al} = 0,25 \cdot 70 \quad [\text{MPa}]$$

$$p_{d_Al} = 31,5 \text{ MPa}$$

kde:

 p_{d_Al} [MPa]...dovolená hodnota tlaku na bocích drážky v náboji (hliníková slitina AlSiMg) p_{0_Al} [MPa]...základní hodnota tlaku na náboj (hliníková slitina AlSiMg)

(40)

Skutečný tlak na bocích drážek v náboji je mnohonásobně menší než dovolená hodnota. Můžeme tedy s jistotou říci, že drážka v náboji spolehlivě vydrží.



ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout manipulační nástrojovou jednotku, na základě kritické rešerše běžně používaných systémů u strojů podobného typu, jako CNC vertikální frézka SLV 300. Pro automatickou výměnu nástrojů byla navržena tři funkční konstrukční řešení manipulační nástrojové jednotky.

Výběr vhodné konstrukční varianty byl uskutečněn na základě porovnání jednotlivých řešení z pohledu prováděných změn na stávající konstrukci stroje a z pohledu zákazníka.

Z pohledu změn na stroji - bylo cílem přizpůsobení koncepčních návrhů stávající konstrukci stroje. Z jednotlivých koncepčních návrhů vyplynula skutečnost, že nelze navrhnout manipulační nástrojovou jednotku, která by neměla dopad na dosavadní konstrukci. Zásadní změna je nutná v „Y-ové ose“. Stroj je v návrhu prototypu konstruován s malými pojezdy suportů, což neumožňuje dosah vřetene mimo pracovní stůl. Pro možnost automatické výměny nástrojů je nezbytné rozšíření tohoto pojezdu „Y-ového“ suportu.

Z pohledu zákazníka - bylo cílem při konstrukci dbát na jednoduchost řešení, komfortní servis a vysokou kapacitu zásobníku.

Na základě těchto požadavků je zvolena konstrukční varianta s umístěním zásobníku nástrojů vně zástavbového prostoru stroje. Tato varianta přináší nejmenší zásahy do stávající konstrukce stroje a počítá s kapacitou deseti nástrojů, s upínačem HSK E25. Vhodná poloha umístění, umožňuje komfortní servisní přístup a dobrou vizuální kontrolu nad celým procesem výměny.

Takto navržená konstrukce manipulační nástrojové jednotky umožní zvýšení výrobního výkonu CNC vertikální frézky SVL 300.

U volené konstrukční varianty byla provedena pevnostní kontrola nejvíce zatěžovaných částí.

K technické správě je doložena základní výkresová dokumentace.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Datron M7. Datron Technology [online]. 2014 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://datron.sk/sk/cnc-stroje/cnc-frezovanie/m7>
- [2] Tool Changing Systems. Datron [online]. 2014 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.datron.co.in/toolchanger.htm>
- [3] Werkzeugwechsler und Werkzeugmagazine. T+S Jakob [online]. 2014 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: http://www.ts-jakob.de/wzw__werkzeugwechsler.html
- [4] CNC arena. DMG Mori [online]. 2015 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: http://en.dmgmori.com/?utm_source=cnc-arena&utm_medium=background&utm_campaign=dmg-ms
- [5] Milltap 700. DMG Mori [online]. 2015 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://us.dmgmori.com/products/ecoline/milltap/milltap-700>
- [6] DMC 635 V. DMG Mori [online]. 2015 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://us.dmgmori.com/products/milling-machines/vertical-machining-centers/dmc-v/dmc-635-v/246472>
- [7] DMU 50. DMG Mori [online]. 2015 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://us.dmgmori.com/products/milling-machines/universal-milling-machines/dmu/dmu-50>
- [8] Selection Guide > Drive>Screw Assemblies, Standard series. Bosch Rexroth [online]. 2015 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: https://www.boschrexroth.com/irj/portal/anonymous/eShop?guest_user=anonymousDE&display=catalog&bridgeSelectedCatalog=BRL&bridgePageId=auswahlhilfe
- [9] Linear line. Rollon [online]. 2015 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.rollon.com/CZ/cs/produkty/linear-line/2-x-rail/>
- [10] Neoprene timing belts. Walther Flender Group [online]. 2015 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: http://walther-flender-gruppe.de/fileadmin/user_upload/Antriebstechnik/Englische_Kataloge/Neoprene_timing_belts.pdf
- [11] MONO – Types 0130, 0180. 2015. Kabelschlepp [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: http://kabelschlepp.de/sk/html_sk/ef/0130_0180.php
- [12] Standard strip brushes (STL). 2014. Mink bursten [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <https://www.mink-buersten.com/en/products-shop/strip-brushes/standard-strip-brushes/product-search.html>
- [13] Teleskopické pružiny. 2015. Hestego protection systems [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: http://www.hestego.cz/fileadmin/user_upload/produkty/teleskopicke_pruziny/teleskopicke_pruziny_cz_new.pdf



- [14] Product Catalog Pneumatics. Aventics [online]. 2015 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.aventics.com/pneumatics-catalog/Vornavigation/VorNavi.cfm?Variant=internet&Language=EN&SearchMatNo=r412020403&PageID=p629846>
- [15] Werkstoffdatenblatt: EN AW - 5083 (AlMg4,5Mn). Batz+Burgel GmbH [online]. 2014 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: http://www.batz-burgel.de/produkte/en_aw_5083.html
- [16] Werkstoffdatenblatt: EN AW - 6082 (AlMgSi1). Batz+Burgel GmbH [online]. 2014 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: http://www.batz-burgel.de/produkte/en_aw_6082.html
- [17] Locking Assemblies. Tollok [online]. 2015 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.tollok.com/cataloghi/Catalogo%20TOLLOK%20inglese.pdf>
- [18] Bezpečnostní spínače NZ,VZ. *Euchner* [online]. 2014 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.euchner.cz/produkty/bezpecnost/bezpecnostni-spinace/nz-vz/>
- [19] SINAMICS Drives and SIMOTICS Motors for Single-Axis Applications. *Siemens* [online]. 2015 [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <http://www.industry.usa.siemens.com/drives/us/en/electric-drives/ac-drives/Documents/Catalog-D31-Complete.pdf>
- [20] DIN ISO 3408-5. Kugelgewindetriebe. 2011. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [21] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. Strojnické tabulky 1. Praha: Scientia, spol. s.r.o. pedagogické nakladatelství, 2004. ISBN 80-7183-312-6
- [22] SHIGLEY, J.E. - MISCHKE, Ch.R. - BUDYNAS R.G.: Konstruování strojních součástí, Vydalo VUT v Brně, nakladatelství VUTIUM 2010, ISBN 978-80-214-2629-0



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Δv	[ms ⁻¹]	změna rychlosti v první fázi
η	[%]	mechanická účinnost převodu z rotačního na translační pohyb
a	[ms ⁻²]	zrychlení zásobníku
C	[-]	konstanta zohledňující typ použití
C_a	[N]	dynamická únosnost kuličkové matice
D	[mm]	vnější průměr svěrného pouzdra
d_{0-M4}	[mm]	střední průměr mezi kruhové dosedací plochy pod hlavou šroubu
d_2	[mm]	malý průměr závitu kuličkového šroubu
d_{2M4}	[mm]	střední průměr závitu šroubu M4
d_g	[mm]	průměr šroubu M4
d_{hl-M4}	[mm]	průměr hlavy šroubu M4
DM	[mm]	minimální průměr náboje
d_{M4}	[mm]	jmenovitý průměr závitu šroubu M4
d_s	[mm]	průměr konce kuličkového šroubu
F	[N]	síla vyvolaná zrychlením zásobníku
f	[-]	součinitel smykového tření v závitech
F_1	[N]	axiální síla v první fázi
F_c	[N]	kritická axiální síla na kuličkový šroub
F_{cp}	[N]	dovolená axiální síla na kuličkový šroub
f_{Fc}	[-]	konstanta stanovená použitými ložisky
F_j	[N]	axiální zatížení v jednotlivých fázích
F_m	[N]	střední axiální zatížení
F_{M4}	[N]	axiální síla ve šroubu M4
F_t	[N]	třecí síla těsnění kuličkového šroubu
H	[mm]	výška základního trojúhelníku
h	[mm]	hloubka drážky v hřídeli
h_{M4}	[mm]	nosná výška závitu šroubu M4
i	[-]	převodový poměr
K	[-]	konstanta pro určení minimálního průměru náboje
l	[mm]	maximální rozteč šroubů
L	[-]	životnost uvedená v počtu cyklů
l_c	[mm]	nepodepřená délka kuličkového šroubu



L_h	[h]	životnost v hodinách
M_m	[Nm]	jmenovitý točivý moment motoru
M_t	[Nm]	třecí moment těsnění matice
M_{t1-M4}	[Nm]	třecí moment v závitech šroubu
M_{t2-M4}	[Nm]	třecí moment pod hlavou šroubu
M_{ta}	[Nm]	točivý moment pro převod z rotačního na translační pohyb
M_{U-M4}	[Nm]	utahovací moment pro šroub M4
n	[min ⁻¹]	maximální provozní otáčky kuličkového šroubu
n_1	[min ⁻¹]	jmenovité otáčky motoru
n_j	[min ⁻¹]	otáčky v jednotlivých fázích
n_m	[min ⁻¹]	střední otáčky kuličkového šroubu
n_{M4}	[mm]	počet nosných závitů šroubu M4
P	[mm]	stoupání závitu kuličkového šroubu
P_{0-A1}	[MPa]	základní hodnota tlaku na náboj
P_a	[N]	celková axiální síla
P_a	[kW]	výkon na kuličkovém šroubu
p_{d-A1}	[MPa]	dovolená hodnota tlaku na bocích drážky v náboji
P_{M4}	[mm]	stoupání závitu šroubu M4
p_{M4}	[MPa]	tlak v závitech šroubu M4
p_n	[MPa]	měrný tlak na náboj
P_v	[N]	axiální síla ve svěrném spojení vyvolaná jedním šroubem M4
q_j	[%]	procentuální časový úsek dané fáze
r_p	[mm]	poloměr kotoučového pera
s	[m]	dráha manipulace z nulové polohy do polohy výměny
s_1	[m]	dráha první fáze
S_1	[mm ²]	plocha kotoučového pera
s_2	[m]	dráha druhé fáze
S_2	[mm ²]	plocha kotoučového pera v drážce hřídele
S_f	[mm]	minimální tloušťka příruby
S_{pdr}	[mm ²]	plocha kotoučového pera v drážce hřídele
$t_{0-0,613}$	[s]	doba manipulace z nulové polohy do polohy výměny
t_1	[s]	doba první fáze
t_1	[s]	doba druhé fáze



t_3	[s]	doba třetí fáze
t_c	[s]	celková doba manipulace z nulové polohy do polohy výměny a zpět
t_j	[s]	doba jednotlivých fází
v	$[\text{ms}^{-1}]$	rychlost ve druhé fázi
v_j	$[\text{ms}^{-1}]$	průměrná rychlost v jednotlivých fázích
x	[-]	počet šroubů určených k utažení příruby
α	$[\text{°}]$	úhel profilu metrického závitu
σ_{02}	[MPa]	mez kluzu



SEZNAM PŘÍLOH

P1,	1403_11000	výkres celkové sestavy	nástrojová jednotka	(formát A0)
P2,	1403_11002	výkres svařované sestavy	rám spodní	(formát A1)
P3,	1403_11007	výrobní výkres	deska	(formát A3)
P6,	1403_2023	výrobní výkres	ložiskový domek	(formát A3)
P5,	1403_2024	výrobní výkres	ložiskový domek	(formát A3)