

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: 2301T001 Dopravní a manipulační technika

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Robotické pracoviště

Autor: **Bc. Radim BUZOVSÝ**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Martin HYNEK, Ph.D**

Akademický rok 2016/2017

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce, Doc. Ing. Martinu Hynkovi, Ph.D, za odborné vedení a připomínky, které mi dal při návrhu a konstrukci robotického pracoviště. Dále bych rád poděkoval panu Doc. Ing. Zdeňkovi Hudcovi, CSc. Za poskytnutí cenných rad a připomínek při návrhu automatizovaného polohovacího stolu a Ing. Petru Votápkovi, Ph.D. za přeměření některých součástí pomocí laserového 3D měření. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za podporu při studiu.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Buzovský	Jméno Radim	
STUDIJNÍ OBOR	2301T001 „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Hynek, Ph.D	Jméno Martin	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Robotické pracoviště		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2017
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	115	TEXTOVÁ ČÁST	56	GRAFICKÁ ČÁST	59
---------------	-----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce obsahuje návrh koncepce robotického pracoviště. Výpočty jednotlivých konstrukčních uzlů. Volbu vřetena a návrh příruby. Návrh výměny nástrojů, úpravy polohovacího stolu a návrh oplocení pracoviště s bezpečnostními prvky. Dále obsahuje výkresovou dokumentaci.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>konstrukce, robotické pracoviště, polohovací stůl, zásobník nástrojů, CAD, Siemens NX 10</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Buzovský	Name Radim	
FIELD OF STUDY	2301T001 “Transport and handling machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hynek, Ph.D	Name Martin	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Robotic workplace		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2017
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	115	TEXT PART	56	GRAPHICAL PART	59
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The thesis includes design of robotic workplace. Calculation of chosen parts. Choose of spindle and design of flange for spindle. Design of tool changing, adjustment of positioning table and design of guarding fence with safety units. Thesis also includes drawing documentation.
KEY WORDS	Construction, Robotic workplace, Positioning table, Tool storage, CAD, Siemens NX 10

OBSAH

1. ZKRATKY A SYMBOLY.....	1
Symboly použité pro výpočet vřetena.....	2
Symboly použité pro výpočet pohonů stolu.....	2
Symboly použité pro výpočet ložisek.....	3
2. ÚVOD.....	4
3. ROBOTIKA.....	4
3.1 Rozdělení robotů.....	4
3.2 Robotická pracoviště.....	6
4. NÁVRH KONCEPCE ROBOTICKÉHO PRACOVÍŠTĚ.....	7
4.1 Pracoviště s jedním obráběcím robotem.....	9
4.2 Pracoviště se dvěma obráběcími roboty.....	10
4.3 Pracoviště s obráběcím a manipulačním robotem.....	11
4.4 Volba koncepce.....	12
5. URČENÍ OBRÁBĚCÍCH SIL A VOLBA VŘETENA.....	13
5.1 Určení obráběcích sil.....	13
5.1.1 Zvolené hodnoty.....	13
5.1.2 Vypočtené hodnoty.....	14
5.2 Volba vřetena.....	14
5.3 Navržení upnutí vřetena.....	16
6. NÁVRH VÝMĚNY NÁSTROJŮ.....	18
6.1 Návrh upínání nástrojů.....	18
7. NÁVRH AUTOMATIZOVANÉHO OTOČNÉHO STOLU.....	21
7.1 Parametry stolu.....	22
7.2 Návrh pohonů.....	23
7.2.1 Otáčení stolu.....	23
7.2.2 Naklápění stolu.....	27

7.3	Kontrola ložisek.....	31
7.3.1	<i>Ložiska osy otáčení.....</i>	32
7.3.2	<i>Ložiska osy naklápění.....</i>	34
7.4	Odměřování polohy	36
7.5	Konstrukční úpravy stolu.....	36
7.5.1	Osa otáčení.....	37
7.5.2	Osa Naklápění	38
8.	NÁVRH PRACOVIŠTĚ	39
8.1	Rozmístění prvků potřebných pro obrábění	39
8.2	Ochranné oplocení.....	40
8.3	Kotvení pracoviště.....	42
8.3.1	<i>Kotvení robota.....</i>	42
8.3.2	<i>Kotvení polohovacího stolu.....</i>	43
8.3.3	<i>Kotvení oplocení a zásobníku.....</i>	44
8.4	Bezpečnostní prvky	44
8.5	Finální podoba pracoviště.....	47
9.	ZÁVĚR.....	49
	POUŽITÁ LITERATURA	50
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	52
	SEZNAM TABULEK	54
	SEZNAM PŘÍLOH.....	54
	VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE.....	54

1. ZKRATKY A SYMBOLY

Atd.	a tak dále
CAD	Computer aided design (počítačová podpora konstruování)
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
DIN	Deutsche Industrie-Nom (Německá národní norma)
Pa	Jednotka tlaku
m	Jednotka délky
N	Jednotka síly
Nm	Jednotka momentu síly
kg	Jednotka hmotnosti
°	Jednotka rovinného úhlu
W	Jednotka výkonu
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
KKS	Katedra konstruování strojů
FST	Fakulta strojní
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni

Symbole použité pro výpočet vřetena

Symbol	Název symbolu	Jednotky
a_e	Šířka řezu	mm
a_p	Hloubka řezu	mm
γ_o	Úhel sklonu břitové destičky	°
D_v	Průměr frézy	mm
F_a	Axiální složka síla	N
F_o	Obvodová řezná síla	N
F_r	Radiální složka síla	N
f_z	Posuv na zub	mm
h	Tloušťka třísky	mm
k_c	Měrný řezný odpor	N/mm ²
k_{c1}	Měrná řezná síla	N/mm ²
κ_r	Úhel nastavení frézy	°
m_c	Nárůst měrné řezné síly	-
M_c	Potřebný moment vřetene	N.m
n	Otáčky vřetene	1/min
P_c	Potřebný výkon vřetene	W
v_c	Řezná rychlost	m/min
v_s	Posuvová rychlost	m/min
z_n	Počet zubů	-

Symbole použité pro výpočet pohonů stolu

Symbol	Název symbolu	Jednotky
α	Úhlové zrychlení	rad/s ²
γ	Úhel stoupání šneku	°
d_0	Průměr obrobku	mm
h_0	Výška obrobku	mm
i	Převodový poměr	-
i_p	Převodový poměr převodovky	-
$J_o, J_d, J_h, J_c, J_t, J_{os}$	Momenty setrvačnosti	kg.mm ²
m_0	Hmotnost obrobku	kg

M_c	Celkový krouticí moment působící proti pohybu stolu	N.m
M_J	Krouticí moment od zrychlení stolu	N.m
M_{kl}	Klopný moment od hmotnosti obrobku	N.m
M_s	Krouticí moment od řezného procesu	N.m
μ_z	Součinitel tření	-
M_b	Brzdící moment motoru	N.m
M_c	Celkový krouticí moment působící proti pohybu stolu	N.m
M_{b2p}	Brzdící moment motoru na výstupu převodovky	N.m
M_{k1}	Krouticí moment na vstupní hřídeli	N.m
M_{k1m}	Krouticí moment motoru	N.m
M_{k2}	Krouticí moment na výstupní hřídeli	N.m
M_{k2p}	Krouticí moment na výstupu z převodovky	N.m
M_{k2s}	Skutečný krouticí moment na výstupní hřídeli	N.m
n_1	Vstupní otáčky	1/min
n_{1m}	Otáčky motoru	1/min
n_{1p}	Otáčky na vstupu do převodovky	1/min
n_2	Výstupní otáčky	1/min
n_{2s}	Skutečné otáčky na výstupním hřídeli	1/min
η_p	Účinnost převodovky	-
η_s	Dovolená statická účinnost převodu	-
η_{s1}	Statická účinnost převodu	-

Symbole použité pro výpočet ložisek

Symbol	Název symbolu	Jednotky
C	Dynamická únosnost ložiska	N
F_e	Ekvivalentní zatížení	N
L_h	Požadovaná životnost ložiska	hod
L_{hA}, L_{hB}	Vypočtená životnost ložiska	hod
n	Maximální otáčky hřídele	1/min
R_{Ax}, R_B, R_{Ay}	Reakce ložiska	N

2. ÚVOD

Cílem této diplomové práce je návrh koncepce robotického pracoviště. Volba periferního zařízení pracoviště, jeho rozmístění a návrh výměny nástrojů. Další částí práce je návrh automatizovaného otočného stolu z manuálně otočného. Rozebrání a přeměření stolu, vytvoření 3D modelu stolu pomocí CAD softwaru a navržení pohonů. V poslední části práce vytvoření 3D modelu celého pracoviště a výkresové dokumentace.

3. ROBOTIKA

Současný vývoj robotiky ve světě umožňuje nasazování robotů a jejich uplatnění v nejrůznějších aplikacích, avšak stále převládá využití robotů ve strojírenství. Robotiku lze rozdělit na [4]:

- Teoretickou – zabývá se umělou inteligencí, koncepcí, sensorikou, simulacemi, virtuálním prototypingem atd.
- Technickou – zabývá se konstrukční problematikou robotů, provozem a údržbou, vývojem jednotlivých částí robotů atd.
- Aplikační – zabývá se problematikou nasazování průmyslových robotů ve výrobních systémech

3.1 Rozdělení robotů

Dnešní roboty lze rozdělit do několika skupin. Například podle druhu vykonávaných činností [4]:

- Průmyslové roboty
- Servisní roboty

Průmyslový robot je automatický, zpětnovazebně říditelný, programovatelný, víceosí manipulátor, který lze díky jeho programovatelnosti nasadit pro vykonávání různých činností.

Servisní robot je volně programovatelné zařízení, které vykonává automaticky servis. Tím jsou myšleny nevýrobní činnosti, kterými vykonává službu pro člověka.

Roboty lze dále dělit podle mobility:

- Imobilní
- Mobilní

Podle druhu pohonu:

- Elektrické
- Hydraulické
- Pneumatické

Podle stupňů volnosti:

- Univerzální (6 stupňů volnosti)
- Redundantní (více než 6 stupňů volnosti)
- Deficitní (méně než 6 stupňů volnosti)

Podle kinematické struktury:

- Sériové
- Paralelní
- Hybridní

U robotů se sériovou kinematikou jsou jednotlivé kinematické členy řazeny za sebou. Takto je konstruováno převážné množství dnešních robotů a manipulátorů. Toto provedení sebou nese řadu nevýhod jako vysoká hmotnost, nižší tuhost, sčítání jednotlivých nepřesností v kinematickém řetězci. Přesnost těchto robotů bývá v desetinách milimetru. Proto je snaha u těchto robotů zvyšovat tuhost s využitím lehčích materiálů nebo v aplikacích vyžadujících vyšší přesnost nasazení robotů s paralelní kinematikou [5].



Obrázek 2 Robot s paralelní kinematikou [8]



Obrázek 1 Obráběcí centrum Metrom P1000 [6]

Roboty s paralelní kinematikou jsou díky zařazení jednotlivých členů paralelně konstruovány lehčí, a co se týče polohování rychlejší a přesnější. Mohou dosáhnout přesnosti až na 0,01 mm. Mezi jejich nevýhody patří vyšší nároky na řídicí systém a možnost vzniku vzpříčení při pohybu ramen. Lze je využít i v obráběcích aplikacích, například obráběcí centrum Metrom P1000 je vybaveno paralelní kinematikou viz obr. 1. Může dosáhnout pracovních posuvů až 45 m/min a pracuje s přesností na 0,01 mm [5],[6].

3.2 Robotická pracoviště

Průmysloví roboti jsou nasazováni do nejrůznějších pracovišť v oblastech tváření, montáže, svařování, obrábění, lakování atd. V závislosti na činnostech prováděných robotem se odráží velké množství požadavků na robotická pracoviště související s prováděnými činnostmi. Jsou kladeny nároky na spolehlivost a vybavenost periferním zařízením, senzory, způsobu řízení a dalšími faktory ovlivňující návrh robotických pracovišť.

Robotická pracoviště se uplatní tam, kde je prostředí nebezpečné, nebo obtížně dostupné pro člověka, proto se roboti často využívají například jako svařovací roboti nebo roboti v těžkých provozech.

Stavebním prvkem robotických pracovišť jsou průmyslové roboty vyráběné v sériích s různou kinematikou u různých výrobců jako ABB, KUKA, FANUC, Stäubli atd.



Obrázek 3 Robotické pracoviště [7]

Robotická pracoviště jsou dále vybavena řadou periferních zařízení, jako řídicí jednotkou robota s ručním ovládáním, polohovacími či otočnými stoly, lineární jednotkou, upínacími přípravky, bezpečnostními prvky, zásobníky nástrojů u obráběcích pracovišť, přívody tlakového vzduchu, v případě svařovacích pracovišť přívody se svařovacím plynem. Většina pracovišť je obehnáno stěnami vymezující pracovní prostor robota.

4. NÁVRH KONCEPCE ROBOTICKÉHO PRACOVISTĚ

Navržené pracoviště bude sloužit jako obráběcí, kterým by bylo možné nahradit dosavadní obrábění robotem Stäubli RX130, využívané univerzitním týmem pracujícím na univerzitní formuli.



Obrázek 4 Dosavadní obrábění robotem Stäubli RX130 [9]

Mezi plánované materiály pro obrábění patří ocel, hliník, umělé dřevo a plasty. Při návrhu bude snaha o využití různých zařízení, která jsou k dispozici na univerzitě.

Pro návrh pracoviště jsou k dispozici dva roboti KUKA KR 125/2 s řídicími jednotkami.



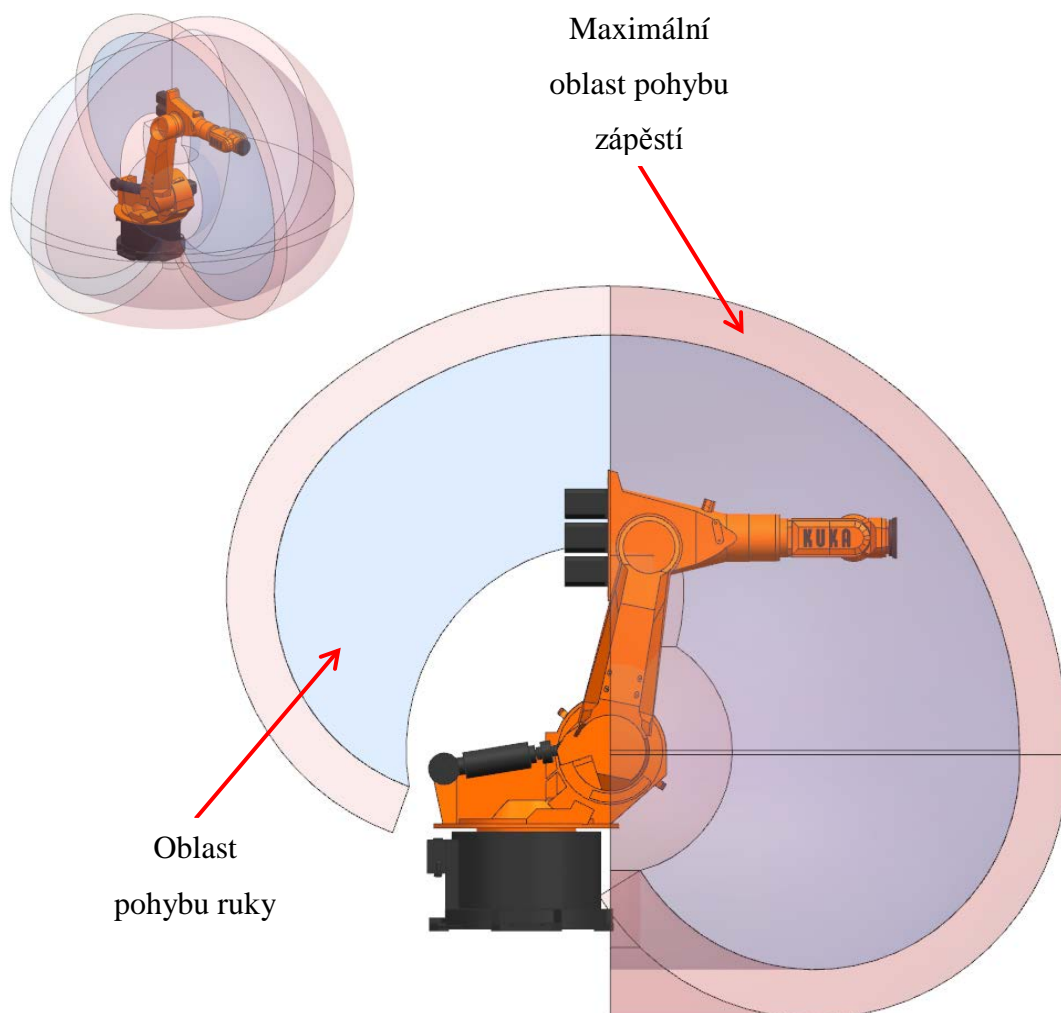
Obrázek 6 Robot KUKA KR 125/2



Obrázek 5 Řídící jednotka robota

Tabulka 1 Parametry robota

Typ robota	KR 125/2
Maximální zátěž na konci zápěstí robota	125 kg
Možnost upínání	Strop, podlaha
Opakovatelnost	$\pm 0,2$ mm
Typ ovladače	KR C1
Hmotnost robota	975 kg
Počet os	6
Rozsah os	
Osa 1	$\pm 185^\circ$
Osa 2	$+93^\circ / -40^\circ$
Osa 3	$+58^\circ / -210^\circ$
Osa 4	$\pm 350^\circ$
Osa 5	$\pm 120^\circ$
Osa 6	$\pm 350^\circ$



Obrázek 7 Pracovní prostor robota

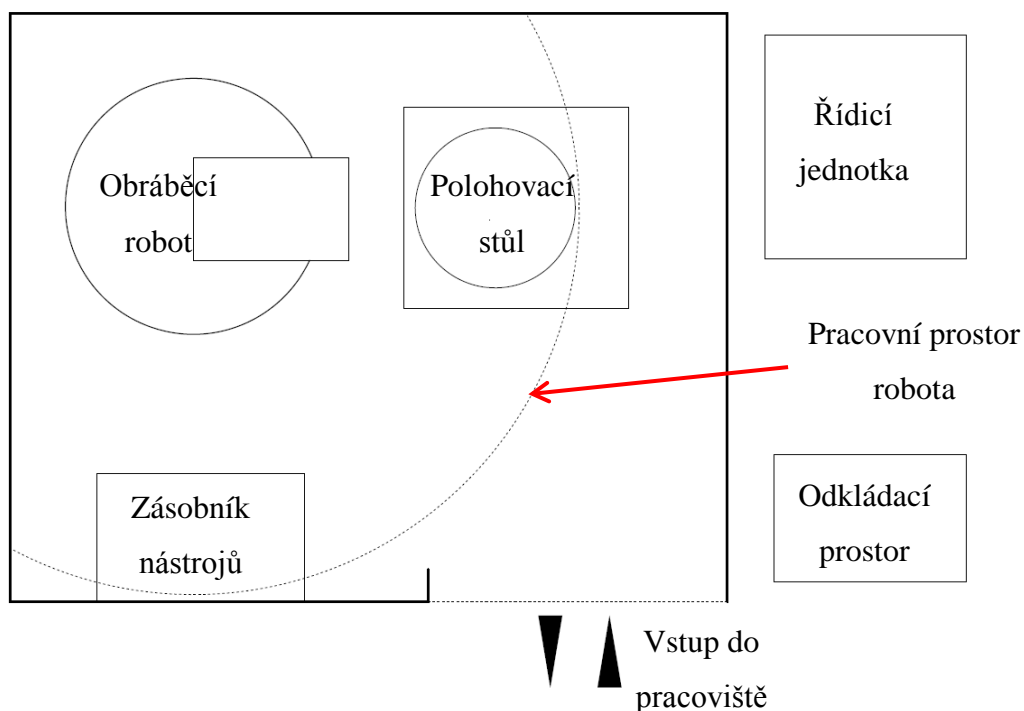
Ruční polohovací stůl od firmy ABAWERK, který bude v jedné z kapitol navržen jako automatizovaný polohovací stůl.



Obrázek 8 Ruční polohovací stůl ABAWERK

4.1 Pracoviště s jedním obráběcím robotem

Pracoviště s jedním obráběcím robotem je nejjednodušší koncepcí ze všech návrhů. Pracoviště je vybaveno jedním robotem s vřetenem umožňujícím automatickou výměnu nástrojů. Zásobník nástrojů je uložen v pracovním prostoru robota tak, aby na něj robot dosáhl a došlo k jednoduché a rychlé výměně nástroje bez pomoci člověka. Polohovací stůl je umístěn v pracovním prostoru robota tak, aby se robot s vřetenem dostal k obrobku, dále stůl pomáhá s polohováním obrobku pomocí naklápění a natáčení jednotlivých os. Řídicí jednotka robota s odkládacím prostorem může být, umístěna uvnitř pracoviště mimo dosah robota, nebo vně pracoviště. Pokud by bylo například nutné, změnit nějaké parametry při obrábění na ručním ovládacím zařízení, musel by operátor vejít do pracoviště. Proto by prostor s řídicí jednotkou měl být chráněn vůči odletujícím materiálu při obrábění.

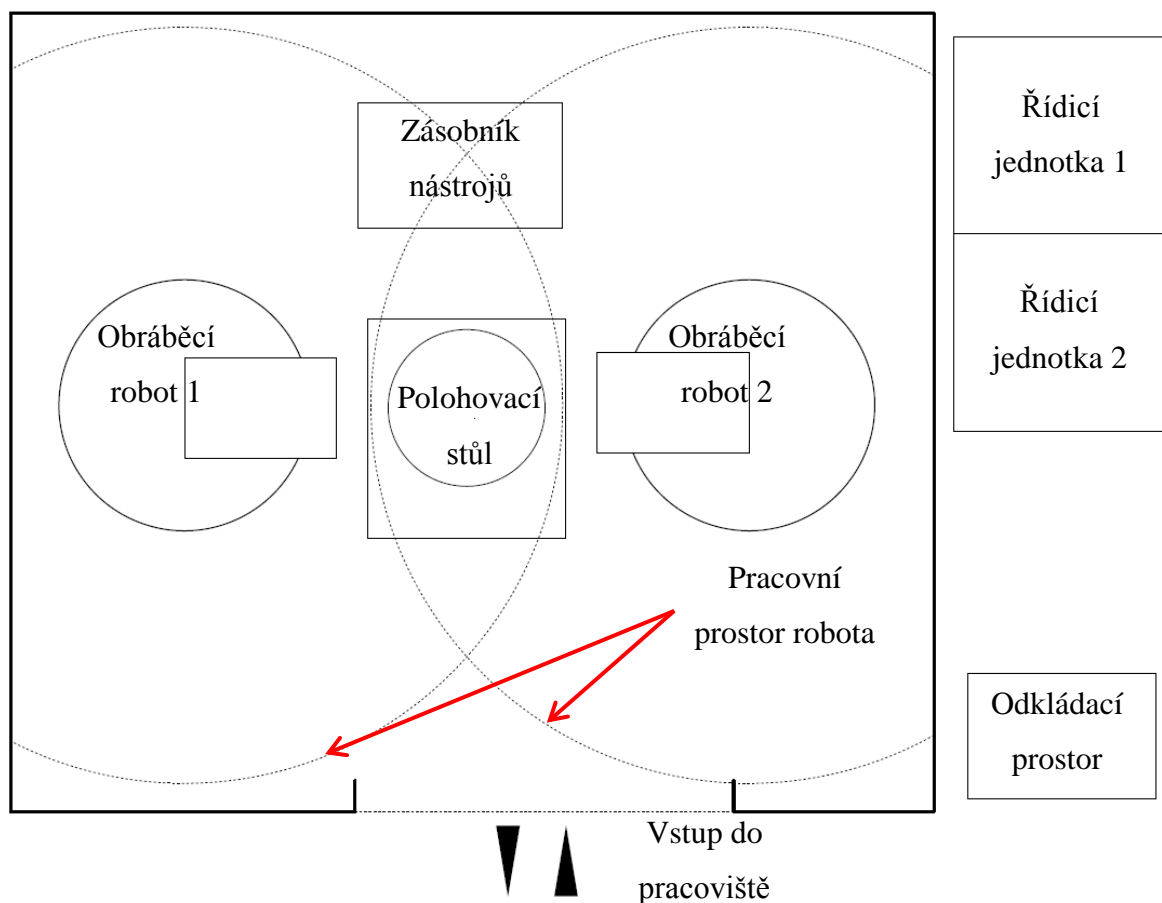


Obrázek 9 Návrh pracoviště s jedním obráběcím robotem

Nevýhodou tohoto pracoviště je nutnost manuálního upínání polotovaru před obráběním obsluhou. Tato koncepce tedy slouží spíše pro kusovou než sériovou výrobu.

4.2 Pracoviště se dvěma obráběcími roboty

Pracoviště se dvěma obráběcími roboty má až na pár rozdílů velmi podobnou strukturu jako pracoviště s jedním obráběcím robotem. Zásobník nástrojů musí být navžen a umístěn v pracovním prostoru robotů tak, aby se k jednotlivým nástrojům dostaly oba roboti. Polohovací stůl s obrobkem taktéž musí být umístěn v pracovním prostoru obou robotů. Umístění řídicích jednotek bude na stejném principu jako u pracoviště s jedním robotem a to buď uvnitř pracoviště umístěny tak, aby byly mimo dosah robotů, či vně pracoviště.



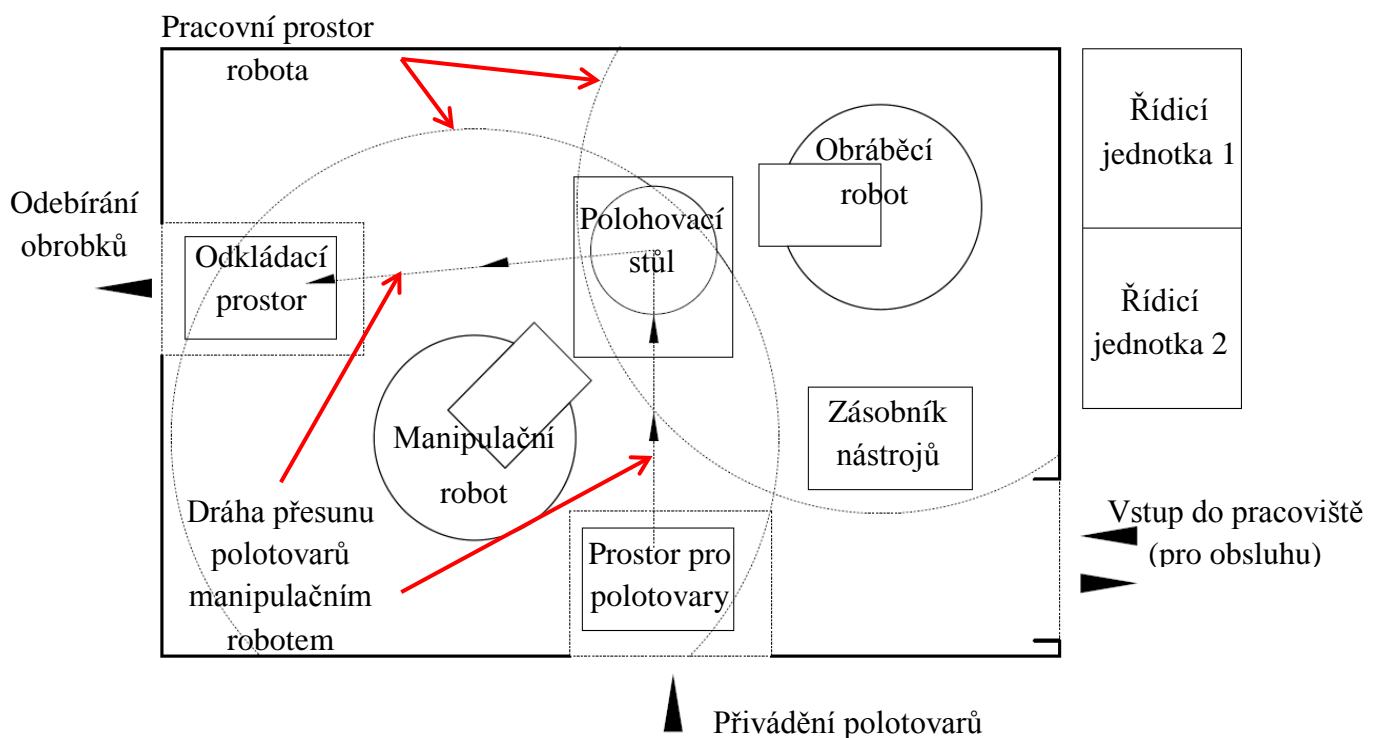
Obrázek 10 Návrh pracoviště se dvěma obráběcími roboty

Nevýhodami této koncepce je nutnost pořízení dvou vřeten. Dále umístění zásobníku nástrojů tak, aby na něj dosáhli oba roboti, ovšem prostor kam dosáhnou oba roboti je omezen, proto by se zásobník musel posunout blíže k polohovacímu stolu, nebo se rozdělit a umístit na každou stranu do prostoru kam dosáhnou oba roboti, či pro každého robota pořídit

vlastní zásobník nástrojů. Řízení dvou robotů zároveň je také o něco složitější než řízení jednoho robota. Vzhledem k použití dvou robotů by bylo pracoviště o něco větší než pracoviště s jedním robotem. I zde je nutné manuálně upínat polotovary a proto se tato koncepce také hodí spíše pro kusovou výrobu. Ovšem díky dvěma obráběcími robotům se požadovaná součást obrobí mnohem rychleji než na pracovišti s jedním obráběcími robotem. Dále by bylo možné v některých případech stále obrábět jedním robotem v době odstávky druhého robota.

4.3 Pracoviště s obráběcím a manipulačním robotem

Součástí toho pracoviště jsou dva roboti, jeden obráběcí s vřetenem a druhý manipulační s efektozem. Pracoviště by bylo uzavřeno a pracovalo by bez zásahu člověka. Jedinou prací člověka by bylo dodávat polotovary k obrábění a odebírat hotové obrobky z pracoviště. Manipulační robot by pomocí efektozu vzal polotovar z odkládacího prostoru pro polotovary a umístil by jej na stůl, kde by byl upnut pomocí upínek (pneumatických či hydraulických). Obráběcí robot by obrobil polotovar do finálního stavu a manipulační robot by přenesl obrobky na paletu v odkládacím prostoru, kde by byly odebrány člověkem po dokončení dávky.

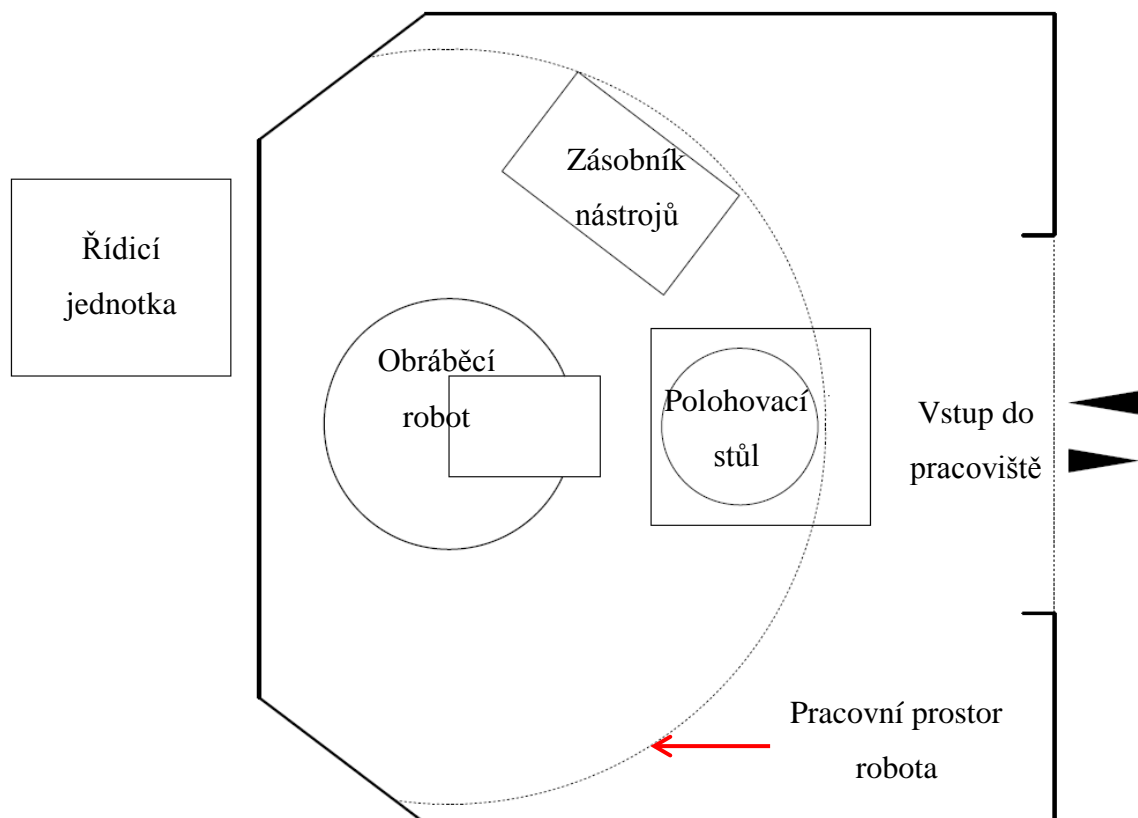


Obrázek 11 Návrh pracoviště s jedním obráběcím robotem a jedním manipulačním

Tato koncepce je vhodná pro rozměrově menší výrobky v menších sériích. Výhodou je, že jedinou prací člověka je dodání polotovaru a odebrání obrobků, takže pracoviště by pracovalo téměř samostatně. Přítomnost člověka je možné nahradit například pásovým dopravníkem, v tom případě by pracoviště bylo samostatně pracující. Nevýhodou je nutnost efektoru pro manipulačního robota, přičemž je nutné navrhnout takový ejektor, který by dokázal manipulovat s různými polotovary při různých hmotnostech a různých rozměrech. Dále je nutné brát v úvahu možnosti odebírání polotovarů. Zda manipulačního robota vybavit kamerou pomocí které by rozeznával jednotlivé díly, nebo dodávat polotovary na přesně stanovených místech, aby robot věděl, kam si má sáhnout pro polotovar. Umístěním řídicích jednotek mimo pracovní prostory, lze získat poměrně kompaktní pracoviště i s použitím dvou robotů.

4.4 Volba koncepce

Vzhledem k tomu, že by pracoviště mělo být co nejjednodušší a bude využíváno pro kusovou výrobu, kde není příliš kladen důraz na dobu obráběného kusu, byla zvolena první varianta s jedním obráběcím robotem.



Obrázek 12 Finální návrh pracoviště

5. URČENÍ OBRÁBĚCÍCH SIL A VOLBA VŘETENA

Pro obráběcí proces bude zapotřebí zvolit vhodné obráběcí vřeteno. Na pracovišti se bude obrábět převážně měkké umělé dřevo. Mezi další plánované materiály pro obrábění jsou hliník a plasty. Obrábění oceli robotem se nejčastěji využívá při dokončovacích či odjehlovacích operacích, a to z důvodu možné ztráty tuhosti robota při obrábění tvrdšího materiálu a tedy ke snížení přesnosti. Jelikož je plánováno v budoucnu obrábět i ocel, tak je dobré volit takové výrobky, na které je kladena nižší přesnost. Pro výpočet obráběcích sil se zvolí materiál s největším řezným odporem. Ze zadaných materiálů je materiál s největším řezným odporem ocel, proto je výpočet proveden pro ocel.

5.1 Určení obráběcích sil

Pro výpočet byla zvolena SANDVIK čelní rohová fréza R390-020C3-11L050 o průměru 20 mm. Tato fréza je navržena pro výpočet řezných sil při obrábění oceli se zvolenými řeznými podmínkami. Z vypočtených výsledků bude zvoleno vřeteno. Při daných řezných podmínkách by se neměl volit nástroj s větším průměrem pro obrábění oceli.

5.1.1 Zvolené hodnoty

Fréza

Průměr frézy	$D_v = 20 \text{ mm}$
Řezná rychlost	$v_c = 150 \text{ m/min}$
Posuv na zub	$f_z = 0,08 \text{ mm}$
Počet zubů	$z_n = 4$
Šířka řezu	$a_e = 16 \text{ mm}$
Hloubka řezu	$a_p = 3 \text{ mm}$
Úhel nastavení frézy	$\kappa_r = 90^\circ$
Úhel sklonu břitových destiček	$\gamma_o = 21^\circ$

Obráběný materiál

Měrná řezná síla	$k_{c1} = 1700 \text{ N/mm}^2$
Nárůst měrné řezné síly	$m_c = 0.25$

5.1.2 Vypočtené hodnoty

Flouška třísky

$$h = 0,2 \cdot \sin(\kappa_r) = 0,2 \cdot \sin(90^\circ) = 0,2 \text{ mm} \quad (5.1.1)$$

Měrný řezný odpor

$$k_c = k_{c1} \cdot h^{-m_c} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_o}{100}\right) = 1700 \cdot 0,2^{-0,25} \cdot \left(1 - \frac{21}{100}\right) = 2008,253 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad (5.1.2)$$

Otáčky vřetene

$$n = \frac{v_c}{\pi \cdot D_v} = \frac{150}{\pi \cdot 0,020} = 2387,324 \frac{\text{ot}}{\text{min}} \quad (5.1.3)$$

Posuvová rychlost

$$v_s = z_n \cdot n \cdot f_z = 4 \cdot 2387,324 \cdot 0,00008 = 0,764 \frac{m}{\text{min}} \quad (5.1.4)$$

Potřebný výkon vřetene

$$P_c = a_p \cdot a_e \cdot v_s \cdot k_c = 0,003 \cdot 0,016 \cdot 0,01273 \cdot 2008,253 \cdot 10^6 = 1227 \text{ W} \quad (5.1.5)$$

Potřebný moment vřetene

$$M_c = \frac{P_c}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{1227}{2 \cdot \pi \cdot 2387,324} = 4,909 \text{ Nm} \quad (5.1.6)$$

Obvodová řezná síla

$$F_o = \frac{2 \cdot M_c}{D_v} = \frac{2 \cdot 4,909}{0,020} = 490,942 \text{ N} \quad (5.1.7)$$

Radiální složka síly

$$F_r = 0,8 \cdot F_o = 0,8 \cdot 490,942 = 392,753 \text{ N} \quad (5.1.8)$$

Axiální složka síly

$$F_a = 0,6 \cdot F_o = 0,6 \cdot 490,942 = 294,565 \text{ N} \quad (5.1.9)$$

5.2 Volba vřetena

Myšlenka pro robotické pracoviště je taková, že si robot bude nástroje měnit sám. Proto je zapotřebí zvolit vřeteno s automatickým upínáním s výkonem větším jak 1,3 kW a momentem větším jak 5 Nm.



Obrázek 13 Vřeteno 2AP71-2S

Na univerzitě je k dispozici dvojice vřeten. Vřeteno 2AP71-2S je vřeteno s výkonem 370 W bez automatického upínání tím pádem nevyhovuje pro návrh. Druhé vřeteno je GAMFIOR s výkonem 13 kW, které má s i přírubou k připevnění k robotu hmotnost kolem 100 kg, toto vřeteno je poměrně těžké a při pohybu by vznikaly velké setrvačné síly, to by mohlo zapříčinit snížení tuhosti robota v některých stavech při provozu. Z těchto důvodů jsou obě vřetena nevyhovující, a proto bude nutné zvolit nové vřeteno.

Bylo zvoleno vřeteno ES929-H6161H0824 viz obr. 14 od firmy HSD Mechatronics s možností automatické výměny nástrojů. Parametry vřetena jsou uvedeny v tab. 2.

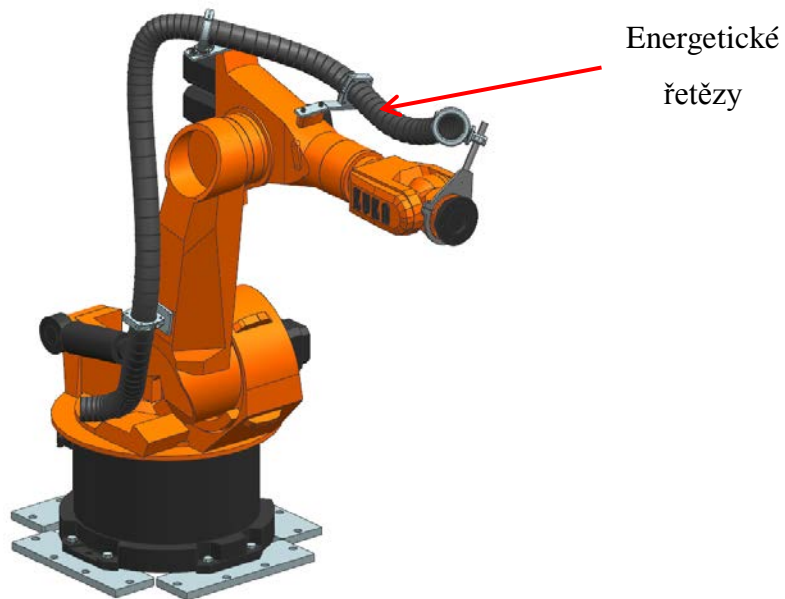


Obrázek 14 Vřeteno ES929-H6161H0824 [10]

Tabulka 2 Parametry vřetena

Typ	ES929-H6161H0824	
Maximální otáčky	24000	[ot/min]
Výkon vřetene (S1/S6)	7,5/9	[kW]
Moment vřetene (S1/S6)	6/7,2	[Nm]
Upínání	ISO30	-
Chlazení	Elektrickým ventilátorem	-
Hmotnost	26	[kg]

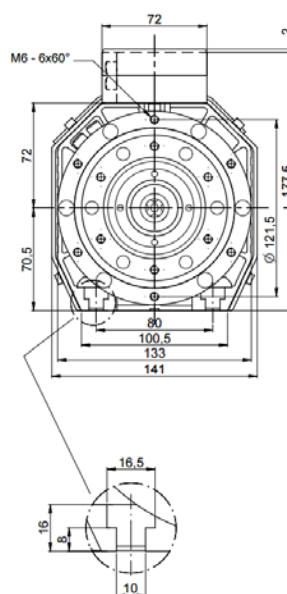
Pro funkci vřetena je nutné přivést napájecí kabely, hadice s tlakovým vzduchem. Pro přívod kabelů a hadic k vřetenu jsou zvoleny energetické řetězy od firmy Igus Triflex [17]. Tyto řetězy umožňují víceosí pohyb, zaručující vysoké tahové napětí díky kulovým kloubům. Dále zajišťují snadné a rychlé sestavení.



Obrázek 15 Umístění energetický řetězu na robotu

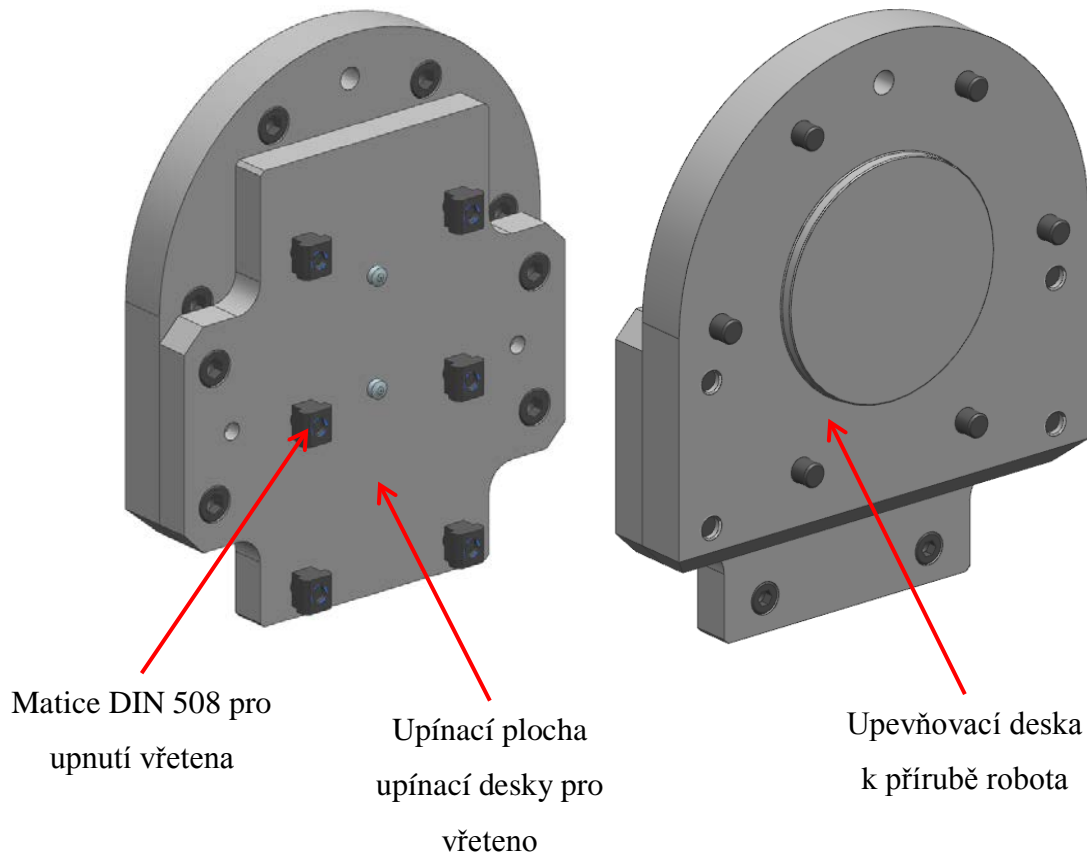
5.3 Navržení upnutí vřetena

Vřetena typu ES929 od firmy HSD lze upínat pomocí čelní plochy vřetena, nebo pomocí T-drážek z boku vřetena.

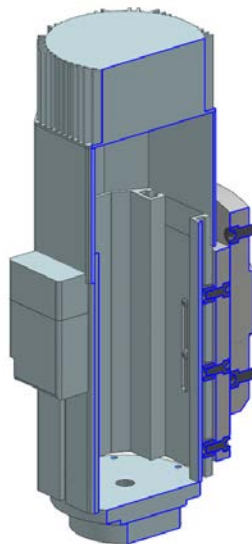


Obrázek 16 Výkres upevňovací příruby vřetena [18]

Z důvodu lepší přístupnosti vřetena s nástrojem k obrobku bylo zvoleno upnutí vřetena k přírubě pomocí T-drážek. Do T-drážek vřetena jsou umístěny matice DIN 508 T10 přes které se vřeteno přišroubuje k upínací desce vřetena. Upínací deska vřetena je přišroubována k přírubě, která je připevněna k upínací ploše příruby robota pomocí šroubů DIN 912 M10.



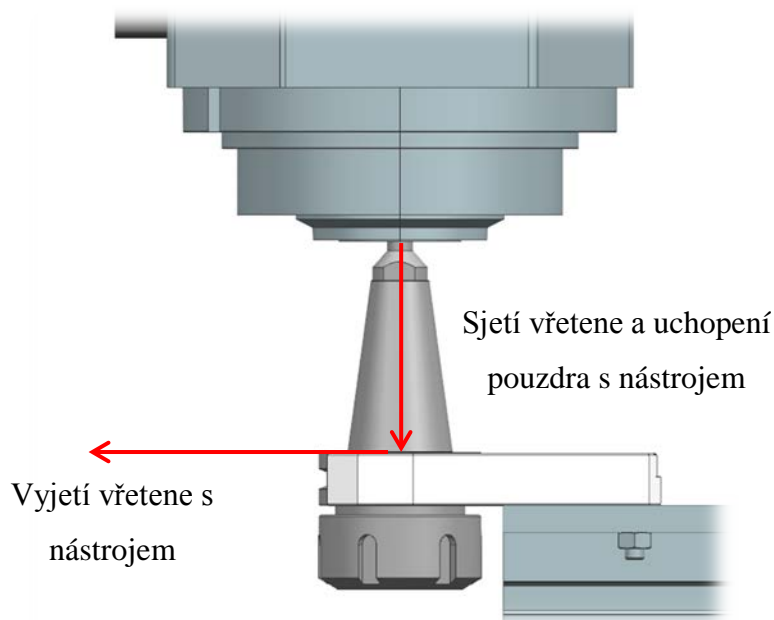
Obrázek 17 Navržená příruba pro upnutí vřetena



Obrázek 18 Řez přírubou s upnutým vřetenem

6. NÁVRH VÝMĚNY NÁSTROJŮ

Výměna nástrojů bude prováděna automaticky, proto bylo zvoleno vřeteno, které umožňuje automatickou výměnu nástroje. Nástroje budou umístěny v zásobníku nástrojů v dosahu robota. V případě potřeby výměny nástroje, robot přesune vřeteno k zásobníku s nástroji umístěnými v upínacích pouzdrech. Vertikálním pohybem vřetena se pouzdro do něj zasune a uchopí jej viz obr. 19. Pomalým pohybem vřetena po horizontální dráze bude nástroj odepnut z upínacího prvku. Poté vřeteno pomalu vyjede ze zásobníku s uchopeným nástrojem.



Obrázek 19 Pohyb při uchopení pouzdra vřetenem

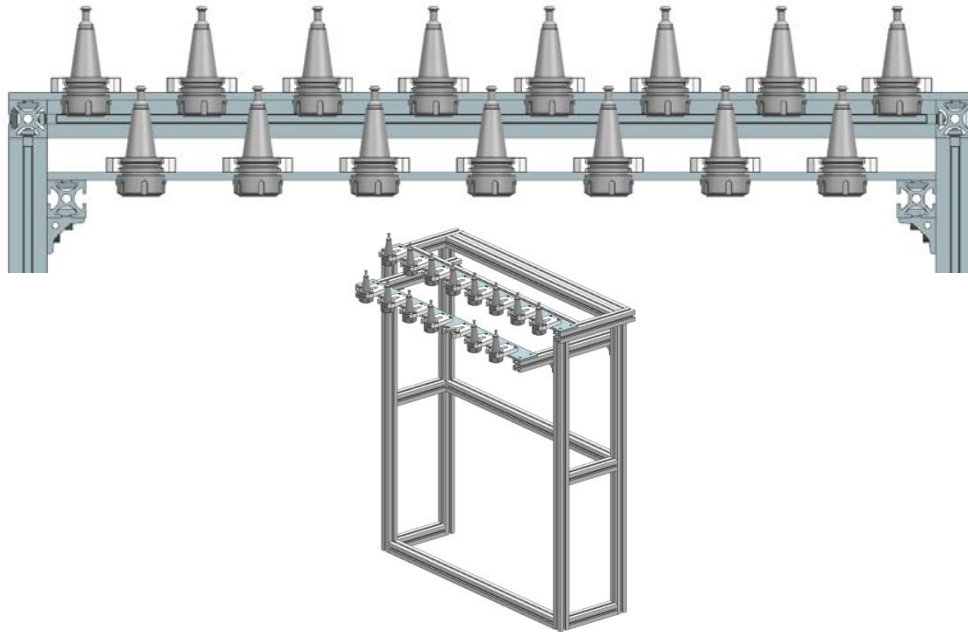
6.1 Návrh upínání nástrojů

Pro jednoduchost upínání bylo zvoleno upínání do plastových elementů pro upínání pouzder ISO30 viz obr. 20. Tyto elementy se připevní k desce připevněné k rámu zásobníku z hliníkových profilů. Tím vznikne jednoduchá polička s nástroji.



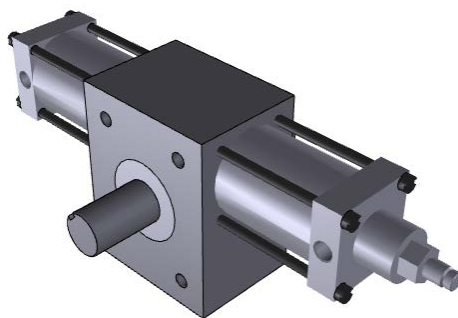
Obrázek 20 Upínací elementy pouzder ISO30 [15]

Dle rozptylu, umístění a počtu možných pouzder lze navrhnout zásobník s několika poličkami. Pro daný případ budou v zásobníku dvě poličky, horní se sudým počtem nástrojů a dolní s lichým. Díky takto zvolenému počtu nástrojů na poličce a vhodným rozptylem jednotlivých upínacích elementů se zabrání kolizi při vyjíždění vřetena s upnutým nástrojem.



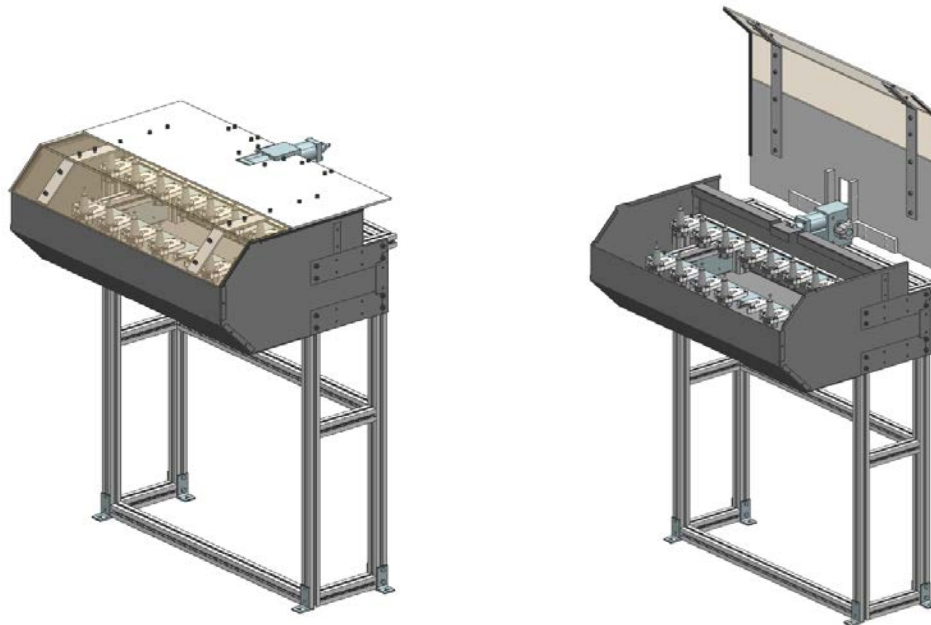
Obrázek 21 Rozmístění pouzder v zásobníku

Při obrábění, zejména umělého dřeva vzniká vysoká prašnost. Pro zabránění usazování prachu či drobných pilin na kuzelech upínacích pouzder a možnosti vzniku nepřesnosti při upínání je navrženo krytování zásobníku. Pokud by bylo nutné vyměnit nástroj během obrábění je zapotřebí zavřený zásobník nejprve otevřít, aby si robot mohl vyměnit nástroj. Při obrábění je uvažováno, že se člověk kolem prostoru robota nebude vyskytovat, proto je nutné navrhnout automatizované otevírání zásobníku, které bude ovládat řídicí jednotka s rozvaděči. Pro automatické otevírání byl zvolen pneumatický válec R25A590-P-B-A1 od firmy PHD Obr. 22 s úhlem naklápění 90° a výstupní hřídelí na obou stranách.



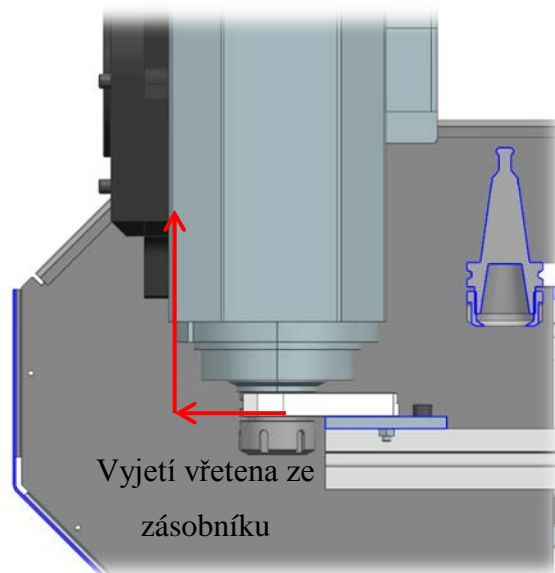
Obrázek 22 Pneumatický válec RC25A590-P-B-A1 [16]

Výstupní hřídel válce je sevřena z každé strany rameny, ke kterým jsou připevněny konzoli nesoucí kryt zásobníku, který je složen z hliníkové desky a dvou polykarbonových desek. V případě výměny nástrojů, sepne pneumatický ventil a přivede tlakový vzduch do válce, který zvedne kryt zásobníku. Po výměně nástroje, kdy již není vřeteno v zásobníku, se sepnutím ventilu přivede tlak na druhou stranu válce a kryt se přiklopí. Rychlost uzavírání zásobníku se nastaví škrtkovými ventily válce.



Obrázek 23 Navržený zásobník nástrojů

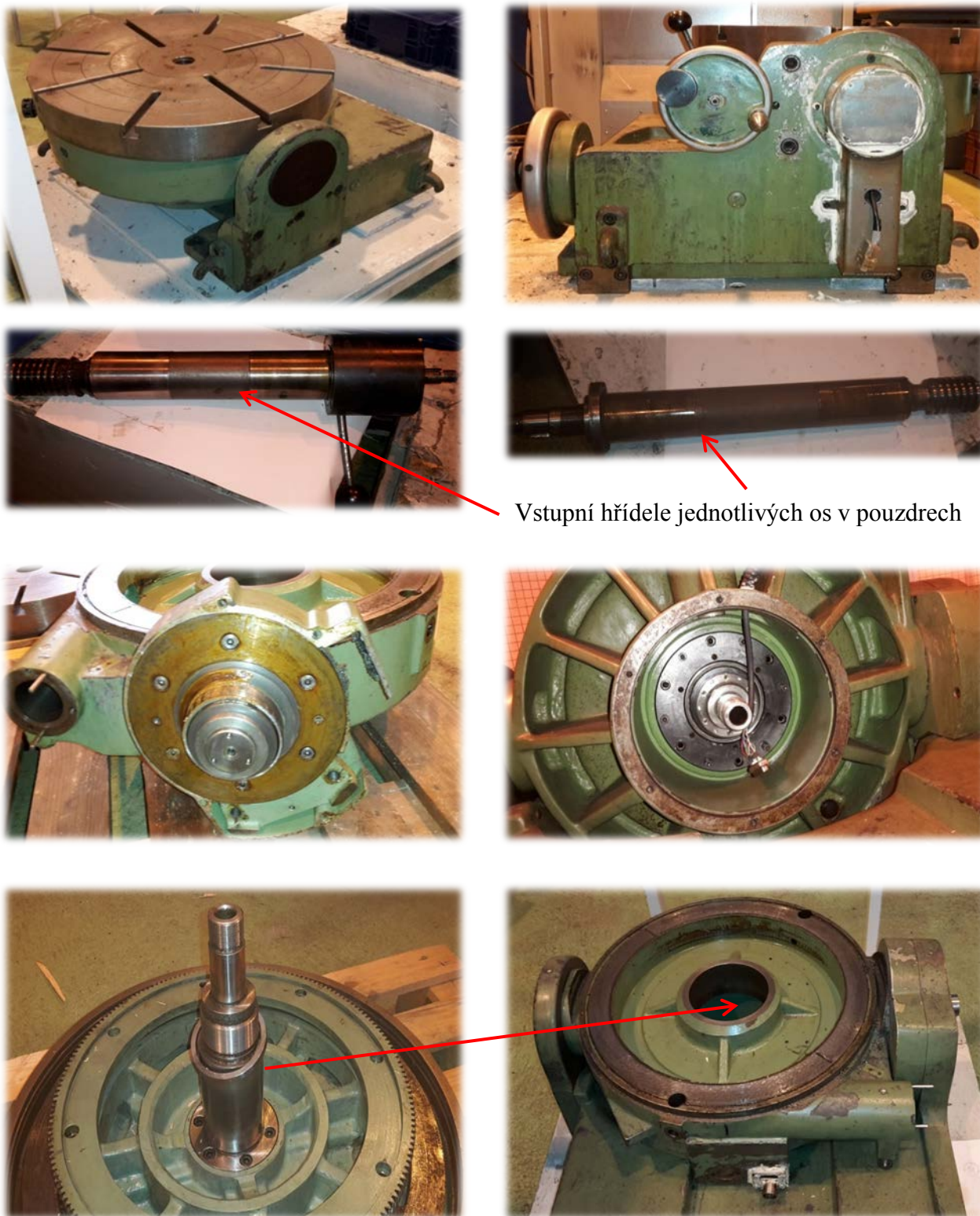
Zbylé krytování zásobníku je z ocelových plechů o tloušťce 1 mm. Je umístěno zepředu, ze stran, zezadu a zespoda zásobníku. Krytování je přinýtováno pomocí trhacích nýtů.



Obrázek 24 Pohyb vřetena při vyjetí ze zásobníku

7. NÁVRH AUTOMATIZOVANÉHO OTOČNÉHO STOLU

Součástí diplomové práce je úprava polohovacího stolu ABAWERK z ručního na automatizovaný.



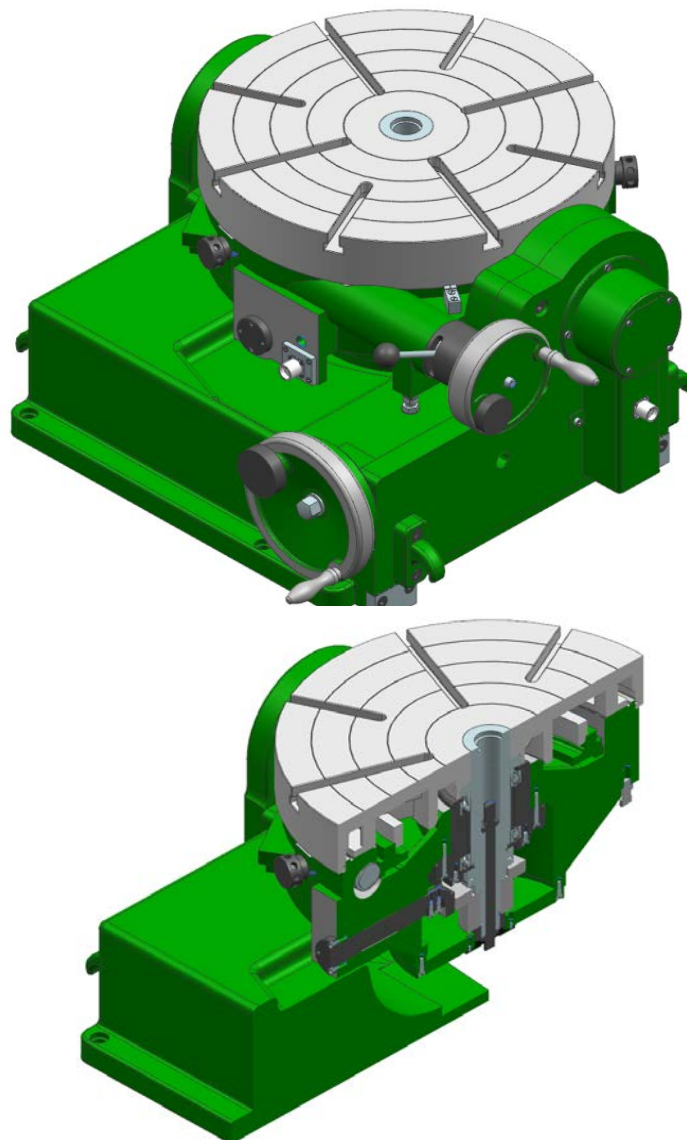
Obrázek 25 Polohovací stůl při rozebírání

Nejprve bylo nutné stůl rozebrat a zjistit jaké součásti obsahuje a jak je zkonstruován. Poté byly jednotlivé součásti očištěny od špon, přeměřeny, přemodelovány a sestaveny do sestavy v CAD programu Siemens NX10.

7.1 Parametry stolu

Tabulka 3 Dané parametry stolu

Průměr upínací desky	500	[mm]
Vzdálenost upínací desky od země	380	[mm]
T-drážky	14 H7	[mm]
Rozsah naklápění stolu	0÷90	[°]
Rozsah otáčení desky stolu	±360	[°]



Obrázek 26 Přemodelovaný polohovací stůl

Tabulka 4 Zvolené parametry stolu

Maximální hmotnost obrobku	100	[kg]
Maximální rychlost otáčení desky stolu	15	[ot/min]
Maximální rychlost naklápění stolu	5	[ot/min]

7.2 Návrh pohonů

Pro výpočet zatížení stolu a určení potřebných pohonů bude uvažováno zatížení stolu ocelovým polotovarem o průměru 300 mm a výšce 180 mm. Kromě hmotnosti obrobku bude stůl dále zatěžován silami od obrábění vypočtenými v kapitole 5.1.

7.2.1 Otáčení stolu

Dané hodnoty

Hmotnost obrobku $m_0 = 100 \text{ kg}$

Průměr obrobku $d_0 = 300 \text{ mm}$

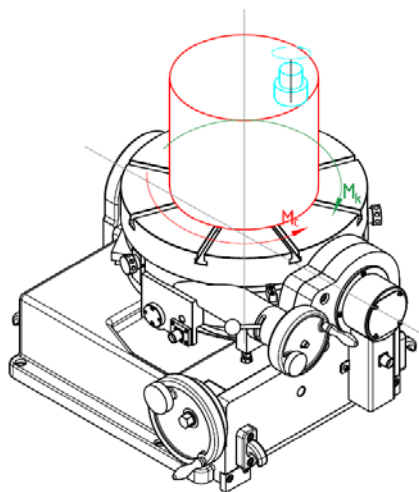
Výška obrobku $h_0 = 180 \text{ mm}$

Výstupní otáčky $n_2 = 15 \text{ ot/min}$

Bude uvažováno, že se deska stolu při obrábění bude otáčet pouze o $\pm 180^\circ$, tedy o půlotáčku. Při výstupních otáčkách 15 ot/min je doba jedné půlotáčky 2 sekundy. To odpovídá zrychlení stolu při otáčení $\alpha = 0,785 \text{ rad/s}^2$.

Výpočet zatížení stolu při otáčení desky

Momenty setrvačnosti (vypočtené v programu Autodesk Inventor 2016).



Obrázek 27 Zatížení při otáčení stolu

Tabulka 5 Uvažované setrvačné momenty pro otáčení stolu

Moment setrvačnosti obrobku	$J_o = \frac{1}{2}mr^2 = \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 150^2 = 1125000 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$
Moment setrvačnosti desky stolu	$J_d = 2040700,136 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$
Moment setrvačnosti hřídele stolu	$J_h = 3257,373 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$
Celkový moment setrvačnosti	

$$J_c = J_o + J_d + J_h = 1125000 + 2040700,136 + 3257,373 = 3168958,509 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

Krouticí moment od zrychlení stolu

$$M_J = J_c \cdot \alpha = 3,169 \cdot 0,785 = 2,489 \text{ Nm} \quad (7.2.1)$$

Moment od řezného procesu

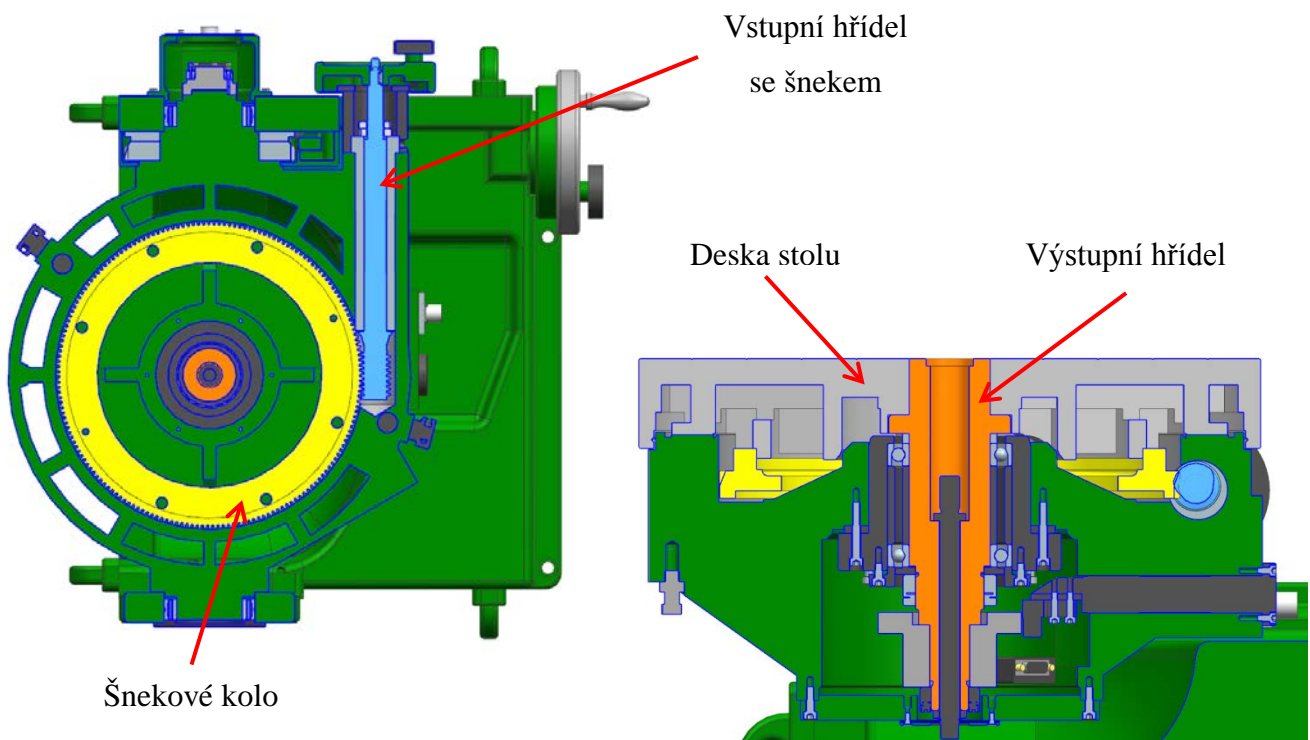
$$M_s = F_o \cdot \frac{d_o}{2} = 490,942 \cdot \frac{0,3}{2} = 73,641 \text{ Nm} \quad (7.2.2)$$

Celkový krouticí moment působící proti pohybu desky

$$M_c = M_J + M_s = 2,489 + 73,641 = 76,13 \text{ Nm}$$

Kontrola samosvornosti převodu

Převod mezi vstupní a výstupní hřídelí je tvořen šnekem a šnekovým kolem. Na vstupu je hřídel se šnekem v kluzném pouzdře zabírající se šnekovým kolem. Šnekové kolo je přišroubováno k desce stolu, která je nalisována na výstupní hřídel.



Obrázek 28 Řez komponentami umožňujícími otáčení

Samosvornost šnekového převodu závisí na úhlu stoupání šneku. Aby převod vyhovoval, nesmí být statická účinnost převodu větší jak 50%.

Dovolená statická účinnost převodu $\eta_s = 50\%$

Úhel stoupání šneku $\gamma = 4^\circ$

Součinitel tření (ocel/litina, šnek/šnekové kolo) $\mu_z = 0,3$

Statická účinnost převodu

$$\eta_{s1} = \frac{\tan(\gamma)}{\tan[\gamma + \tan^{-1}(\mu_z)]} \cdot 100 = \frac{\tan(4^\circ)}{\tan[4^\circ + \tan^{-1}(0,3)]} \cdot 100 = 18,5\% \quad (7.2.3)$$

$$\eta_s \geq \eta_{s1}$$

$$50\% \geq 18,5\% \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Převod je staticky samosvorný. Aby byl převod i dynamicky samosvorný, musí být úhel stoupání menší jak $1,5^\circ$. Pro úhel stoupání 4° je převod klasifikován jako téměř samosvorný [11]. Z toho vyplývá použití elektromotoru s brzdou při návrhu pohonu.

Určení pohonu otáčení

Účinnost převodu (šnek/šnekové kolo) $\eta = 0,4$

Převodový poměr $i = 183$

Výstupní moment $M_{k2} = M_c = 76,13 \text{ Nm}$

Výstupní otáčky $n_2 = 15 \text{ ot/min}$

Z daných výstupních hodnot se vypočítají potřebné vstupní hodnoty, podle kterých se vybere vhodný pohon.

Potřebný vstupní moment

$$M_{k1} = \frac{M_{k2}}{i \cdot \eta} = \frac{76,13}{183 \cdot 0,4} = 1,04 \text{ Nm} \quad (7.2.4)$$

Maximální vstupní otáčky

$$n_1 = n_2 \cdot i = 15 \cdot 183 = 2745 \frac{\text{ot}}{\text{min}} \quad (7.2.5)$$

Dle vypočtených hodnot se určí z tab. 6 vhodný pohon pro otáčení.

Tabulka 6 Dostupné pohony pro otáčení stolu

Typ	Krouticí moment [Nm]	Otáčky [ot/min]	Brzda [Nm]
MKD041-OH322	2,7	7500	2,2
ACM604V60-2500	1,27	3000	-
MKD041-15028	2,7	6000	2,2
AKM31C-ACDNC-00	1,15	6000	-
MPR050-1MCS 06F41-SRMB0	12	400	-
C002F0700ED203U	40	42	-

Z dostupných servomotorů byl vybrán servomotor INDRAMAT MKD041-15028. Servomotor pracuje v rozsahu otáček 0÷6000. Otáčky servomotoru budou nastaveny na 2700 ot/min.

Krouticí moment motoru

$$M_{k1m} = 2,7 \text{ Nm}$$

Brzdňý moment motoru

$$M_b = 2,2 \text{ Nm}$$

Otáčky motoru

$$n_{1m} = 2700 \text{ ot/min}$$



Obrázek 29 Servomotor INDRAMAT MKD041 [12]

Skutečné výstupní otáčky

$$n_{2s} = \frac{n_{1m}}{i} = \frac{2700}{183} = 14,754 \frac{\text{ot}}{\text{min}} \quad (7.2.6)$$

$$n_2 \geq n_{2s}$$

$$15 \frac{\text{ot}}{\text{min}} \geq 14,754 \frac{\text{ot}}{\text{min}} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Skutečný moment na výstupu

$$M_{k2s} = i \cdot \eta \cdot M_{k1m} = 183 \cdot 0,4 \cdot 2,7 = 197,64 \text{ Nm} \quad (7.2.7)$$

$$M_{k2s} \geq M_{k2}$$

$$197,64 \text{ Nm} \geq 76,13 \text{ Nm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Navržený servomotor vyhovuje. Jelikož je opatřen i brzdou vyhovuje i podmínce pro dynamickou samosvornost.

Volba spojky

Spojka spojuje vstupní hřídel se šnekem a servomotorem. Byla zvolena svěrná spojka od firmy RULAND FCMR32-14-14-A [13] s přenosem krouticího momentu 5,08 Nm. Materiál spojky je hliník 7075. Umožňuje nesouosost o 0,38 mm a úhlovou nesouosost o 3°. Její použití je až do 6000 ot/min a může pracovat v rozmezí teplot od -40°C až do 107°C.



Obrázek 30 Spojka RULAND FCMR32-14-14-A [13]

7.2.2 Naklápění stolu

Dané hodnoty

Hmotnost obrobku

$$m_0 = 100 \text{ kg}$$

Průměr obrobku

$$d_0 = 300 \text{ mm}$$

Výška obrobku

$$h_0 = 180 \text{ mm}$$

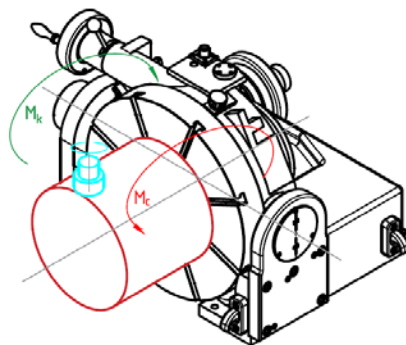
Výstupní otáčky

$$n_2 = 5 \text{ ot/min}$$

Stůl se bude naklápět pouze o 90°. Při výstupních otáčkách 5 ot/min je doba pootočení o čtvrtotáčku 3 sekundy. Odpovídá to zrychlení stolu $\alpha = 0,175 \text{ rad/s}^2$.

Výpočet zatížení stolu při naklápění

Momenty setrvačnosti (vypočtené v programu Autodesk Inventor 2016).



Obrázek 31 Zatížení při naklápění stolu

Tabulka 7 Uvažované setrvačné momenty pro naklápění stolu

Moment setrvačnosti obrobku	$J_o = 1640513,962 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$
Moment setrvačnosti desky stolu	$J_d = 1101946,465 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$
Moment setrvačnosti hřídele stolu	$J_h = 81248,644 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$
Moment setrvačnosti otáčejícího se tělesa stolu	$J_t = 2083947,581 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$
Moment setrvačnosti ostatních součástí	$J_{os} = 417814,226 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$

Celkový moment setrvačnosti

$$J_c = J_o + J_d + J_h + J_t + J_{os} = 5325470,878 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

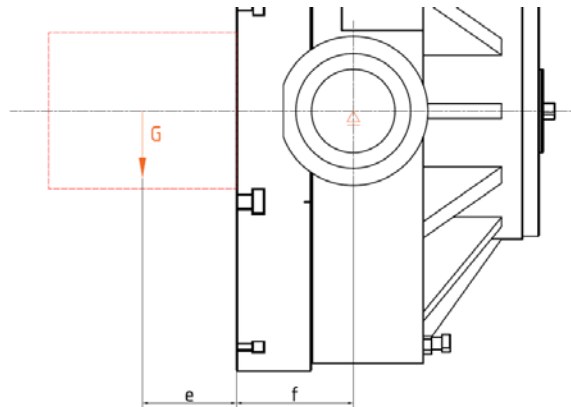
Krouticí moment od zrychlení stolu

$$M_j = J_c \cdot \alpha = 5,325 \cdot 0,175 = 0,929 \text{ Nm} \quad (7.2.8)$$

Moment od řezného procesu

$$M_s = F_o \cdot \frac{d_o}{2} = 490,942 \cdot \frac{0,3}{2} = 73,641 \text{ Nm} \quad (7.2.9)$$

Klopňý moment od hmotnosti obrobku



Obrázek 32 Zatížení klopňým momentem o tíhy břemena

$$e = \frac{h_0}{2} = \frac{180}{2} = 90 \text{ mm}$$

$$f = 112 \text{ mm}$$

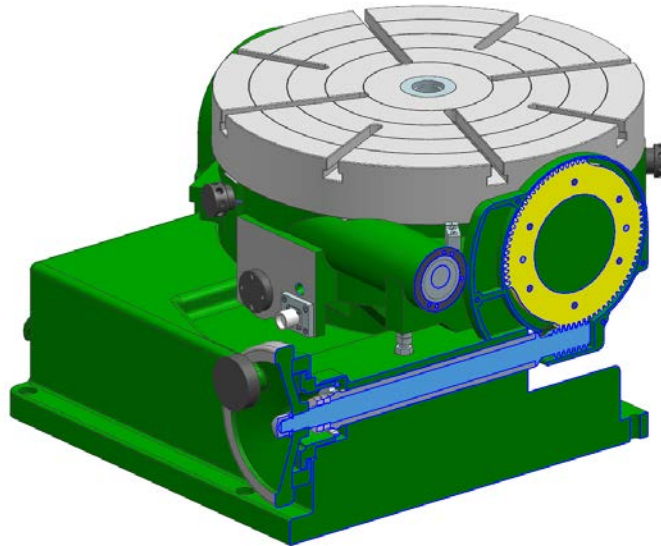
$$M_{kl} = G \cdot (f + e) = m_0 \cdot g \cdot (f + e) = 100 \cdot 9,81 \cdot (0,112 + 0,09) = 198,094 \text{ Nm} \quad (7.2.10)$$

Celkový krouticí moment působící při naklápění

$$M_c = M_j + M_s + M_{kl} = 0,929 + 73,641 + 198,094 = 272,665 \text{ Nm}$$

Kontrola samosvornosti převodu

Převod mezi vstupem a výstupem je tvořen šnekem se šnekovým kolem stejně jako u otáčení desky. Šnekové kolo je přišroubováno k tělesu stolu. Šnek je součástí hřídele umístěné v kluzném pouzdře.



Obrázek 33 Řez komponentami umožňujícími naklápění

Dovolená statická účinnost převodu $\eta_s = 50\%$

Úhel stoupání šneku $\gamma = 6^\circ$

Součinitel tření (ocel/litina, šnek/šnekové kolo) $\mu_z = 0,3$

Statická účinnost převodu

$$\eta_{s2} = \frac{\tan(\gamma)}{\tan[\gamma + \tan^{-1}(\mu_z)]} \cdot 100 = \frac{\tan(6^\circ)}{\tan[6^\circ + \tan^{-1}(0,3)]} \cdot 100 = 25,127\% \quad (7.2.11)$$

$$\eta_s \geq \eta_{s2}$$

$$50\% \geq 25,127\% \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Převod je staticky samosvorný. Pro úhel stoupání 6° je převod šnek/šnekové kolo s lehkou dynamickou samosvorností[11], proto je nutné i zde zvolit elektromotor s brzdou.

Určení pohonu otáčení

Účinnost převodu (šnek/šnekové kolo) $\eta = 0,4$

Převodový poměr $i = 81$

Výstupní moment $M_{k2} = M_c = 272,665 \text{ Nm}$

Výstupní otáčky $n_2 = 5 \text{ ot/min}$

Z daných výstupních hodnot se vypočítají potřebné vstupní hodnoty, podle kterých se vybere vhodný pohon pro naklápění.

Potřebný vstupní moment

$$M_{k1} = \frac{M_{k2}}{i \cdot \eta} = \frac{272,665}{81 \cdot 0,4} = 8,416 \text{ Nm} \quad (7.2.12)$$

Maximální vstupní otáčky

$$n_1 = n_2 \cdot i = 5 \cdot 81 = 405 \frac{\text{ot}}{\text{min}} \quad (7.2.13)$$

Dle vypočtených hodnot se určí z tab. 8 vhodný pohon pro naklápění.

Tabulka 8 Dostupné pohony pro naklápění stolu

Typ	Krouticí moment [Nm]	Otáčky [ot/min]	Brzda [Nm]
MKD041-OH322	2,7	7500	2,2
ACM604V60-2500	1,27	3000	-
AKM31C-ACDNC-00	1,15	6000	-
MPR050-1MCS 06F41-SRMB0	12	400	-
C002F0700ED203U	40	42	-

Jediný dostupný servomotor s brzdou je Rexroth MKD041-OH322, avšak jeho výstupní krouticí moment je menší jak potřebný moment 8,416 Nm. K dispozici je převodovka ALPHA SP75-M1-10E s převodovým poměrem 10, která je s motorem kompatibilní.

Zvolený pohon pro naklápění je servomotor Rexroth MKD041-OH322 s převodovkou ALPHA SP75-M1-10E. Otáčky servomotoru se nastaví tak, aby výstupní otáčky z převodovky byly 400 ot/min.

Krouticí moment motoru $M_{k1m} = 2,7 \text{ Nm}$

Brzdý moment motoru $M_b = 2,2 \text{ Nm}$

Převodový poměr převodovky $i_p = 10$

Účinnost převodovky $\eta_p = 0,97$

Požadované výstupní otáčky z převodovky $n_{2p} = 400 \text{ ot/min}$

Vstupní otáčky (výstupní motoru) do převodovky

$$n_{1p} = i_p \cdot n_{2p} = 10 \cdot 400 = 4000 \frac{\text{ot}}{\text{min}} \quad (7.2.14)$$

Výstupní moment z převodovky

$$M_{k2p} = i_p \cdot \eta_p \cdot M_{k1m} = 10 \cdot 0,97 \cdot 2,7 = 26,19 \text{ Nm} \quad (7.2.15)$$

Výstupní brzdící moment z převodovky

$$M_{b2p} = i_p \cdot \eta_p \cdot M_b = 10 \cdot 0,97 \cdot 2,2 = 21,34 \text{ Nm} \quad (7.2.16)$$

Skutečné naklápěcí otáčky

$$n_{2s} = \frac{n_{2p}}{i} = \frac{400}{81} = 4,938 \frac{\text{ot}}{\text{min}} \quad (7.2.17)$$

$$n_2 \geq n_{2s}$$

$$5 \frac{\text{ot}}{\text{min}} \geq 4,938 \frac{\text{ot}}{\text{min}} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Skutečný moment na výstupu

$$M_{k2s} = i \cdot \eta \cdot M_{k2p} = 81 \cdot 0,4 \cdot 26,19 = 848,556 \text{ Nm} \quad (7.2.18)$$

$$M_{k2s} \geq M_{k2}$$

$$848,556 \text{ Nm} \geq 272,665 \text{ Nm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Navržený pohon vyhovuje.

Volba spojky

Mezi převodovkou a hřídelí se šnekem byla navržena bezvůlová spojka od firmy RULAND MJC51 s čelistmi MJC51-20-A a MJC51-22-A z hliníku 7075 a s polyuretanovou vložkou JD32/51-98R přenášející moment až 31,2 Nm. Spojka může pracovat až do 8000 ot/min a to při teplotách od -23°C až do 82°C. Torzní tuhost polyuretanového členu je 0,035 °/Nm.



Obrázek 34 Spojka RULAND MJC51 [14]

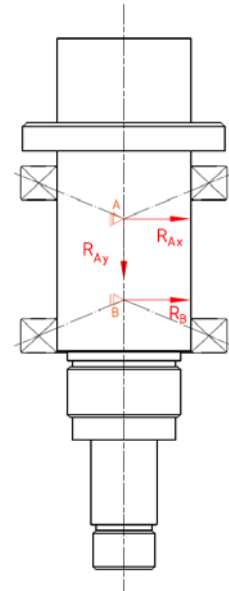
7.3 Kontrola ložisek

Pro kontrolu ložisek bude uvažováno zatížení stolu stejné jako při návrhu pohonů jednotlivých os.

7.3.1 Ložiska osy otáčení

Hřídel otáčející deskou stolu je uložen ve dvou jednořadých kuličkových ložiscích s kosoúhlým stykem typu B7013-E-T-P4S s uspořádáním do X.

Dynamická únosnost ložisek	$C = 39000 \text{ N}$
Požadovaná životnost ložisek	$L_h = 12500 \text{ hod}$
Maximální otáčky	$n = 14,754 \text{ ot/min}$
<u>Kontrola v poloze nenaklopené</u>	
Radiální reakce pro ložisko A	$R_{Ax} = 3732,217 \text{ N}$
Axiální reakce pro ložisko A	$R_{Ay} = 2940,281 \text{ N}$
Radiální reakce pro ložisko B	$R_B = 3193,879 \text{ N}$



Obrázek 35 Reakce v ložiskách osy otáčení v nenaklopeném stavu

Ložisko A

Ekvivalentní zatížení

$$F_e = 0,58 \cdot R_{Ay} + 0,93 \cdot R_{Ax} = 0,58 \cdot 2940,281 + 0,93 \cdot 3732,217 = 5176,324 \text{ N} \quad (7.3.1)$$

Životnost ložiska

$$L_{hA} = \left(\frac{C}{F_e}\right)^p \cdot \frac{1000000}{60 \cdot n} = \left(\frac{39000}{5176,324}\right)^3 \cdot \frac{1000000}{60 \cdot 14,754} = 483134,803 \text{ hod} \quad (7.3.2)$$

$$L_{hA} \geq L_h$$

$$483134,803 \text{ hod} \geq 12500 \text{ hod} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Ložisko B

Ekvivalentní zatížení

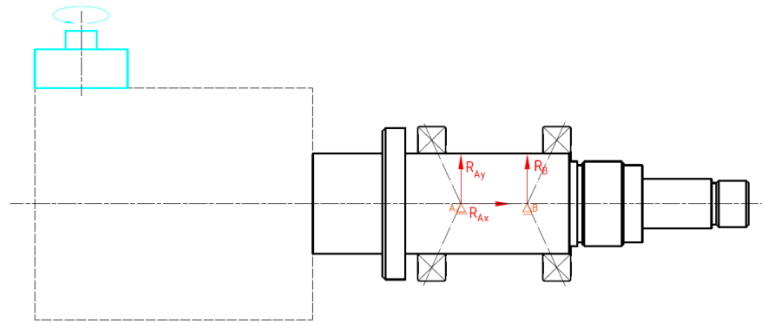
$$F_e = 0,58 \cdot R_B + 0,93 \cdot 0 = 0,58 \cdot 3193,879 + 0,93 \cdot 0 = 1852,45 \text{ N} \quad (7.3.3)$$

Životnost ložiska

$$L_{hB} = \left(\frac{C}{F_e}\right)^p \cdot \frac{1000000}{60 \cdot n} = \left(\frac{39000}{1852,45}\right)^3 \cdot \frac{1000000}{60 \cdot 14,754} = 1,054 \cdot 10^7 \text{ hod} \quad (7.3.4)$$

$$L_{hB} \geq L_h$$

$$1,054 \cdot 10^7 \text{ hod} \geq 12500 \text{ hod} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kontrola v poloze naklonené

Obrázek 36 Reakce v ložiskách osy otáčení v nakloněném stavu

$$\text{Radiální reakce pro ložisko A} \quad R_{Ay} = 9490,83 \text{ N}$$

$$\text{Axiální reakce pro ložisko A} \quad R_{Ax} = 416,578 \text{ N}$$

$$\text{Radiální reakce pro ložisko B} \quad R_B = 7675,194 \text{ N}$$

Ložisko A

Ekvivalentní zatížení

$$F_e = 0,58 \cdot R_{Ay} + 0,93 \cdot R_{Ax} = 0,58 \cdot 9490,83 + 0,93 \cdot 416,578 = 5892,099 \text{ N} \quad (7.3.5)$$

Životnost ložiska

$$L_{hA} = \left(\frac{C}{F_e}\right)^p \cdot \frac{1000000}{60 \cdot n} = \left(\frac{39000}{5892,099}\right)^3 \cdot \frac{1000000}{60 \cdot 14,754} = 327584,035 \text{ hod} \quad (7.3.6)$$

$$L_{hA} \geq L_h$$

$$327584,035 \text{ hod} \geq 12500 \text{ hod} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Ložisko B

Ekvivalentní zatížení

$$F_e = 0,58 \cdot R_B + 0,93 \cdot 0 = 0,58 \cdot 7675,194 + 0,93 \cdot 0 = 4451,613 \text{ N} \quad (7.3.7)$$

Životnost ložiska

$$L_{hB} = \left(\frac{C}{F_e}\right)^p \cdot \frac{1000000}{60 \cdot n} = \left(\frac{39000}{4451,613}\right)^3 \cdot \frac{1000000}{60 \cdot 14,754} = 759592,585 \text{ hod} \quad (7.3.8)$$

$$L_{hB} \geq L_h$$

$$759592,585 \text{ hod} \geq 12500 \text{ hod} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Celkový výpočet kontroly ložisek osy otáčení je umístěn v příloze.

7.3.2 Ložiska osy naklápění

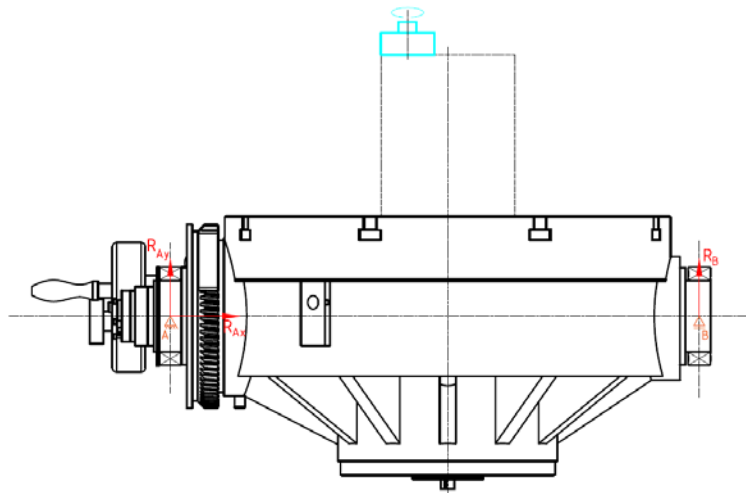
Pro osu naklápění je použita dvojice jehličkových ložisek typu NKI80/25-XL. Ložiska jsou umístěna na čepech stolu.

Dynamická únosnost ložisek $C = 72000 \text{ N}$

Požadovaná životnost ložisek $L_h = 12500 \text{ hod}$

Maximální otáčky $n = 4,938 \text{ ot/min}$

Kontrola v poloze nenaklopené



Obrázek 37 Reakce v ložiskách osy naklápění v nenaklopeném stavu

Radiální reakce pro ložisko A $R_{Ay} = 1751,323 \text{ N}$

Axiální reakce pro ložisko A $R_{Ax} = 416,578 \text{ N}$

Radiální reakce pro ložisko B $R_B = 1857,414 \text{ N}$

Ložisko A

Ekvivalentní zatížení

$$F_e = 1 \cdot R_{Ay} = 1 \cdot 1751,323 = 1751,323 \text{ N} \quad (7.3.9)$$

Životnost ložiska

$$L_{hA} = \left(\frac{C}{F_e}\right)^p \cdot \frac{1000000}{60 \cdot n} = \left(\frac{72000}{1751,323}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{1000000}{60 \cdot 4,938} = 799,475 \cdot 10^6 \text{ hod} \quad (7.3.10)$$

$$L_{hA} \geq L_h$$

$$799,475 \cdot 10^6 \text{ hod} \geq 12500 \text{ hod} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Ložisko B

Ekvivalentní zatížení

$$F_e = 1 \cdot R_B = 1 \cdot 1857,414 = 1857,414 \text{ N} \quad (7.3.11)$$

Životnost ložiska

$$L_{hB} = \left(\frac{C}{F_e}\right)^p \cdot \frac{1000000}{60 \cdot n} = \left(\frac{72000}{1857,414}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{1000000}{60 \cdot 4,938} = 657,28 \cdot 10^6 \text{ hod} \quad (7.3.12)$$

$$L_{hB} \geq L_h$$

$$657,28 \cdot 10^6 \text{ hod} \geq 12500 \text{ hod} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kontrola v poloze naklonené

Radiální reakce pro ložisko A

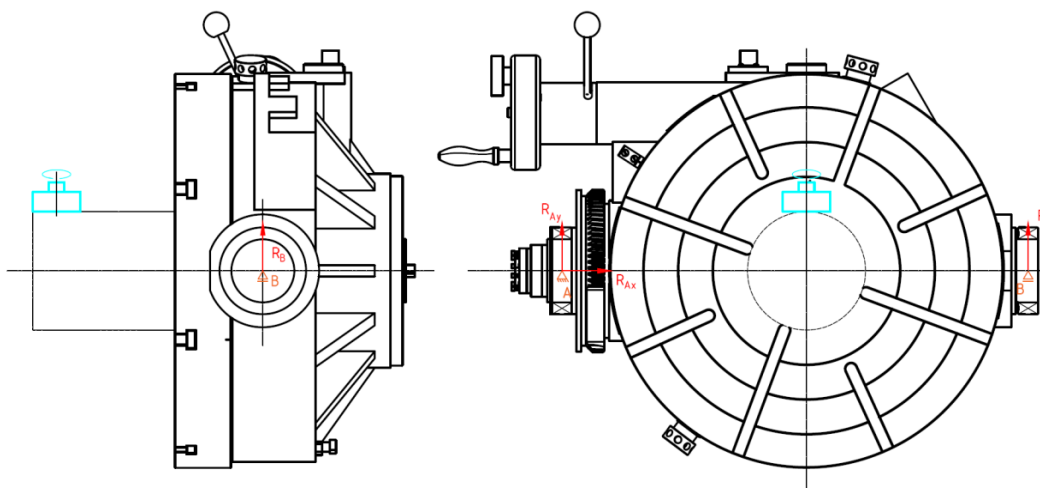
$$R_{Ay} = 2314,839 \text{ N}$$

Axiální reakce pro ložisko A

$$R_{Ax} = 694,296 \text{ N}$$

Radiální reakce pro ložisko B

$$R_B = 1927,236 \text{ N}$$



Obrázek 38 Reakce v ložiskách osy naklápění v nakloněném stavu

Ložisko A

Ekvivalentní zatížení

$$F_e = 1 \cdot R_{Ay} = 1 \cdot 2314,839 = 2314,839 \text{ N} \quad (7.3.13)$$

Životnost ložiska

$$L_{hA} = \left(\frac{C}{F_e}\right)^p \cdot \frac{1000000}{60 \cdot n} = \left(\frac{72000}{2314,839}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{1000000}{60 \cdot 4,938} = 315,763 \cdot 10^6 \text{ hod} \quad (7.3.14)$$

$$L_{hA} \geq L_h$$

$$315,763 \cdot 10^6 \text{ hod} \geq 12500 \text{ hod} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Ložisko B

Ekvivalentní zatížení

$$F_e = 1 \cdot R_B = 1 \cdot 1927,236 = 1927,236 \text{ N} \quad (7.3.15)$$

Životnost ložiska

$$L_{hB} = \left(\frac{C}{F_e}\right)^p \cdot \frac{1000000}{60 \cdot n} = \left(\frac{72000}{1927,236}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{1000000}{60 \cdot 4,938} = 581,28 \cdot 10^6 \text{ hod} \quad (7.3.16)$$

$$L_{hB} \geq L_h$$

$$581,28 \cdot 10^6 \text{ hod} \geq 12500 \text{ hod} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Celkový výpočet kontroly ložisek osy naklápění je umístěn v příloze.

7.4 Odměřování polohy

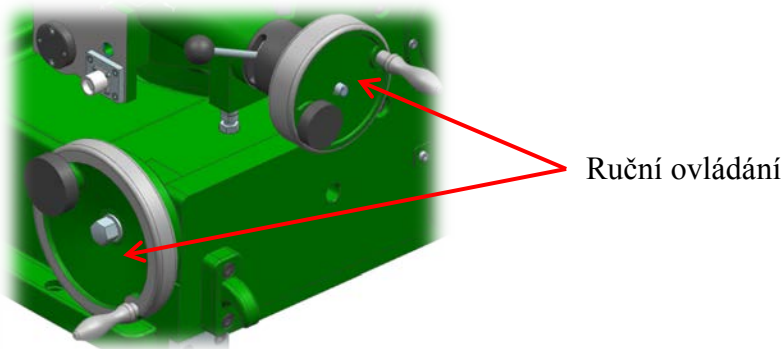
Pro měření polohy a rychlosti otáčení jednotlivých os budou použity inkrementální optické snímače SIGNUM od firmy Renishaw. Pro měření otáčení stolu bude použit snímač Si-NN-0004 s kotoučem o průměru 115 mm s počtem rysek 18000. Snímač pracuje s přesností $\pm 1,94$ úhlových vteřin. Pro měření naklápění bude použit snímač Si-NN-0040 s kotoučem o průměru 57 mm s počtem rysek 9000. Tento snímač pracuje s přesností $\pm 3,91$ úhlových vteřin.



Obrázek 39 Optický snímač SIGNUM

7.5 Konstrukční úpravy stolu

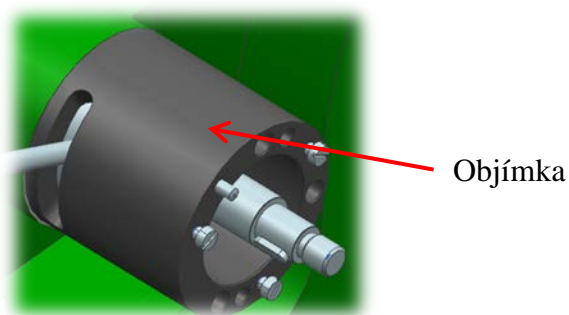
Pro připojení servomotorů ke stolu je nutné navrhnout na stole několik úprav. Nejprve se odstranilo ruční ovládání stolu. Dále byly navrženy úpravy hřídelí pro připevnění spojek. Nakonec se navrhly příruby pro upevnění servomotorů a jejich připevnění k částem stolu. Při návrhu se vycházelo z původní konstrukce stolu.



Obrázek 40 Ruční ovládání stolu

7.5.1 Osa otáčení

Pro upevnění servomotoru INDRAMAT MKD041 se vycházelo z objímky, která je připevněna k naklápěcí části stolu.



Obrázek 41 Objímka stolu

K navržení příruby, byly důležité rozměry objímky, zejména rozmístění, průměr a hloubka děr. Jelikož je zapotřebí přesné polohy děr a běžnými měřidly by bylo obtížné polohu stanovit, proto bylo využito univerzitního 3D laserového měření pomocí přístroje Leica lasertracker.



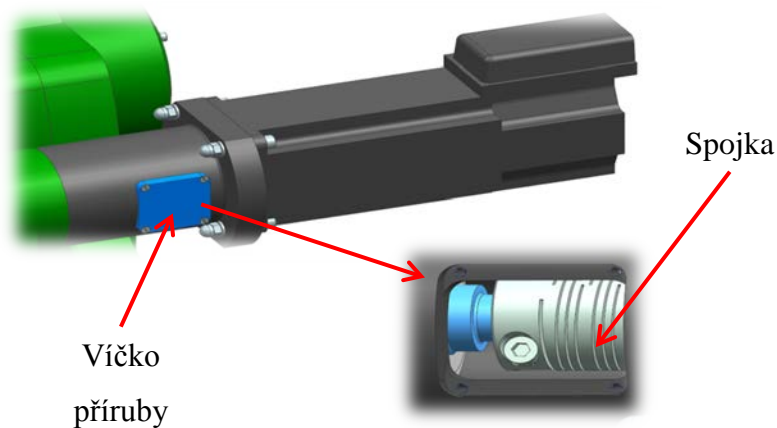
Obrázek 42 Leica lasertracker [19]

Ze změřených rozměrů objímky byla navržena příruba pro servomotor z oceli 11 373. Zanechány byly otvory pro upevnění příruby ke stolu.



Obrázek 43 Navržená příruba pro upnutí servomotoru

K přírubě bude připevněn servomotor pomocí čtyř šroubů DIN 912 a matic DIN 1587.

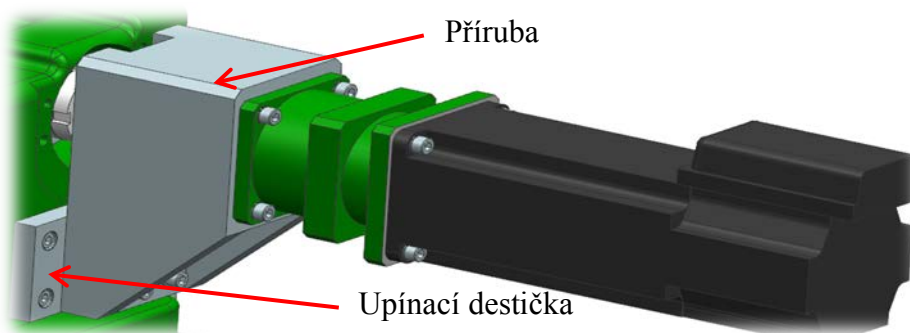


Obrázek 44 Otvor pro dotáhnutí šroubů spojky

Příruba je navržena s otvorem pro dotažení šroubů spojky servomotoru. Otvor bude zakrytován víčkem z ABS, které je možné vytisknout na 3D tiskárně.

7.5.2 Osa Naklápění

Servomotor Rexroth MKD041 s převodovkou ALPHA bude přišroubován k přírubě která je k základně stolu upnuta přes upínací destičku.



Obrázek 45 Upevnění servomotoru pro naklápění

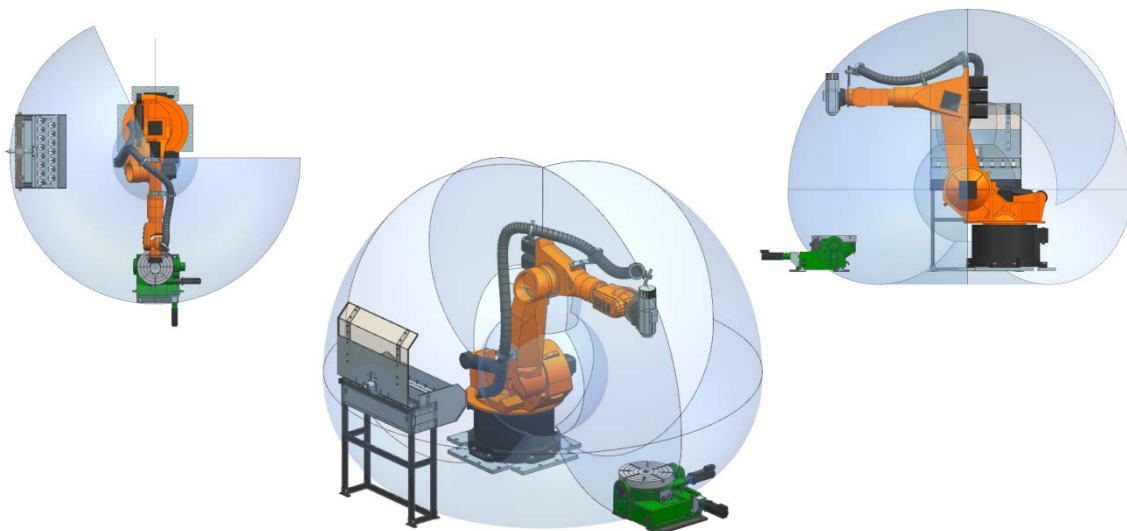
8. NÁVRH PRACOVIŠTĚ

Nejprve je třeba si stanovit jaké prvky, či zařízení bude robotické pracoviště obsahovat. Patří mezi ně:

- Robot
- Řídicí jednotka robota
- Příruba pro vřeteno
- Vřeteno
- Polohovací stůl
- Zásobník nástrojů
- Ochranné oplocení
- Bezpečnostní a výstražné prvky

8.1 Rozmístění prvků potřebných pro obrábění

Nejdůležitějším prvkem pracoviště je samotný robot. Manipuluje s vřetenem, přesouvá ho k zásobníku nástrojů, díky tomu je možná výměna nástroje. Dále vykonává s vřetenem veškeré obráběcí pohyby. Z těchto důvodů je nutné, aby byly prvky, které jsou nutné pro obrábění umístěny v pracovním prostoru robota. V pracovním prostoru robota se musí vyskytovat upínací plocha polohovacího stolu a zásobník nástrojů umístěn takovým způsobem, aby bylo umožněno jednoduchého vyjetí vřetena s nástrojem. Pro dosažení požadavků, bude nejvhodnější tyto prvky umístit do prostoru pohybu ruky robota viz obr. 46 a vyhnout se jejich umístění do prostoru maximálního pohybu zápěstí, kde pohyby robota jsou již skoro limitní.

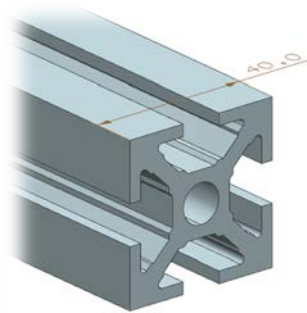


Obrázek 46 Umístění prvků sestavy v pracovní oblasti ruky robota

Bylo navrženo umístění polohovacího stolu a zásobníku nástrojů v pracovním prostoru ruky robota. Osa otáčení polohovacího stolu je v jedné rovině s osou robota 1. Výměník je umístěn na boku robota v takové poloze, aby byla možná snadná výměna nástroje.

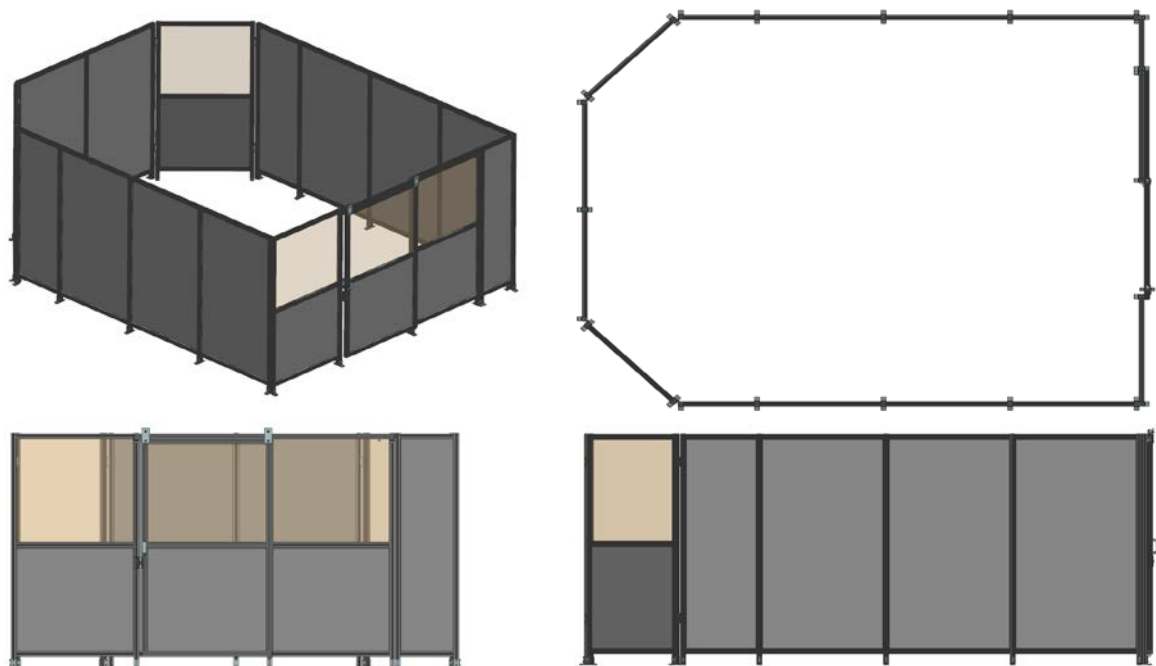
8.2 Ochranné oplocení

Kolem robota, polohovacího stolu a zásobníku nástrojů bylo navrženo ochranné oplocení z hliníkových profilů od firmy MK Technology Group s výplní z ocelových plechů tloušťky 1,5 mm. Plechová výplň oplocení byla zvolena z důvodu odletující třísky při obrábění.



Obrázek 47 Hliníkový profil mk 2040.40

Ochranné oplocení vymezuje vnitřní prostor pracoviště. Jeho tvar byl zvolen tak, že kolem zadní části, kde se nachází pouze robot, se pracoviště zužuje a v oblasti kde je umístěn polohovací stůl a zásobník nástrojů je rozšířeno až ke vstupu do pracoviště.



Obrázek 48 Navržené oplocení pracoviště

Oplocení se skládá z jednotlivých panelů. Až na pár výjimek je většina panelů širokých 1m s plechovou výplní, která je v drážkách hliníkových profilů uchycena pomocí pryžových proužků. Panely jsou uspořádány v ekonomickém provedení, to znamená, že jeden sloupek spadá pod dva panely. Jediná výjimka je v čele pracoviště, kde jsou některé sloupky zdvojeny. Toto zdvojení je provedeno kvůli vyztužení konstrukce, jelikož přední panely nesou posuvné dveře. Šikmo uložené panely a některé přední panely jsou rozděleny na dvě části příčkou. Jednak to má vyztužující účinek a dále do horní části panelů jsou vloženy průhledné polykarbonové desky tloušťky 4 mm sloužící jako okna pro vizuální kontrolu pracoviště. Jednotlivé příčky jsou připevněny ke sloupkům pomocí spojovacího prvku B51.03.050 viz obr. 50.

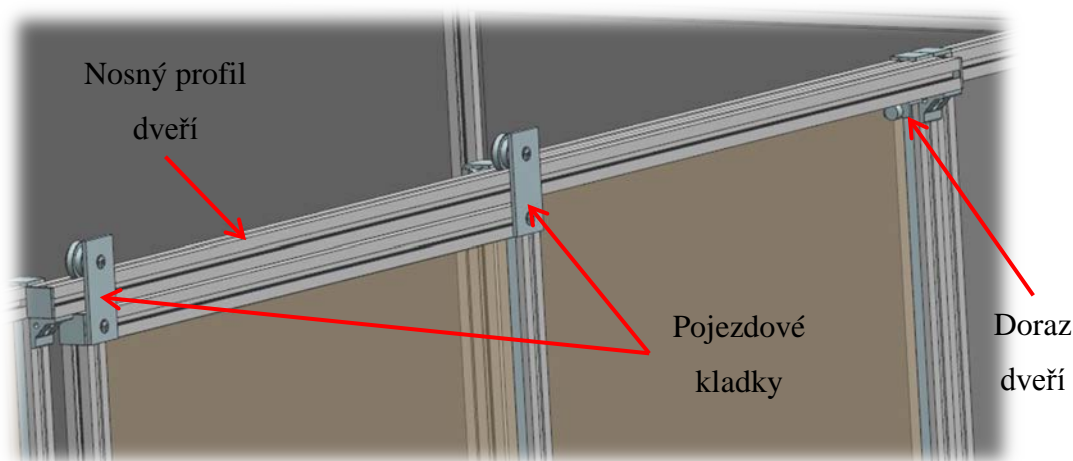


Obrázek 50 Spojovací prvek B51.03.050 [20]

	Force-bearing capacity	1200 N
	Moment of resistance	40 Nm
	Moment of torsional resistance	5 Nm
	Subsequent shifting	yes

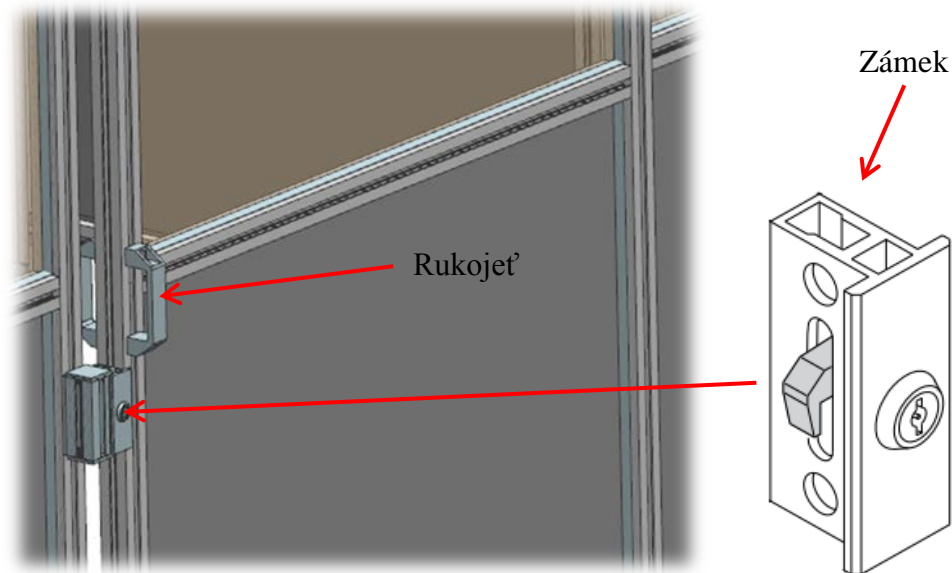
Obrázek 49 Přenositelné zatížení spojovacího prvku [20]

Pro vstup do pracoviště byly zvoleny posuvné dveře. Pojezdová kladka dveří je vedena a nesena hliníkovým profilem připevněným k čelnímu oplocení.



Obrázek 51 Posuvné dveře

Na konci pojezdu dveří je upevněn dveřní doraz pro zastavení dveří a zabránění sjetí dveří z profilu. Dveře jsou dále vybaveny rukojetí pro posuv dveří a zámkem dveří.



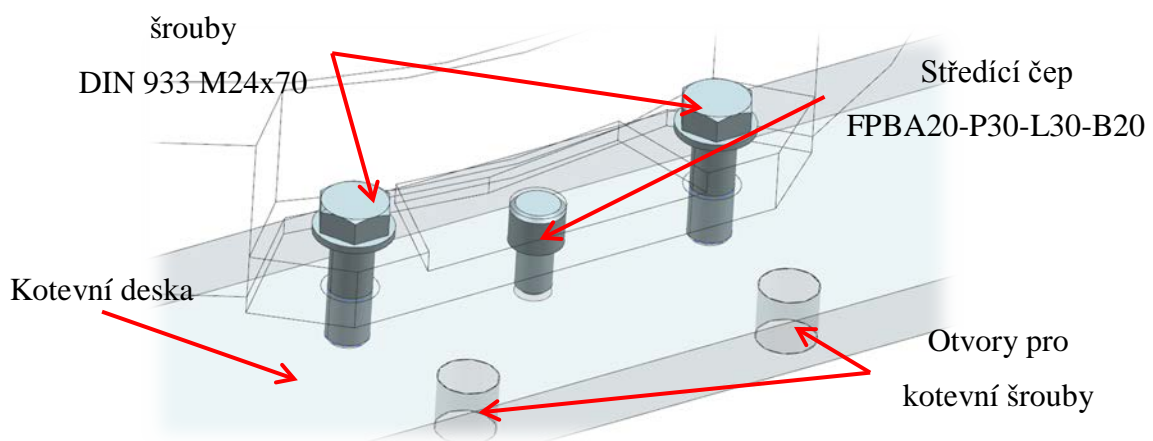
Obrázek 52 Zámek dveří [20]

8.3 Kotvení pracoviště

Kotvení jednotlivých prvků pracoviště jako je robot, polohovací stůl, zásobník nástrojů a oplocení je nutné z bezpečnostního důvodu ukotvit k podlaze pracoviště. Je uvažováno pracoviště s betonovou podlahou.

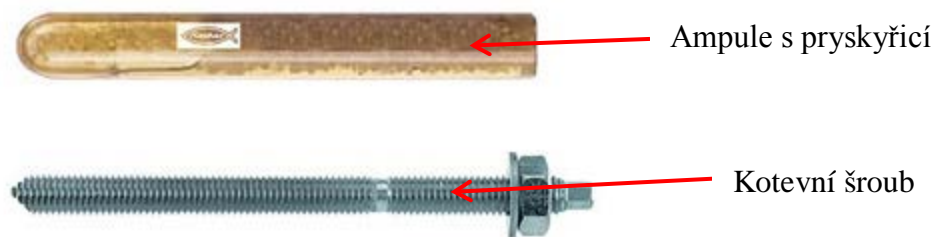
8.3.1 Kotvení robota

Kotvení robota je navrženo dle doporučení výrobce robota. Základna robota je přišroubována pomocí šroubů DIN 933 M24x70 ke čtyřem kotevním deskám o rozměru 645x200 mm. Tyto desky jsou ukotveny předtím, než se k nim připevní robot. Robot je na deskách vystředěn pomocí středících čepů FPBA20-P30-L30-B20 viz obr. 53.



Obrázek 53 Kotvení robota

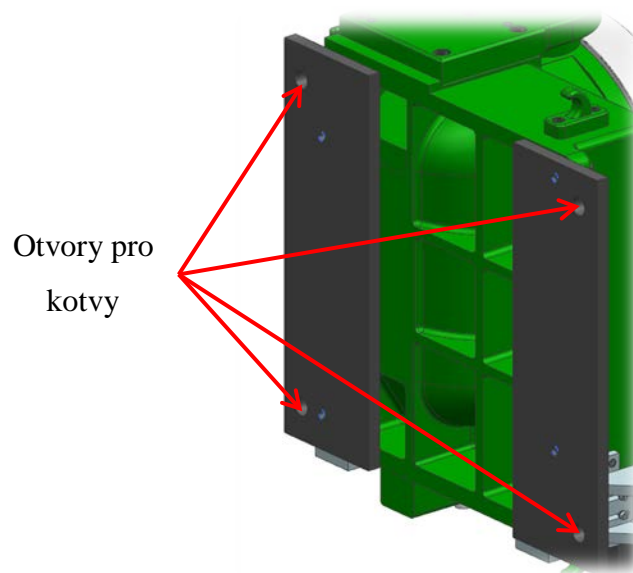
Pro ukotvení kotevních desek robota budou použity chemické kotvy. Chemická kotva se skládá z kotevního šroubu RG M30x380 a ampulí RM30/280 s vinylesterovou pryskyřicí a tvrdící přísadou. Po vyvrtání díry do betonu se zasune ampule s pryskyřicí do díry. Při montáži kotevního šroubu se ampule rozbije kotevním šroubem, smísí se a aktivuje. Pryskyřice přilne ke kotevnímu šroubu a spojí jej se stěnou díry. Při montáži je nutné dotáhnout matici šroubu utahovacím momentem 300 Nm. Celkový počet použitých chemických kotev pro ukotvení robota je 16.



Obrázek 54 Chemické kotvení [22]

8.3.2 Kotvení polohovacího stolu

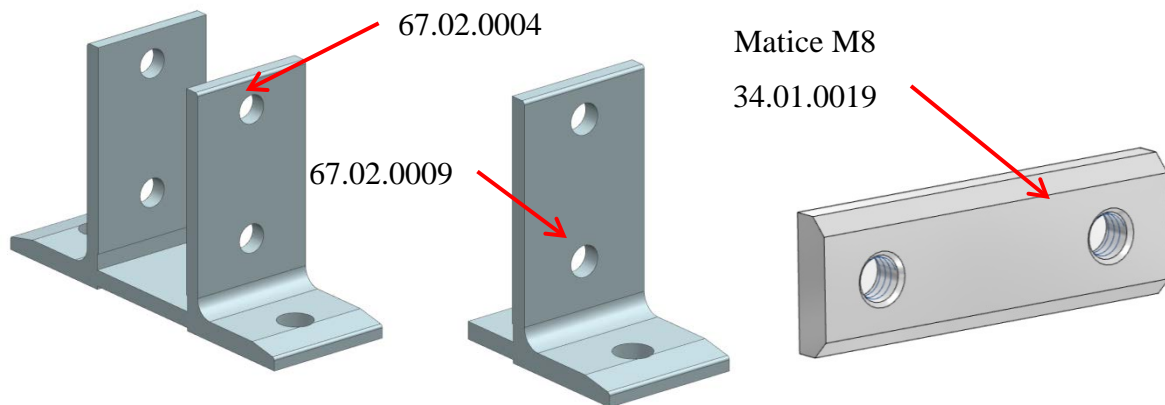
Pro kotvení polohovacího stolu bude použit stejný způsob jako u kotvení robota, a to použitím chemické kotvy. Stůl bude upevněn ke dvěma kotvicím deskám pomocí šroubů DIN 912 M14x40. Desky budou ukotveny pomocí kotvicích šroubů RG M24x300 a ampulí s pryskyřicí RM 24/210. Po montáži je nutné dotáhnout matici šroubu utahovacím momentem 150 Nm. Celkový počet chemických kotev pro ukotvení stolu je 4.



Obrázek 55 Kotvení polohovacího stolu

8.3.3 Kotvení oplocení a zásobníku

Oplocení a zásobník nástrojů je složen z hliníkových profilů, ke kterým jejich výrobce doporučuje vlastní kotevní příruby 67.02.0004 a 67.02.0009, proto jsou pro návrh použity. Příruby se zasunou do profilu a šrouby DIN 933 M8x16 se přes přírubu zašroubují do matice M8 34.01.0019 zasunutou v drážce profilu a sevřou tak profil s přírubou k sobě.



Obrázek 56 Kotevní příruby oplocení

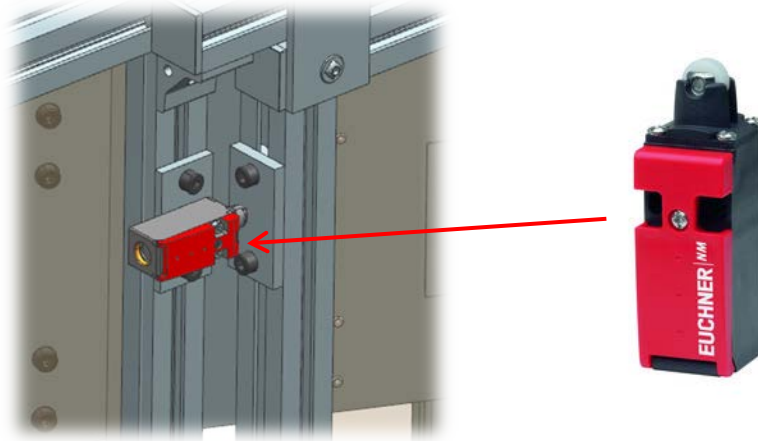
Kotevní příruby se kotví do betonu. Pro kotvení je navržena průvleková kotva HST M8x75 doporučená výrobcem kotevních přírub. Tato kotva má vysokou únosnost a je vhodná i k použití do popraskaného betonu. Po montáži je nutné dotáhnout matici kotvy utahovacím momentem 10 Nm. Počet kotev pro kotvení oplocení je 40. Potřebný počet kotev pro ukotvení zásobníku je 6.



Obrázek 57 Průvleková kotva [21]

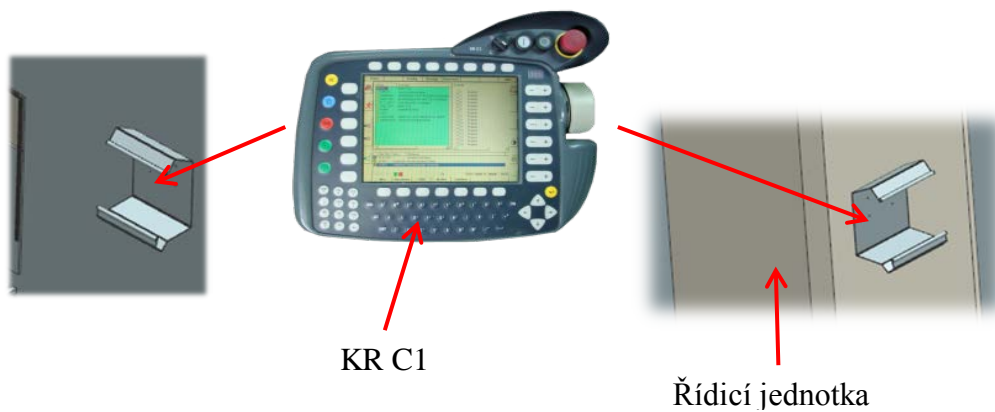
8.4 Bezpečnostní prvky

Pro ochranu obsluhy před odletující třískou, ale hlavně před pohybem robota bylo pracoviště navrženo jako uzavřené s plechovou výplní panelů oplocení. Obrábění bude probíhat pouze, pokud bude pracoviště uzavřené (zavřené dveře). Pro kontrolu uzavřených dveří byl zvolen koncový spínač NM.RB-C2069 od firmy EUCHNER viz obr. 58 [23]. Při jeho rozepnutí se pracovní proces zastaví.



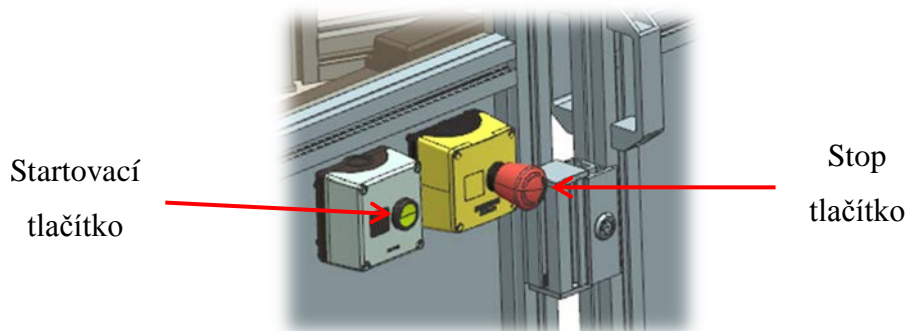
Obrázek 58 Koncový spínač NM.RB-C2069 [23]

Nastavení programu obrábění bude prováděno přes ovládací panel robota KR C1 viz obr. 59. Pro ovládací panel pracoviště obsahuje dva držáky, jeden na řídicí jednotce a druhý uvnitř pracoviště.



Obrázek 59 Umístění ovládacího panelu [24]

Po nastavení programu se budou muset uzavřít dveře pracoviště a program se bude spouštět přes startovací tlačítko propojené s řídicí jednotkou, umístěné zvenčí u vchodu do pracoviště.



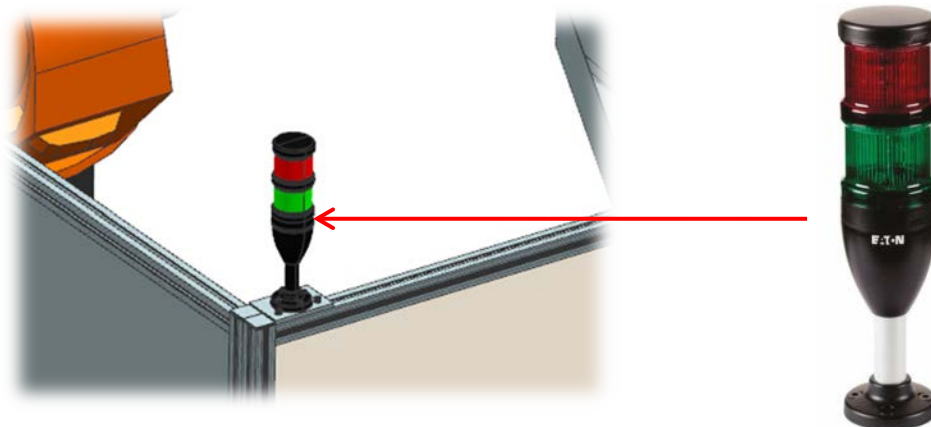
Obrázek 60 Ovládací tlačítka u vchodu do pracoviště

V případě zpozorování výskytu problému obsluhou a nutnosti zastavení veškerých operací, jsou kromě stop tlačítka na ovládacím panelu další dvě umístěné zvenčí pracoviště. Jedno v blízkosti dveří viz obr. 60, druhé je umístěno v blízkosti řídicí jednotky na spodní části panelu pod polykarbonovým oknem viz obr. 61.



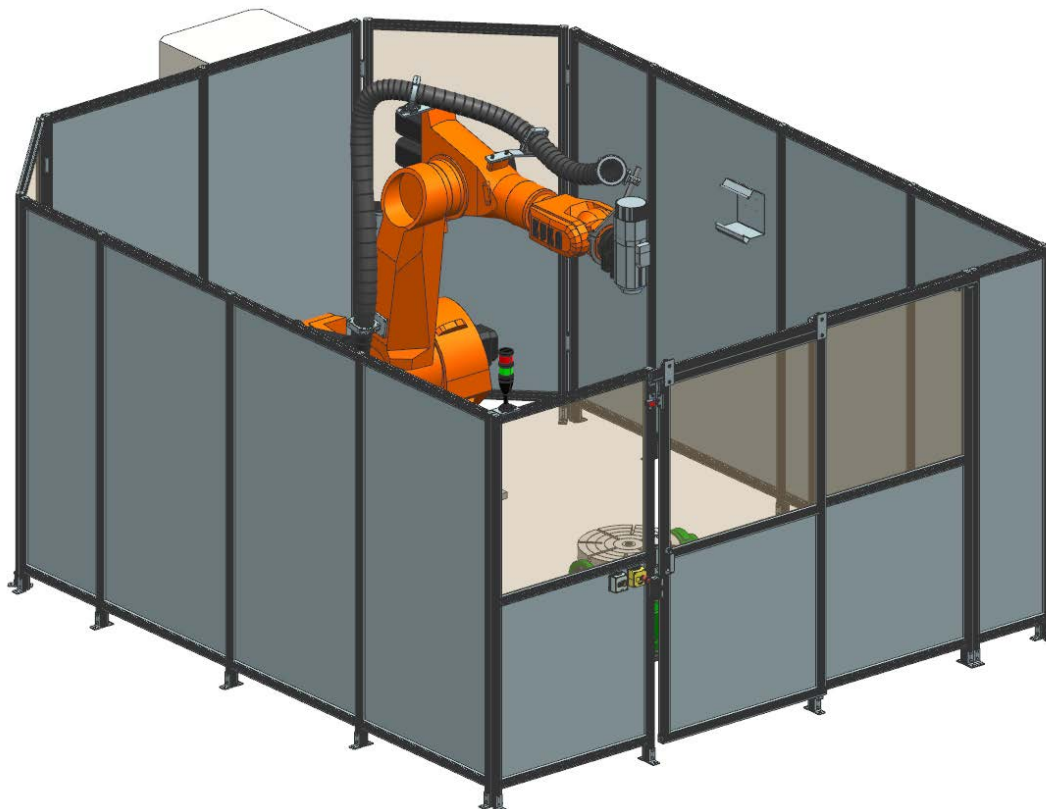
Obrázek 61 Stop tlačítko

Jako signalizace pro kontrolu z dálky zda robot stále pracuje, nebo již svůj proces dokončil, byl zvolen věžový maják SL7-100-L-RG-24LED od firmy Eaton viz obr. 62. Červená barva čočky bude znázorňovat probíhající proces, zelená neprobíhající. Při rozsvícení zelené barvy majáku bude možné bezpečně vejít do pracoviště, bez přerušení pracujícího robota.

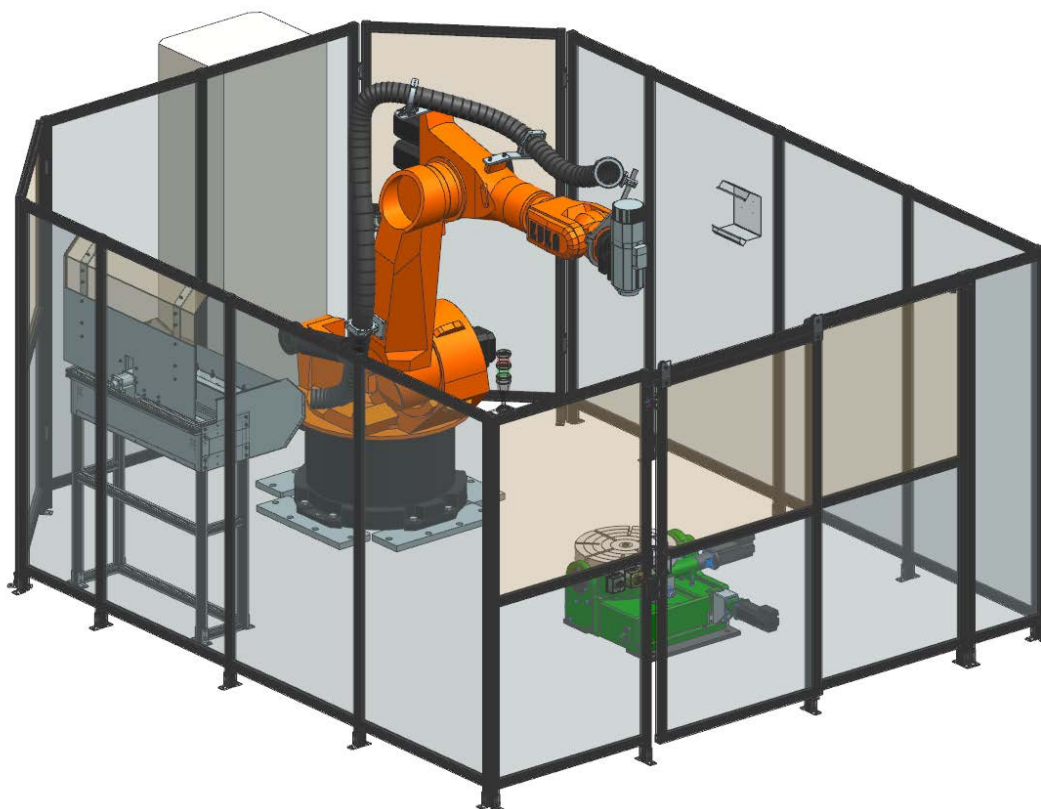


Obrázek 62 Věžový maják SL7-100-L-RG-24LED [25]

8.5 Finální podoba pracoviště



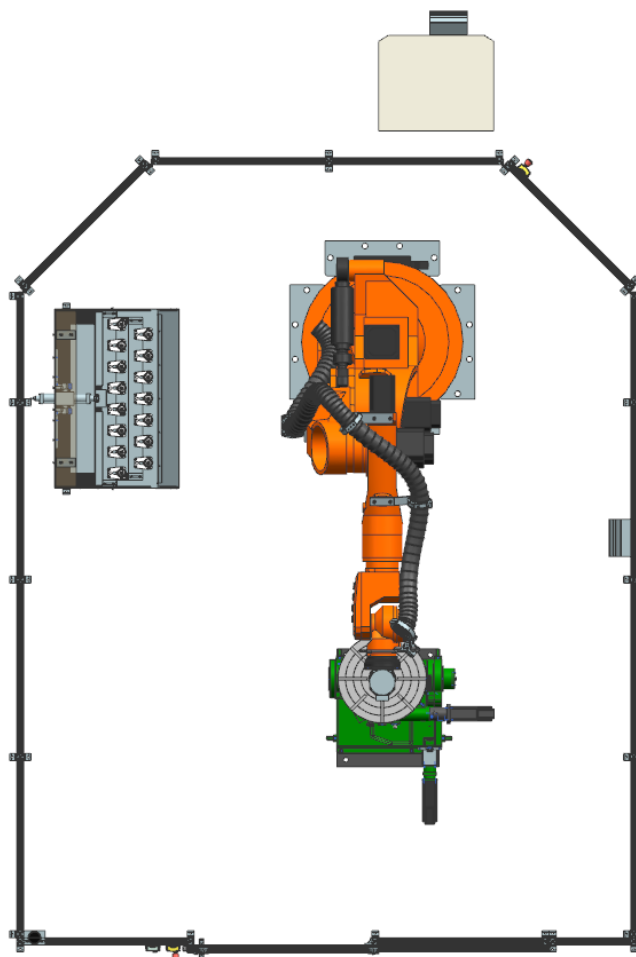
Obrázek 63 Přední pohled na pracoviště



Obrázek 64 Přední pohled na pracoviště (průhledné oplocení)



Obrázek 65 Zadní pohled na pracoviště (průhledné oplacení)



Obrázek 66 Pohled na pracoviště z vrchu

9. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout robotické pracoviště. Navrhnout či zvolit jednotlivé prvky pracoviště včetně jejich rozmístění a vytvoření výkresové dokumentace pracoviště a zvolených uzlů.

V práci byly nejdříve navrženy jednotlivé možné koncepce pracoviště, z nichž byla zvolena koncepce s jedním obráběcím robotem. Také byly určeny obráběcí síly. Podle výsledných obráběcích sil bylo zvoleno vhodné vřeteno pro robotické pracoviště. Dále bylo navrženo upnutí vřetena přes přírubu k robotu a navržení zásobníku nástrojů. V zásobníku bylo navrženo rozmístění nástrojů a upínání, jeho automatické otevírání a krytování.

Jednou z hlavních částí práce byl návrh úpravy ručního polohovacího stolu na stůl automatizovaný, který bude použit jako upínací stůl v robotickém pracovišti. Nejprve bylo zapotřebí stůl rozebrat, zjistit co obsahuje za díly a ty přeměřit a vymodelovat v CAD programu NX10, popřípadě vyhledat jednalo-li se o normalizované díly. Poté se navrhly pohony pro jednotlivé osy a provedli se pro ně kontrolní výpočty. Dále se zkontrolovala ložiska stolu z hlediska únosnosti. Dalším krokem bylo navržení úprav stolu, či způsobu upnutí a spojení navržených pohonů s hřídeli ovládající jednotlivé osy.

Závěrečnou částí práce bylo navrhnout zbylé části pracoviště jako oplocení a bezpečnostní prvky. Dále rozmístění jednotlivých součástí na pracovišti a jejich ukotvení k podlaze pracoviště.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra 1*. Praha: ComputerPress, 1999
- [2] STANĚK, J., NĚMEJC, J. *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací*. Plzeň: ZČU, 2005
- [3] KÁRNÍK, L. *RTP - navrhování a praktické aplikace: studijní opora* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2016-09-28]. ISBN 978-80-248-2725-4.
- [4] Podkladové materiály k předmětu: Základy robotiky (KKS/ZRO)
- [5] KOHOUT, L. Edumat.cz. *Roboty a Manipulátory. Presentace*. [online]. 2008 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: http://www.edumat.cz/texty/Roboty_manipulatory.pdf
- [6] ŠVĚDA, J., SMOLÍK, J. *Obráběcí stroje a technologie na EMO Milano 2009: Nové kinematické struktury strojů* [online]. , 81-84 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: http://www.czspos.cz/akce/20100225.emo2009/11_nove_kinematicke_struktury_stroj_u.pdf
- [7] Robotic News. *ABB JOKAB SAFETY Develops Quick-Guard Modular Safety Fencing, Configurable to a Variety of Industrial Applications* [online]. 2013 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-News/ABB-JOKAB-SAFETY-Develops-Quick-Guard-Modular-Safety-Fencing-Configurable-to-a-Variety-of-Industrial-Applications/content_id/4206
- [8] DirectIndustry. *FANUC Europe Corporation*. [online]. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/fanuc-europe-corporation/product-32007-1807526.html>
- [9] UWB Racing Team Pilsen. *Nový člen týmu!*. In: *Youtube* [online]. 3. 3. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Bc2BxG2UAvA>
- [10] HSD MECHATRONICS. *ES929 – H6161H0824*. [online]. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: http://www.hsdusa.com/viewdoc.asp?co_id=46
- [11] TOS Znojmo, a.s.. *šnekové převodovky*. [online]. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.tos-znojmo.cz/produkce/mrt/cz/ucinnost.htm>

- [12] eBay. *Indramat-Rexroth-MKD041B-144-KG0-Permanent-Magnet-Motor*. [online]. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: https://www.picclickimg.com/d/1400/pict/262430351201_/Indramat-Rexroth-MKD041B-144-KG0-Permanent-Magnet-Motor.jpg
- [13] Ruland. *FCMR32-14-14-A, 14mm x 14mm Six Beam Coupling, Aliminium*. [online]. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.ruland.com/shaft-coupling.php?recordID=FCMR32-14-14-A>
- [14] Ruland. *Jaw Coupling: Inch and Metric Dimensions*. [online]. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: http://www.ruland.com/ps_couplings_jaw_hub.asp
- [15] i-Bazar.cz. *ISO 30 Tool Forks ATC Gripper Fingers Plastic Tool Holder F*. [online]. 2016 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://inzerat.i-bazar.cz/3007688-iso-30-tool-forks-atc-gripper-fingers-plastic-tool-holder-f/>
- [16] Katalogové listy společnosti phd
- [17] igus®. *trifles® R Multi-Axis Cable Carrier for Robotic Applications Home*. [online]. 2016 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: http://www.igus.com/wpck/4536/robots_home
- [18] HSD MECHATRONICS. *660_5530h0089*. [online]. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: http://www.hsdusa.com/bo/allegati/Files/660_5530h0089_rev02__es929_i30_nc_ds_v.pdf
- [19] Futuramic Tool & Engineering. *New Addition: Leica Absolute Tracker AT-901LR T-Probe Systém*. [online]. 2013 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://futuramic.com/new-addition-leica-absolute-tracker-at-901lr-t-probe-system/>
- [20] Katalogové listy společnosti mk®
- [21] Hilti Czech republic. *HST – Expanzní kotvy*. [online]. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <https://www.hilti.cz/kotevn%C3%AD-technika/expanzn%C3%AD-kotvy/r1115#nav/close>
- [22] RJ Fixing. *Discher Resin sapsule R*. [online]. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.rjfixings.com/products/chemical-anchors/fischer-resin-capsule-r/>
- [23] Euchner. *Spínače NM*. [online]. 2010 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.euchner.cz/produkty/bezpecnost/bezpecnostni-spinace/nm/>

- [24] American PLC. *Kuka KR Series Servo drives and controller*. [online]. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.americanplc.com/servo/servo-drive-servo-controller/kuka/kr-series.html>
- [25] Eaton. *SL7-100-L-RG-24LED. Věžový maják LED 2 světelné prvky barva Červená/zelená 24 V AC/DC SL7*. [online]. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://cz.rs-online.com/web/p/predem-konfigurovane-vezove-majaky/8183973/?sra=pmpn>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Obráběcí centrum Metrom P1000 [6].....	5
Obrázek 2 Robot s paralelní kinematikou [8]	5
Obrázek 3 Robotické pracoviště [7].....	6
Obrázek 4 Dosavadní obrábění robotem Stäubli RX130 [9]	7
Obrázek 5 Řídicí jednotka robota.....	7
Obrázek 6 Robot KUKA KR 125/2	7
Obrázek 7 Pracovní prostor robota.....	8
Obrázek 8 Ruční polohovací stůl ABAWERK	9
Obrázek 9 Návrh pracoviště s jedním obráběcím robotem	9
Obrázek 10 Návrh pracoviště se dvěma obráběcími roboty	10
Obrázek 11 Návrh pracoviště s jedním obráběcím robotem a jedním manipulačním	11
Obrázek 12 Finální návrh pracoviště.....	12
Obrázek 13 Vřeteno 2AP71-2S	15
Obrázek 14 Vřeteno ES929-H616H0824 [10]	15
Obrázek 15 Umístění energetický řetězu na robotu	16
Obrázek 16 Výkres upevňovací příruby vřetena [18]	16
Obrázek 17 Navržená příruba pro upnutí vřetena	17
Obrázek 18 Řez přírubou s upnutým vřetenem.....	17
Obrázek 19 Pohyb při uchopení pouzdra vřetenem	18
Obrázek 20 Upínací elementy pouzder ISO30 [15]	18
Obrázek 21 Rozmístění pouzder v zásobníku	19
Obrázek 22 Pneumatický válec RC25A590-P-B-A1 [16]	19
Obrázek 23 Navržený zásobník nástrojů.....	20
Obrázek 24 Pohyb vřetena při vyjetí ze zásobníku	20

Obrázek 25 Polohovací stůl při rozebírání.....	21
Obrázek 26 Přemodelovaný polohovací stůl.....	22
Obrázek 27 Zatížení při otáčení stolu.....	23
Obrázek 28 Řez komponentami umožňujícími otáčení	24
Obrázek 29 Servomotor INDRAMAT MKD041 [12].....	26
Obrázek 30 Spojka RULAND FCMR32-14-14-A [13].....	27
Obrázek 31 Zatížení při naklápění stolu.....	27
Obrázek 32 Zatížení klopným momentem o tíhy břemena	28
Obrázek 33 Řez komponentami umožňujícími naklápění	29
Obrázek 34 Spojka RULAND MJC51 [14]	31
Obrázek 35 Reakce v ložiskách osy otáčení v nenaklopeném stavu.....	32
Obrázek 36 Reakce v ložiskách osy otáčení v naklopeném stavu	33
Obrázek 37 Reakce v ložiskách osy naklápění v nenaklopeném stavu.....	34
Obrázek 38 Reakce v ložiskách osy naklápění v naklopeném stavu	35
Obrázek 39 Optický snímač SIGNUM	36
Obrázek 40 Ruční ovládání stolu	37
Obrázek 41 Objímka stolu.....	37
Obrázek 42 Leica lasertracker [19]	37
Obrázek 43 Navržená příruba pro upnutí servomotoru.....	38
Obrázek 44 Otvor pro dotáhnutí šroubů spojky	38
Obrázek 45 Upevnění servomotoru pro naklápění.....	38
Obrázek 46 Umístění prvků sestavy v pracovní oblasti ruky robota	39
Obrázek 47 Hliníkový profil mk 2040.40	40
Obrázek 48 Navržené oplocení pracoviště.....	40
Obrázek 49 Přenositelné zatížení spojovacího prvku [20].....	41
Obrázek 50 Spojovací prvek B51.03.050 [20].....	41
Obrázek 51 Posuvné dveře	41
Obrázek 52 Zámek dveří [20]	42
Obrázek 53 Kotvení robota	42
Obrázek 54 Chemické kotvení [22].....	43
Obrázek 55 Kotvení polohovacího stolu.....	43
Obrázek 56 Kotevní příruby oplocení	44
Obrázek 57 Průvleková kotva [21].....	44
Obrázek 58 Koncový spínač NM.RB-C2069 [23]	45

Obrázek 59 Umístění ovládacího panelu [24].....	45
Obrázek 60 Ovládací tlačítka u vchodu do pracoviště.....	45
Obrázek 61 Stop tlačítko.....	46
Obrázek 62 Věžový maják SL7-100-L-RG-24LED [25].....	46
Obrázek 63 Přední pohled na pracoviště.....	47
Obrázek 64 Přední pohled na pracoviště (průhledné oplocení).....	47
Obrázek 65 Zadní pohled na pracoviště (průhledné oplocení).....	48
Obrázek 66 Pohled na pracoviště z vrchu.....	48

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Parametry robota.....	8
Tabulka 2 Parametry vřetena.....	15
Tabulka 3 Dané parametry stolu.....	22
Tabulka 4 Zvolené parametry stolu.....	22
Tabulka 5 Uvažované setrvačné momenty pro otáčení stolu.....	24
Tabulka 6 Dostupné pohony pro otáčení stolu.....	26
Tabulka 7 Uvažované setrvačné momenty pro naklápění stolu.....	28
Tabulka 8 Dostupné pohony pro naklápění stolu.....	30

SEZNAM PŘÍLOH

Výpočet automatizovaného polohovacího stolu

VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

Výkres sestavy robotického pracoviště	0-000
Výkres sestavy otočného stolu	2-000
Výkres příruby upevnění k robotu	4-001
Výkres příruby pro upevnění vřetena	4-002

PŘÍLOHA č. 1

Výpočet automatizovaného polohovacího stolu

Výpočty polohovacího stolu

Zvolený materiál pro obrábění - konstrukční ocel 11 600

1 Výpočet obráběcích sil

Zvolený nástroj SANDVIK čelní rohová fréza R390-020C3-11L050

Zvolené hodnoty

Průměr frézy $D_v := 20 \text{ mm}$

Řezná rychlost $v_c := 150 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

Posuv na zub $f_z := 0.08 \text{ mm}$

Počet zubů $z_n := 4$

Šířka řezu $a_e := 16 \text{ mm}$

Hloubka řezu $a_p := 3 \text{ mm}$

Měrný řezný odpor

Tloušťka třísky $h := 0.2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0.2 \text{ mm}$

Měrná řezná síla $k_{c1} := 1700 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Nátůst řezné řezné síly $m_c := 0.25$

Úhel sklonu břitové destičky $\gamma_o := 21$

Měrný řezný odpor $k_c := k_{c1} \cdot h^{-m_c} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_o}{100}\right) = 2008.253 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Vypočtená hodnoty

Otáčky vřetene $n := \frac{v_c}{\pi \cdot D_v} = 2387.324 \frac{1}{\text{min}}$

Posuvová rychlost $v_s := z_n \cdot n \cdot f_z = 0.764 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

Potřebný výkon vřete $P_c := a_p \cdot a_e \cdot v_s \cdot k_c = 1.227 \text{ kW}$

Potřebný moment vřetene $M_c := \frac{P_c}{2 \cdot \pi \cdot n} = 4.909 \text{ N} \cdot \text{m}$

Obvodová řezná síla $F_o := \frac{2 \cdot M_c}{D_v} = 490.942 \text{ N}$

Radiální složka síly $F_r := 0.8 \cdot F_o = 392.753 \text{ N}$

Axiální složka síly $F_a := 0.6 \cdot F_o = 294.565 \text{ N}$

2 Výpočet otáčení desky slotu

2.1 Dané hodnoty

Hmotnost obrobku

$$m_o := 100 \text{ kg}$$

Průměr obrobku

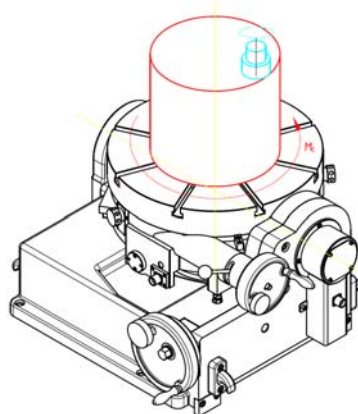
$$d_o := 300 \text{ mm}$$

Výška obrobku

$$h_o := 180 \text{ mm}$$

Výstupní otáčky

$$n_2 := 15 \frac{1}{\text{min}}$$



Obrázek 1 Zatížení při otáčení stolu

2.2 Vypočtené hodnoty

Momenty setrvačnosti

J_o	J_d	J_h
$(\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	$(\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	$(\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$
1125000	2040700.136	3258.373

J_o - M. s. obrobku

J_d - M. s. desky stolu

J_h - M. s. hřídele

Celkový moment setrvačnosti $J_c := J_o + J_d + J_h = 3168958.509 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$

2.2.1 Výpočet krouticích momentů

Moment vzniklý od řezného procesu $M_s := F_o \cdot \frac{d_o}{2} = 73.641 \text{ N} \cdot \text{m}$

Moment od zrychlení stolu (otáčení o +/- 180°)

Doba jedné otáčky $t_1 := \frac{1}{n_2} = 4 \text{ s}$

Doba půlotáčky $t_2 := \frac{t_1}{2} = 2 \text{ s}$

Úhlová rychlost $\omega := 2 \cdot \pi \cdot n_2 = 1.571 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

Úhlové zrychlení $\alpha := \frac{\omega}{t_2} = 0.785 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$

Moment od zrychlení $M_J := J_c \cdot \alpha = 2.489 \text{ N} \cdot \text{m}$

Celkový krouticí moment $M_c := M_J + M_s = 76.13 \text{ N} \cdot \text{m}$

2.2.2 Určení pohonu otáčení desky stolu

Výstup

Převod šnek - šnekové kolo

Účinnost převodu $\eta := 0.4$

Převodový poměr $i := 183$

Moment na výstupu $M_{k2} := M_c = 76.13 \text{ N} \cdot \text{m}$

Otáčky na výstupu $n_2 = 15 \frac{1}{\text{min}}$

Vstup

Vstupní moment $M_{k1} := \frac{M_{k2}}{i \cdot \eta} = 1.04 \text{ N} \cdot \text{m}$

Vstupní otáčky $n_1 := n_2 \cdot i = 2745 \frac{1}{\text{min}}$

2.3 Kontrola samosvornosti převodu

Aby převod vyhovoval musí být statická účinnost menší jak η_s .

Statická účinnost převodu $\eta_s := 50 \%$

Úhel stoupání šneku $\gamma := 4^\circ$

Součinitel tření (ocel litina) $\mu_z := 0.3$

$$\eta_{s1} := \frac{\tan(\gamma)}{\tan(\gamma + \arctan(\mu_z))} \cdot 100 = 18.506 \%$$

if $\eta_s \geq \eta_{s1}$	= “vyhovuje”
“vyhovuje”	
else	
“nevyhovuje”	

Jelikož je stoupání šroubovice větší než $1,5^\circ$, tak nelze zajistit dynamickou samosvornost. Proto se je doporučeno použít elektromotory s brzdou.

2.4 Zvolený pohon

INDRAMAT
MKD041B-144-KP1-KN
MKD041-15028

2.4.1 Výpočet momentů a otáček jednotlivých hřídelí

Krouticí moment motoru $M_{k1m} := 2.7 N \cdot m$

Brzdový moment motoru $M_b := 2.2 N \cdot m$

Zvolené otáčky motoru $n_{1m} := 2700 \cdot \frac{1}{\text{min}}$ (otáčky v rozsahu 0-6000)

Skutečné výstupní otáčky $n_{2s} := \frac{n_{1m}}{i} = 14.754 \frac{1}{\text{min}}$

Skutečný moment na výstupu $M_{k2s} := i \cdot \eta \cdot M_{k1m} = 197.64 N \cdot m$

if $M_{k2s} \geq M_{k2}$ | = “vyhovuje”
|| “vyhovuje”
else
|| “nevyhovuje”

if $n_2 \geq n_{2s}$ | = “vyhovuje”
|| “vyhovuje”
else
|| “nevyhovuje”

3 Výpočet naklápění stolu

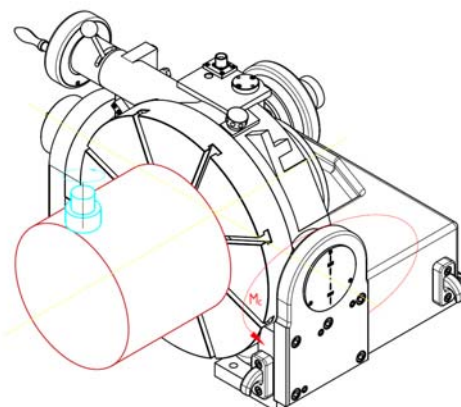
3.1 Dané hodnoty

Hmotnost obrobku $m_o = 100 \text{ kg}$

Průměr obrobku $d_o = 300 \text{ mm}$

Výška obrobku $h_o = 180 \text{ mm}$

Výstupní otáčky $n_2 := 5 \frac{1}{\text{min}}$



Obrázek 2 Zatížení při naklápění stolu

3.2 Vypočtené hodnoty

Momenty setrvačnosti (vypočtené v Inentoru)

J_0	J_d	J_h	J_t	J_{os}
$(\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	$(\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	$(\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	$(\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$	$(\text{kg} \cdot \text{mm}^2)$
1640513.962	1101946.465	81248.644	2083947.581	417814.226

J_0 - M. s. obrobku

J_h - M. s. hřídele

J_{os} - M. s. ostatních součástí

J_d - M. s. desky stolu

J_t - M. s. otáčejícího se tělesa stolu

Celkový moment setrvačnosti $J_c := J_0 + J_d + J_h + J_t + J_{os} = 5325470.878 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$

3.2.1 Výpočet krouticích momentů

Moment vzniklý od řezného procesu $M_s := F_o \cdot \frac{d_o}{2} = 73.641 \text{ N} \cdot \text{m}$

Moment od zrychlení stolu (otáčení o 90°)

Doba jedné otáčky $t_1 := \frac{1}{n_2} = 12 \text{ s}$

Doba otočení o 90° $t_2 := \frac{t_1}{4} = 3 \text{ s}$

Úhlová rychlost $\omega := 2 \cdot \pi \cdot n_2 = 0.524 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

Úhlové zrychlení $\alpha := \frac{\omega}{t_2} = 0.175 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$

Moment od momentů setrvačnosti $M_J := J_c \cdot \alpha = 0.929 \text{ N} \cdot \text{m}$

Klopný moment od hmotnosti obrobku

$$e := \frac{h_o}{2} = 90 \text{ mm}$$

$$f := 112 \text{ mm}$$

Gravitační zrychlení

$$g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Tíha obrobku

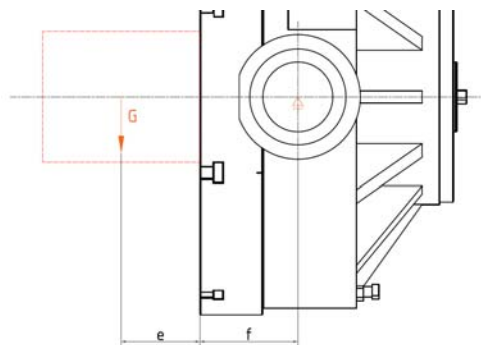
$$G := m_o \cdot g = 980.665 \text{ N}$$

Klopný moment

$$M_{kl} := G \cdot (f + e) = 198.094 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Celkový krouticí moment

$$M_c := M_J + M_s + M_{kl} = 272.665 \text{ N} \cdot \text{m}$$



Obrázek 3 Poloha těžiště obrobku

3.2.2 Výpočet pohonu pro naklápění

Výstup

Převod šnek - šnekové kolo

Účinnost převodu

$$\eta = 0.4$$

Převodový poměr

$$i := 81$$

Moment na výstupu

$$M_{k2} := M_c = 272.665 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Otáčky na výstupu

$$n_2 = 5 \frac{1}{\text{min}}$$

Vstup

Vstupní moment

$$M_{k1} := \frac{M_{k2}}{i \cdot \eta} = 8.416 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Vstupní otáčky

$$n_1 := n_2 \cdot i = 405 \frac{1}{\text{min}}$$

3.3 Kontrola samosvornosti převodu

Aby převod vyhovoval musí být statická účinnost menší jak η_s .

Statická účinnost převodu

$$\eta_s := 50 \%$$

Úhel stoupání šneku

$$\gamma := 6^\circ$$

Součinitel tření (ocel litina)

$$\mu_z := 0.3$$

$$\eta_{s2} := \frac{\tan(\gamma)}{\tan(\gamma + a \tan(\mu_z))} \cdot 100 = 25.127 \%$$

```

if  $\eta_s \geq \eta_{s2}$  | = "vyhovuje"
|| "vyhovuje"
else
|| "nevyhovuje"

```

Jelikož je stoupání šroubovice větší než $1,5^\circ$, tak nelze zajistit dynamickou samosvornost. Proto se je doporučeno použít elektromotory s brzdou.

3.4 Zvolený pohon

Rexroth
MKD041B-144-KP1_KN
MKD041-OH322

3.4.1 Výpočet momentů a otáček jednotlivých hřídelí

Krouticí moment motoru $M_{k1m} := 2.7 \text{ N} \cdot \text{m}$

Zvolené vstupní otáčky $n_1 := 400 \cdot \frac{1}{\text{min}}$ (otáčky v rozsahu 0-7500)

Brzdový moment motoru $M_b := 2.2 \text{ N} \cdot \text{m}$

Jelikož není k dispozici jiný motor s vyšším krouticím momentem a zároveň s brzdou, bylo navrženo připojit k motoru převodovku. K dispozici je převodovka ALPHA SP75-M1-10E, které je s motorem kompatibilní.

3.4.2 Zvolená převodovka

ALPHA
SP75-M1-10E

Převodový poměr převodovky $i_p := 10$

Účinnost převodovky $\eta_p := 0.97$

Aby se dosáhlo výstupních otáček převodovky 400/min musí se upravit otáčky motoru:

Vstupní otáčky převodovky (výstupní motoru) $n_{1v} := i_p \cdot n_1 = 4000 \frac{1}{\text{min}}$ (otáčky v rozsahu 0-7500)

Výstupní moment $M_{k2p} := i_p \cdot \eta_p \cdot M_{k1m} = 26.19 \text{ N} \cdot \text{m}$

Výstupní brzdící moment $M_{b2} := i_p \cdot \eta_p \cdot M_b = 21.34 \text{ N} \cdot \text{m}$

Skutečné výstupní otáčky $n_{2s} := \frac{n_1}{i} = 4.938 \frac{1}{\text{min}}$

Skutečný moment na výstupu $M_{k2s} := i \cdot \eta \cdot M_{k2p} = 848.556 \text{ N} \cdot \text{m}$

```

if  $M_{k2s} \geq M_{k2}$  | = "vyhovuje"
|| "vyhovuje"
else
|| "nevyhovuje"

```

```

if  $n_2 \geq n_{2s}$  | = "vyhovuje"
|| "vyhovuje"
else
|| "nevyhovuje"

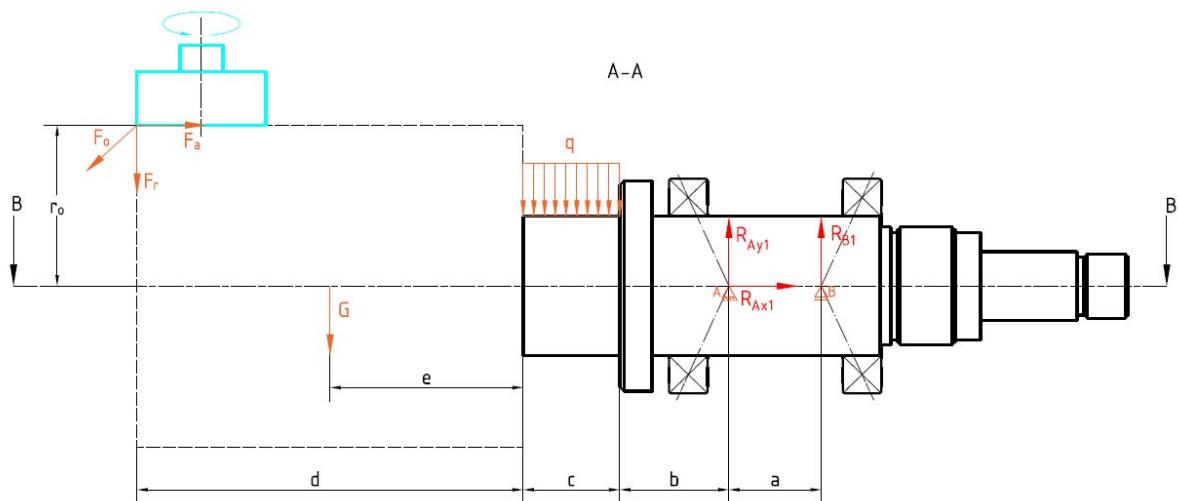
```

4 Kontrola ložisek

4.1 Ložiska osy otáčení

4.1.1 Poloha - naklopená

Určení a výpočet sil působících na hřídel otáčení.



Obrázek 4 Zatížení hřídele osy otáčení v naklopené poloze (rovina A)

Rozměry

$$a := 43 \text{ mm} \quad b := 51 \text{ mm} \quad c := 45 \text{ mm} \quad d := h_o = 180 \text{ mm}$$

$$e := \frac{d}{2} = 90 \text{ mm} \quad r_o := \frac{d_o}{2} = 150 \text{ mm}$$

Zatížení

$F_a = 294.565 \text{ N}$	Obvodová řezná síla	$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	Gravitační zrychlení
$F_r = 392.753 \text{ N}$	Radiální složka síly	$m_d := 71.9 \text{ kg}$	Hmotnost desky stolu
$F_o = 490.942 \text{ N}$	Axiální složka síly	$m_o = 100 \text{ kg}$	Hmotnost Obrobku
$G := m_o \cdot g = 981 \text{ N}$			Tíhová síla obrobku
$q := \frac{m_d \cdot g}{a} = 16403.233 \frac{\text{N}}{\text{m}}$			Spojitě zatížení od hmotnosti desky stolu (+ komponenty k ní připevněné)

Podmínky rovnováhy

Rovina A

$$\sum_i F_{ix} : R_{Ax1} + F_a = 0$$

$$\sum_i F_{iy} : R_{B1} + R_{Ay1} - q \cdot c - G - F_r = 0$$

$$\sum_i M_{iA} : R_{B1} \cdot a + q \cdot c \cdot \left(\frac{c}{2} + b\right) + G \cdot (e + c + b) + F_r \cdot (d + c + b) - F_a \cdot r_o = 0$$

Výpočet reakcí

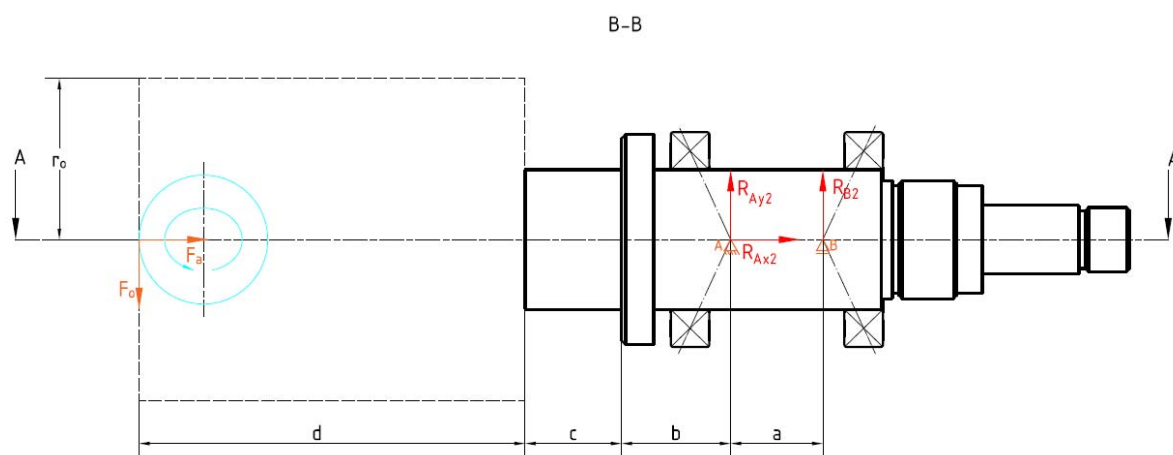
$$R_{Ax1} := -F_a = -294.565 \text{ N}$$

$$R_{B1} := \frac{-q \cdot c \cdot \left(\frac{c}{2} + b\right) - G \cdot (e + c + b) - F_r \cdot (d + c + b) + F_a \cdot r_o}{a} = -6998.485 \text{ N}$$

$$R_{Ay1} := -R_{B1} + q \cdot c + G + F_r = 9110.384 \text{ N}$$

Podmínky rovnováhy

Rovina B



Obrázek 5 Zatížení hřídele osy otáčení v nakloněné poloze (rovina B)

$$\sum_i F_{ix} : R_{Ax2} + F_a = 0$$

$$\sum_i F_{iy} : R_{B2} + R_{Ay2} - F_o = 0$$

$$\sum_i M_{iA} : R_{B1} \cdot a + F_o \cdot (d + b + c) = 0$$

Výpočet reakcí

$$R_{Ax2} := -F_a = -294.565 \text{ N}$$

$$R_{B2} := \frac{F_o \cdot (d + b + c)}{a} = 3151.16 \text{ N}$$

$$R_{Ay2} := -R_{B2} + F_o = -2660.219 \text{ N}$$

Celkové reakce

Ložisko A

$$R_{Ay} := \sqrt{(R_{Ay1})^2 + (R_{Ay2})^2} = 9490.83 \text{ N}$$

$$R_{Ax} := \sqrt{(R_{Ax1})^2 + (R_{Ax2})^2} = 416.578 \text{ N}$$

Ložisko B

$$R_B := \sqrt{(R_{B1})^2 + (R_{B2})^2} = 7675.194 \text{ N}$$

Kontrola ložisek

Ložiska - B7013-E-T-P4S

Ložiska jednořadá kuličková s kosoúhlým stvkem (do X)

Dynamická únosnost

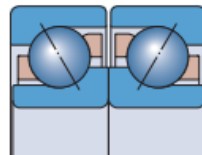
$$C := 39000 \text{ N}$$

Požadovaná životnost

$$L_h := 12500 \text{ hr}$$

Maximální otáčky

$$n := 14.754 \cdot \frac{1}{\text{min}}$$



Obrázek 6 Uložení ložisek do X [1]

Ložisko A

Ekvivalentní zatížení

$$F_e := 0.58 \cdot |R_{Ay}| + 0.93 \cdot |R_{Ax}| = 5892.099 \text{ N}$$

Životnost ložiska

$$L_{hA} := \left(\frac{C}{F_e} \right)^3 \cdot \frac{1000000}{n} = 327584.035 \text{ hr}$$

Ložisko B

Ekvivalentní zatížení

$$F_e := 0.58 \cdot |R_B| + 0.93 \cdot 0 = 4451.613 \text{ N}$$

Životnost ložiska

$$L_{hB} := \left(\frac{C}{F_e} \right)^3 \cdot \frac{1000000}{n} = 759592.585 \text{ hr}$$

if $L_{hA} \geq L_h$ | = “vyhovuje”
|| “vyhovuje”
else
|| “nevyhovuje”

if $L_{hB} \geq L_h$ | = “vyhovuje”
|| “vyhovuje”
else
|| “nevyhovuje”

4.1.2 Poloha - nenaklopená

Určení a výpočet sil působících na hřídel otáčení.

Rozměry

$$a = 43 \text{ mm} \quad b = 51 \text{ mm} \quad c := 45 \text{ mm}$$

$$d := h_o = 180 \text{ mm} \quad r_o = 150 \text{ mm}$$

Zatížení

$$F_o = 490.942 \text{ N} \quad g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_r = 392.753 \text{ N} \quad m_d = 71.9 \text{ kg}$$

$$F_a = 294.565 \text{ N} \quad m_o = 100 \text{ kg}$$

$$G = 981 \text{ N}$$

$$T := m_d \cdot g = 705.339 \text{ N} \quad \text{Tíha od desky stolu (+ komponenty)}$$

Podmínky rovnováhy

Rovina A

$$\sum_i F_{ix} : R_{Ax1} + F_a + R_{B1} = 0$$

$$\sum_i F_{iy} : R_{Ay1} + T + G + F_r = 0$$

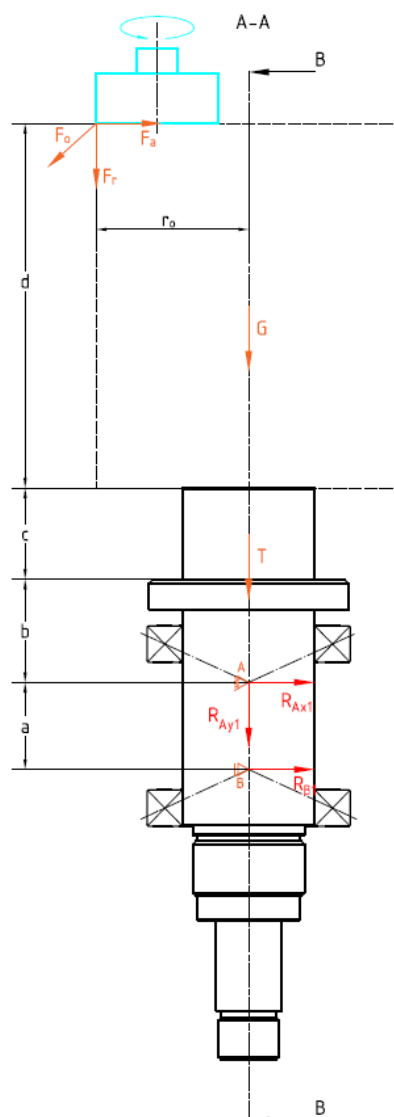
$$\sum_i M_{iA} : R_{B1} \cdot a - F_a \cdot (b + c + d) + F_r \cdot r_o = 0$$

Výpočet reakcí

$$R_{B1} := \frac{F_a \cdot (b + c + d) - F_r \cdot r_o}{a} = 520.626 \text{ N}$$

$$R_{Ay1} := -T - G - F_r = -2079.092 \text{ N}$$

$$R_{Ax1} := -F_a - R_{B1} = -815.191 \text{ N}$$



Obrázek 7 Zatížení hřídele osy otáčení v nenaklopené poloze (rovina A)

Podmínky rovnováhy

Rovina B

$$\sum_i F_{ix} : R_{Ax2} + F_o + R_{B2} = 0$$

$$\sum_i F_{iy} : R_{Ay2} + T + G + F_r = 0$$

$$\sum_i M_{iA} : R_{B2} \cdot a - F_o \cdot (b + c + d) = 0$$

Výpočet reakcí

$$R_{B2} := \frac{F_o \cdot (b + c + d)}{a} = 3151.16 \text{ N}$$

$$R_{Ay2} := -T - G - F_r = -2079.092 \text{ N}$$

$$R_{Ax2} := -F_o - R_{B2} = -3642.102 \text{ N}$$

Celkové reakce

Ložisko A

$$R_{Ay} := \sqrt{(R_{Ay1})^2 + (R_{Ay2})^2} = 2940.281 \text{ N}$$

$$R_{Ax} := \sqrt{(R_{Ax1})^2 + (R_{Ax2})^2} = 3732.217 \text{ N}$$

Ložisko B

$$R_B := \sqrt{(R_{B1})^2 + (R_{B2})^2} = 3193.879 \text{ N}$$

Kontrola ložisek

Ložiska - B7013-E-T-P4S

Ložiska jednořadá kuličková s kosoúhlým stykem (do X)

Dynamická únosnost

$$C := 39000 \text{ N}$$

Požadovaná životnost

$$L_h := 12500 \text{ hr}$$

Maximální otáčky

$$n := 14.754 \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

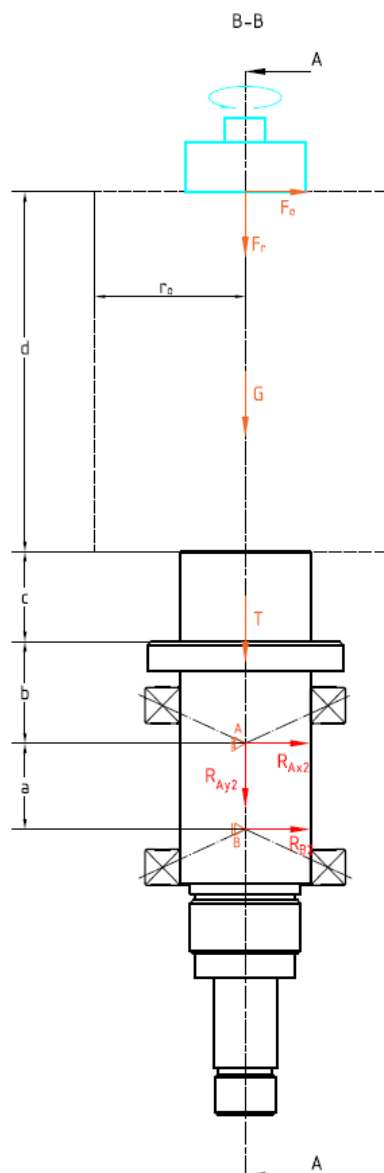
Ložisko A

Ekvivalentní zatížení

$$F_e := 0.58 \cdot |R_{Ay}| + 0.93 \cdot |R_{Ax}| = 5176.324 \text{ N}$$

Životnost ložiska

$$L_{hA} := \left(\frac{C}{F_e} \right)^3 \cdot \frac{1000000}{n} = 483134.803 \text{ hr}$$



Obrázek 8 Zatížení hřídele osy otáčení v nenaklonené poloze (rovina B)

Ložisko B

Ekvivalentní zatížení

$$F_e := 0.58 \cdot |R_B| + 0.93 \cdot 0 = 1852.45 \text{ N}$$

Životnost ložiska

$$L_{hB} := \left(\frac{C}{F_e}\right)^3 \cdot \frac{1000000}{n} = (1.054 \cdot 10^7) \text{ hr}$$

if $L_{hA} \geq L_h$ = “vyhovuje”
 || “vyhovuje”
 else
 || “nevyhovuje”

if $L_{hB} \geq L_h$ = “vyhovuje”
 || “vyhovuje”
 else
 || “nevyhovuje”

4.2 Ložiska osy naklápění

4.2.1 Poloha - nenaklopená

Určení a výpočet sil působících na hřídel otáčení (výpočet ve dvou rovinách).

Rozměry

$$a := 592 \text{ mm} \quad d := 112 \text{ mm}$$

$$b := 310.5 \text{ mm} \quad e := 271 \text{ mm}$$

$$c := 281.5 \text{ mm}$$

Těžiště stolu v bodě C (zjištěné v NX)

$$i := 8 \text{ mm}$$

$$j := 29.5 \text{ mm}$$

$$k := 17.5 \text{ mm}$$

Zatížení

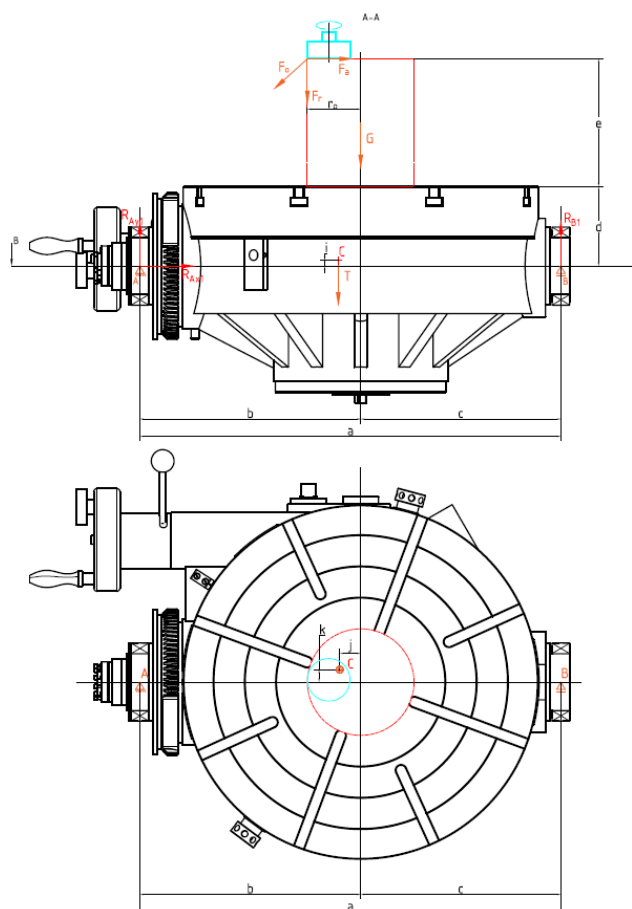
$$F_o = 490.942 \text{ N} \quad g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_r = 392.753 \text{ N} \quad m_o = 100 \text{ kg}$$

$$F_a = 294.565 \text{ N} \quad m_s := 223.574 \text{ kg}$$

$$G = 981 \text{ N}$$

$$T := m_s \cdot g = 2193.261 \text{ N} \quad \text{Tíha stolu}$$



Obrázek 9 Zatížení tělesa stolu v nenaklopené poloze (rovina A)

Podmínky rovnováhy

Rovina A

$$\sum_i F_{ix} : R_{Ax1} + F_a = 0$$

$$\sum_i F_{iy} : R_{B1} + R_{Ay1} - T - G - F_r = 0$$

$$\sum_i M_{iA} : R_{B1} \cdot a - T \cdot (b - j) - G \cdot b - F_a \cdot (e + d) - F_r \cdot (b - r_o) = 0$$

Výpočet reakcí

$$R_{Ax1} := -F_a = -294.565 \text{ N}$$

$$R_{Ay1} := -R_{B1} + T + G + F_r = 1714.376 \text{ N}$$

$$R_{B1} := \frac{T \cdot (b - j) + G \cdot b + F_a \cdot (e + d) + F_r \cdot (b - r_o)}{a} = 1852.639 \text{ N}$$

Podmínky rovnováhy

Rovina B

$$\sum_i F_{ix} : R_{Ax2} + F_a = 0$$

$$\sum_i F_{iy} : R_{B2} + R_{Ay2} - F_o = 0$$

$$\sum_i M_{iA} : R_{B2} \cdot a - F_o \cdot (b - r_o) = 0$$

Výpočet reakcí

$$R_{Ax2} := -F_a = -294.565 \text{ N}$$

$$R_{Ay2} := -R_{B2} + F_o = -2660.219 \text{ N}$$

$$R_{B2} := \frac{F_o \cdot (b - r_o)}{a} = 133.102 \text{ N}$$

Celkové reakce

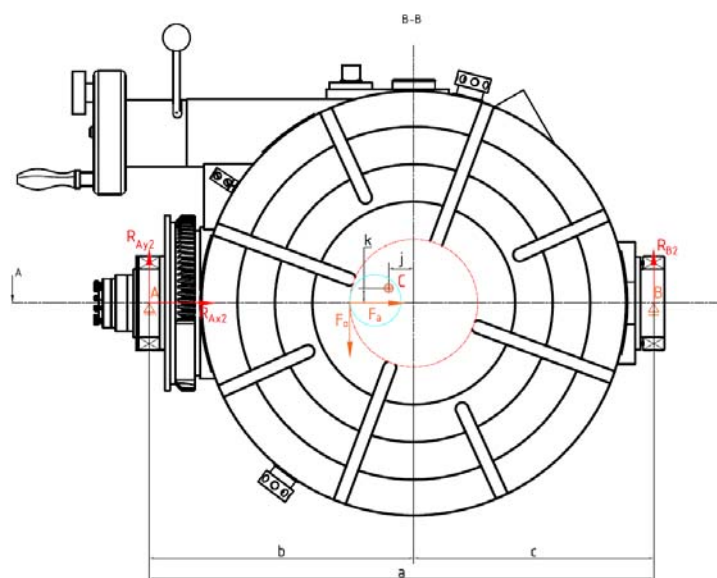
Ložisko A

$$R_{Ay} := \sqrt{(R_{Ay1})^2 + (R_{Ay2})^2} = 4044.409 \text{ N}$$

$$R_{Ax} := \sqrt{(R_{Ax1})^2 + (R_{Ax2})^2} = 416.578 \text{ N}$$

Ložisko B

$$R_B := \sqrt{(R_{B1})^2 + (R_{B2})^2} = 1857.414 \text{ N}$$



Obrázek 10 Zatížení tělesa stolu v nenaklopené poloze (rovina B)

Kontrola ložisek

Ložiska - NKI80/25-XL (jehličková ložiska)

Dynamická únosnost $C := 72000 \text{ N}$

Požadovaná životnost $L_h := 12500 \text{ hr}$

Maximální otáčky $n := 4.938 \cdot \frac{1}{\text{min}}$

Ložisko A

Ekvivalentní zatížení $F_e := 1 \cdot R_{Ay} = 4044.409 \text{ N}$

Životnost ložiska $L_{hA} := \left(\frac{C}{|F_e|} \right)^{3.33} \cdot \frac{1000000}{n} = (49.248 \cdot 10^6) \text{ hr}$

Ložisko B

Ekvivalentní zatížení $F_e := 1 \cdot R_B = 1857.414 \text{ N}$

Životnost ložiska $L_{hB} := \left(\frac{C}{|F_e|} \right)^{3.33} \cdot \frac{1000000}{n} = (657.28 \cdot 10^6) \text{ hr}$

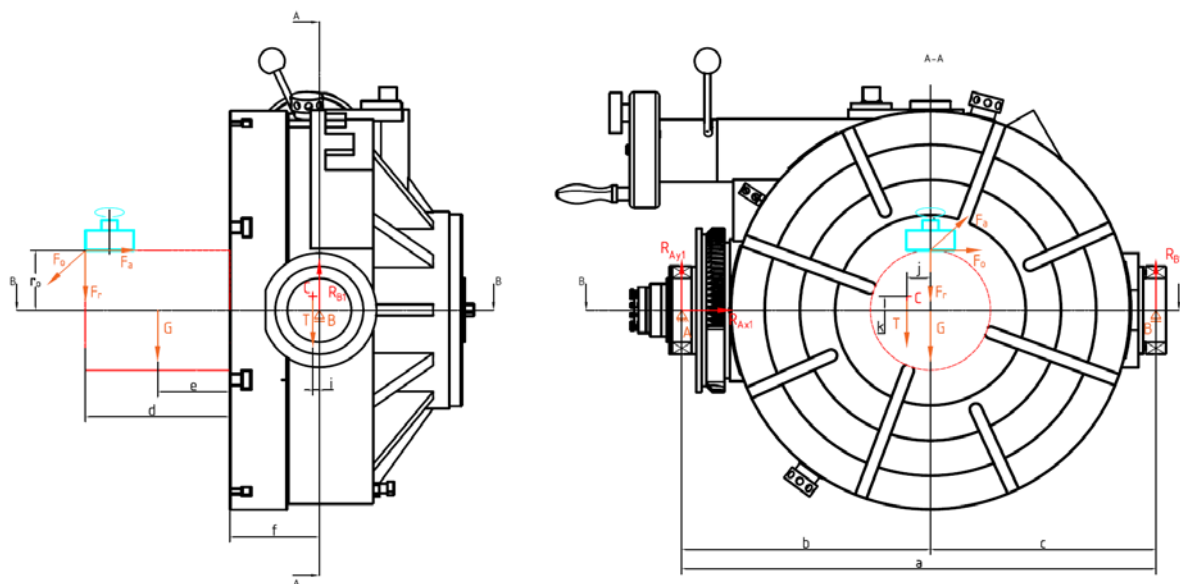
if $L_{hA} \geq L_h$ | = “vyhovuje”
|| “vyhovuje”
else
|| “nevyhovuje”

if $L_{hB} \geq L_h$ | = “vyhovuje”
|| “vyhovuje”
else
|| “nevyhovuje”

4.2.2 Poloha - naklonená

Určení a výpočet sil působících na hřídel otáčení (výpočet ve dvou rovinách).

Rovina A



Obrázek 11 Zatížení tělesa stolu v naklonené poloze (rovina A)

Rozměry

$$a := 592 \text{ mm}$$

$$b := 310.5 \text{ mm}$$

$$c := 281.5 \text{ mm}$$

$$d := h_o = 180 \text{ mm}$$

$$e := \frac{h_o}{2} = 90 \text{ mm}$$

$$f := 112 \text{ mm}$$

$$k = 17.5 \text{ mm}$$

$$i = 8 \text{ mm}$$

$$j = 29.5 \text{ mm}$$

Poloha těžiště stolu (C)

Zatížení

$$F_o = 490.942 \text{ N}$$

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_r = 392.753 \text{ N}$$

$$m_o = 100 \text{ kg}$$

$$F_a = 294.565 \text{ N}$$

$$m_s := 223.574 \text{ kg}$$

$$G = 981 \text{ N}$$

$$T := m_s \cdot g = 2193.261 \text{ N}$$

Podmínky rovnováhy (rovina A)

$$\sum_i F_{ix} : R_{Ax1} + F_o = 0$$

$$\sum_i F_{iy} : R_{B1} + R_{Ay1} - T - G - F_r = 0$$

$$\sum_i M_{iA} : R_{B1} \cdot a - T \cdot (b - j) - G \cdot b - F_r \cdot b - F_o \cdot r_o = 0$$

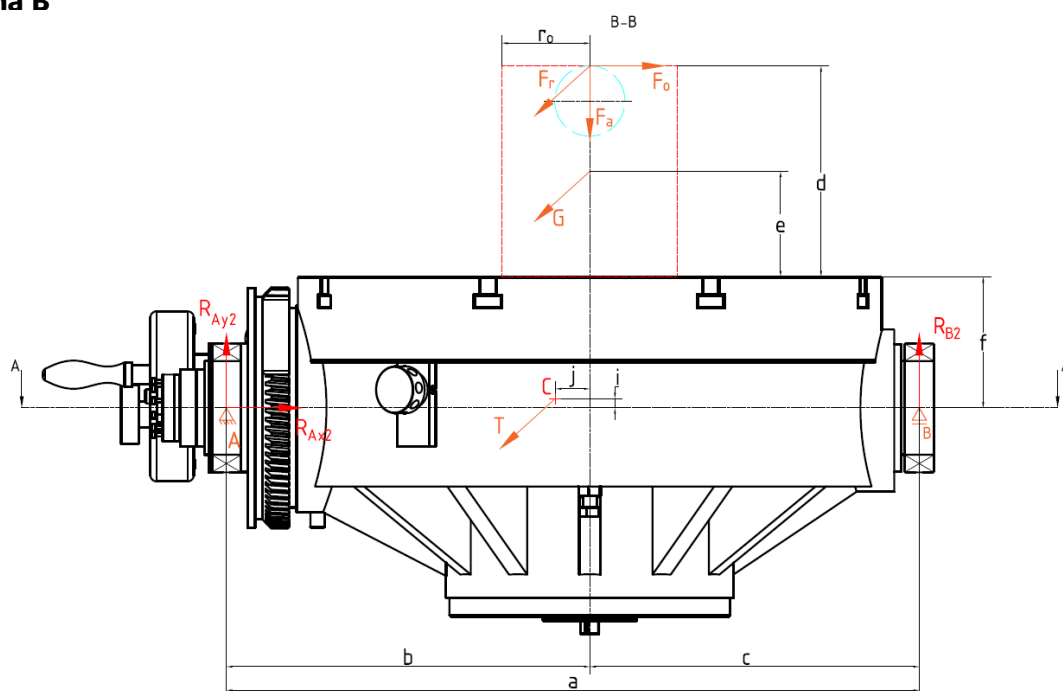
Výpočet reakcí (rovina A)

$$R_{B1} := \frac{T \cdot (b - j) + G \cdot b + F_r \cdot b + F_o \cdot r_o}{a} = 1885.976 \text{ N}$$

$$R_{Ay1} := T + G + F_r - R_{B1} = 1681.038 \text{ N}$$

$$R_{Ax1} := -F_o = -490.942 \text{ N}$$

Rovina B



Obrázek 12 Zatížení tělesa stolu v nakloněné poloze (rovina B)

Rozměry

$$a := 592 \text{ mm}$$

$$b := 310.5 \text{ mm}$$

$$c := 281.5 \text{ mm}$$

$$d := h_o = 180 \text{ mm}$$

$$e := \frac{h_o}{2} = 90 \text{ mm}$$

$$f := 112 \text{ mm}$$

$$k = 17.5 \text{ mm}$$

$$i = 8 \text{ mm}$$

$$j = 29.5 \text{ mm}$$

Poloha těžiště stolu (C)

Zatížení

$$F_o = 490.942 \text{ N}$$

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_r = 392.753 \text{ N}$$

$$m_o = 100 \text{ kg}$$

$$F_a = 294.565 \text{ N}$$

$$m_s := 223.574 \text{ kg}$$

$$G = 981 \text{ N}$$

$$T := m_s \cdot g = 2193.261 \text{ N}$$

Podmínky rovnováhy (rovina B)

$$\sum_i F_{ix} : R_{Ax2} + F_o = 0$$

$$\sum_i F_{iy} : R_{B2} + R_{Ay2} - F_a = 0$$

$$\sum_i M_{iA} : R_{B2} \cdot a - T \cdot (b - j) - G \cdot b - F_r \cdot b - F_o \cdot r_o = 0$$

Výpočet reakcí (rovina B)

$$R_{B2} := \frac{F_a \cdot b + F_o \cdot (d + f)}{a} = 396.651 \text{ N}$$

$$R_{Ay2} := F_a - R_{B1} = -1591.411 \text{ N}$$

$$R_{Ax2} := -F_o = -490.942 \text{ N}$$

Celkové reakce

Ložisko A

$$R_{Ay} := \sqrt{(R_{Ay1})^2 + (R_{Ay2})^2} = 2314.839 \text{ N}$$

$$R_{Ax} := \sqrt{(R_{Ax1})^2 + (R_{Ax2})^2} = 694.296 \text{ N}$$

Ložisko B

$$R_B := \sqrt{(R_{B1})^2 + (R_{B2})^2} = 1927.236 \text{ N}$$

Kontrola ložisek

Ložiska - NKI80/25-XL (jehličková ložiska)

Dynamická únosnost $C := 72000 \text{ N}$

Požadovaná životnost $L_h := 12500 \text{ hr}$

Maximální otáčky $n := 4.938 \cdot \frac{1}{\text{min}}$

Ložisko A

Ekvivalentní zatížení $F_e := 1 \cdot R_{Ay} = 2314.839 \text{ N}$

Životnost ložiska $L_{hA} := \left(\frac{C}{|F_e|} \right)^{3.33} \cdot \frac{1000000}{n} = (315.763 \cdot 10^6) \text{ hr}$

Ložisko B

Ekvivalentní zatížení $F_e := 1 \cdot R_B = 1927.236 \text{ N}$

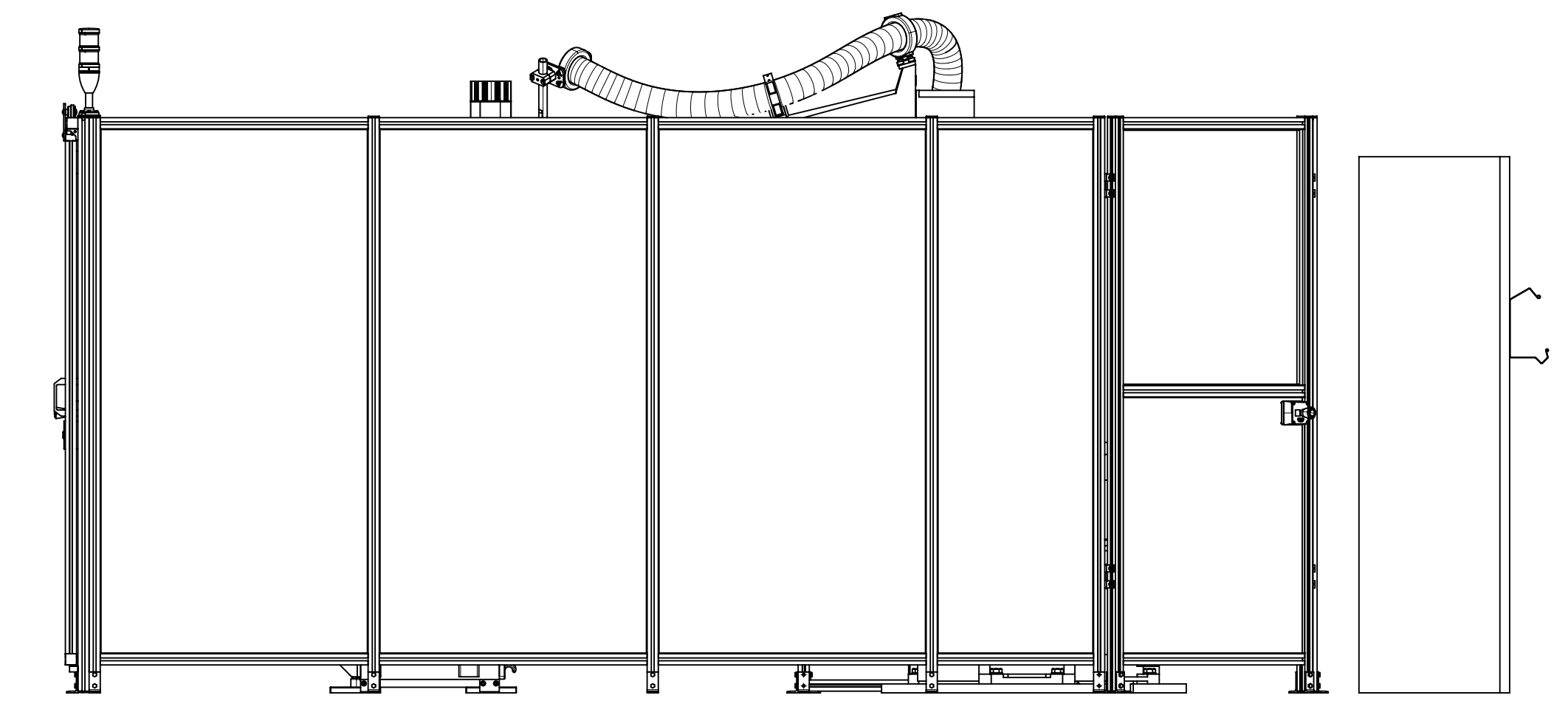
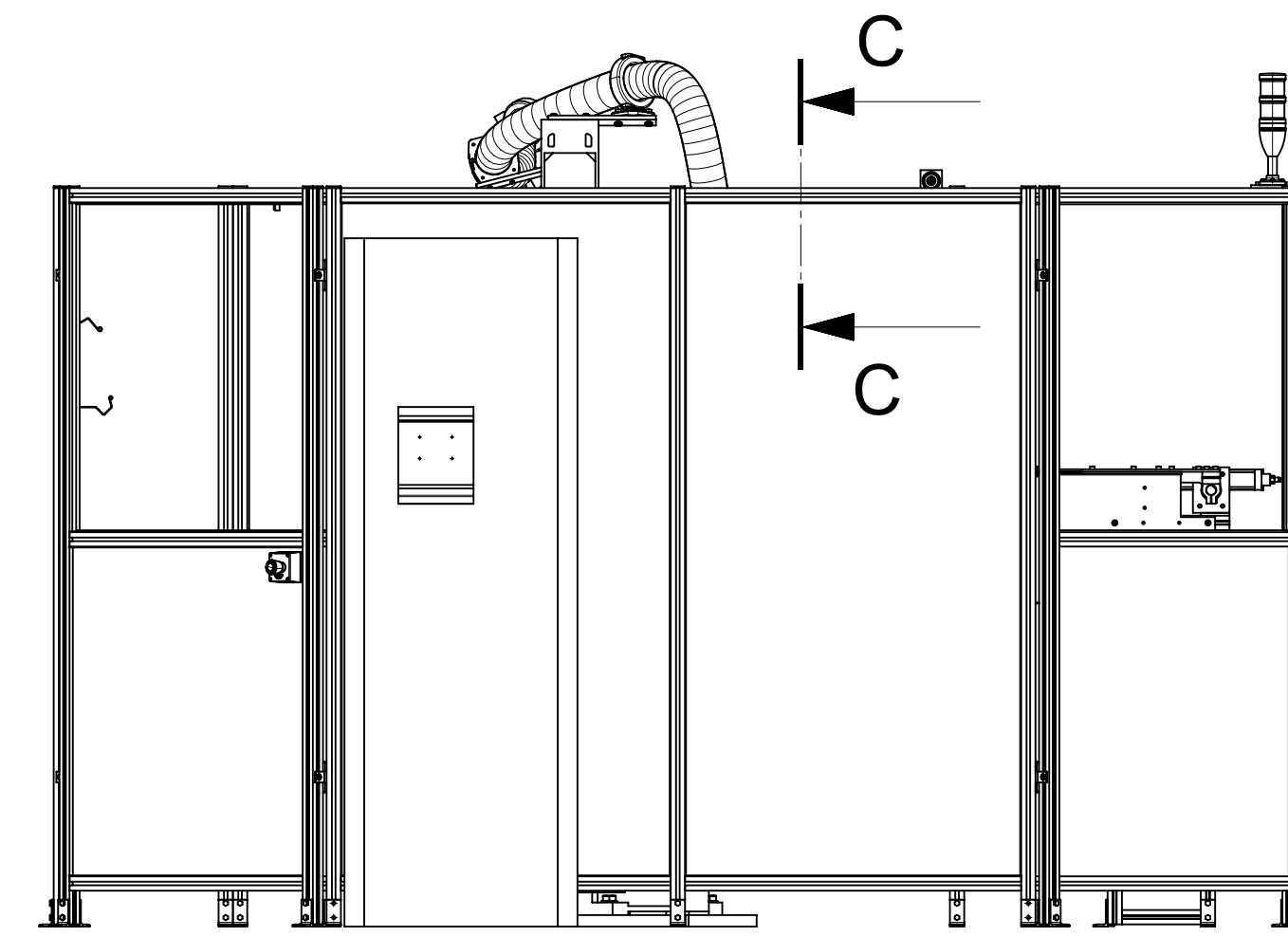
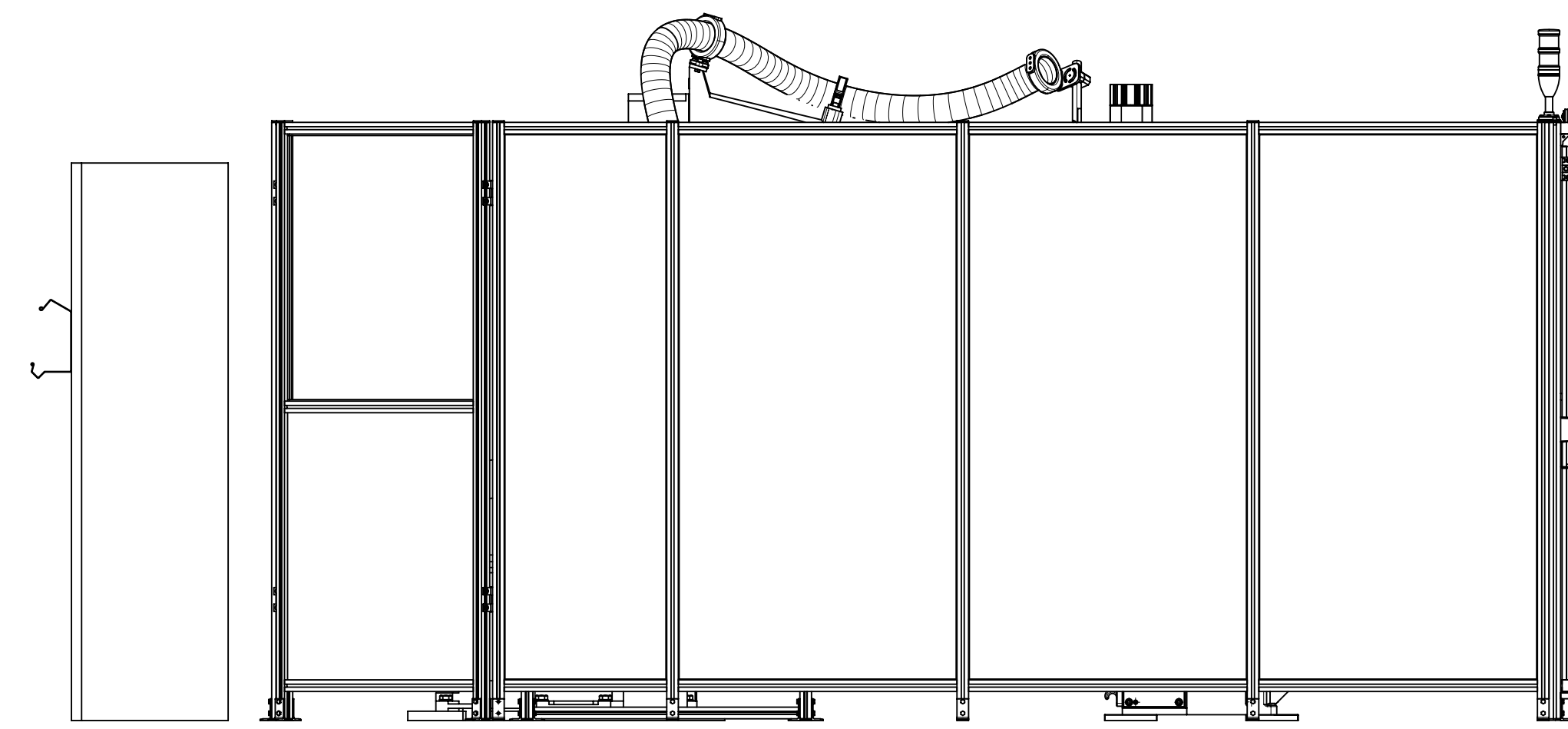
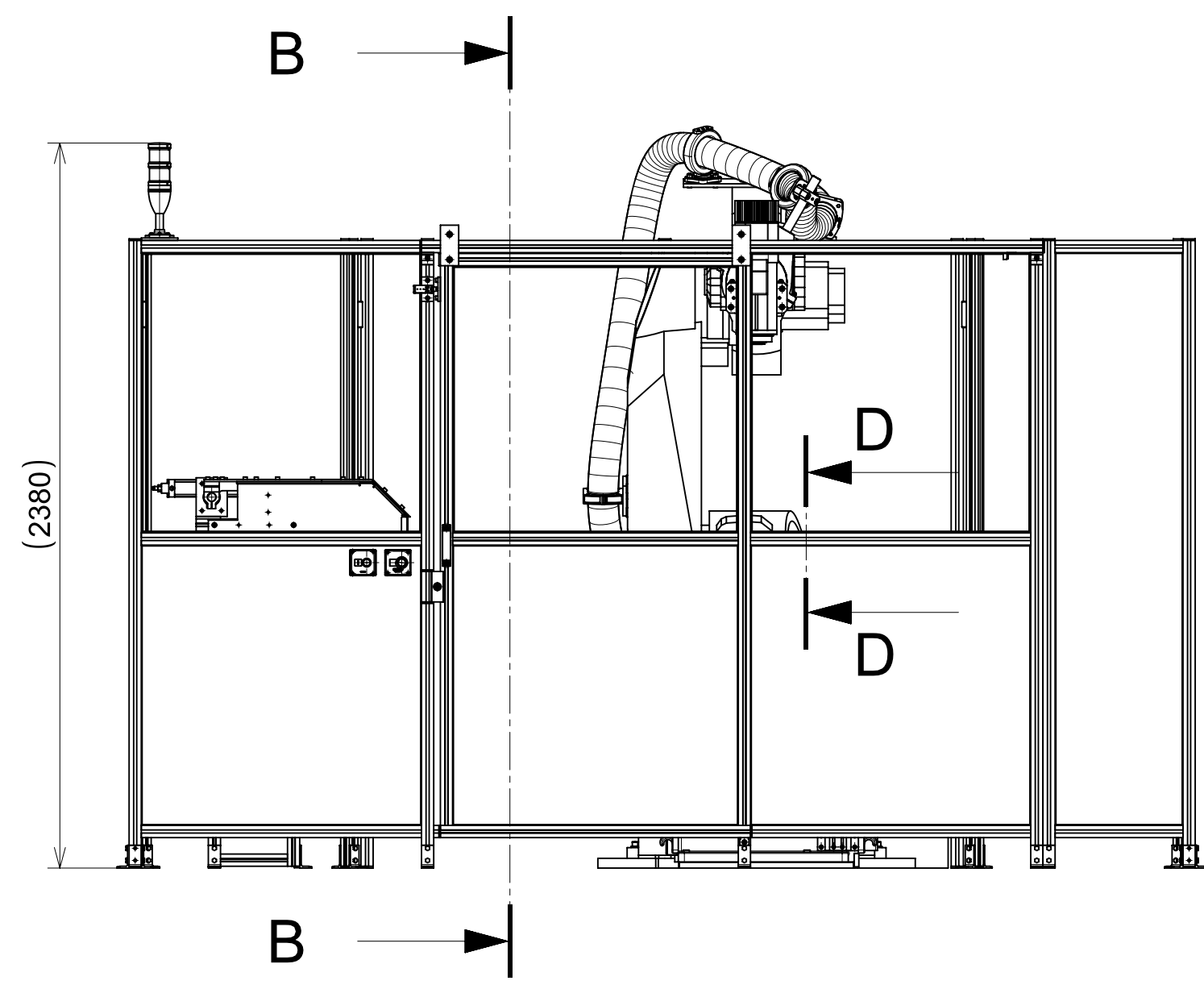
Životnost ložiska $L_{hB} := \left(\frac{C}{|F_e|} \right)^{3.33} \cdot \frac{1000000}{n} = (581.28 \cdot 10^6) \text{ hr}$

if $L_{hA} \geq L_h$ | = “vyhovuje”
|| “vyhovuje”
else
|| “nevyhovuje”

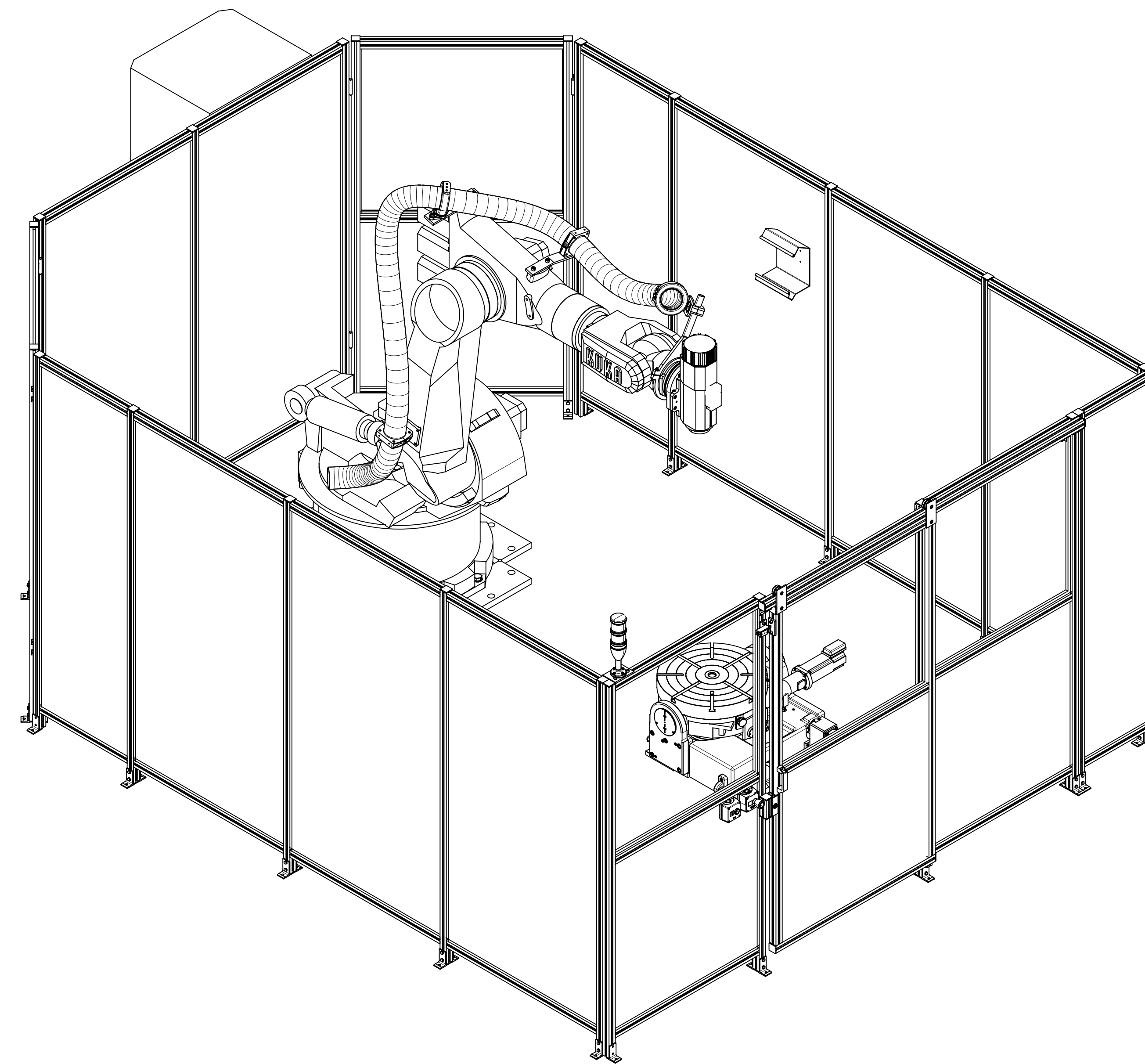
if $L_{hB} \geq L_h$ | = “vyhovuje”
|| “vyhovuje”
else
|| “nevyhovuje”

Použité zdroje

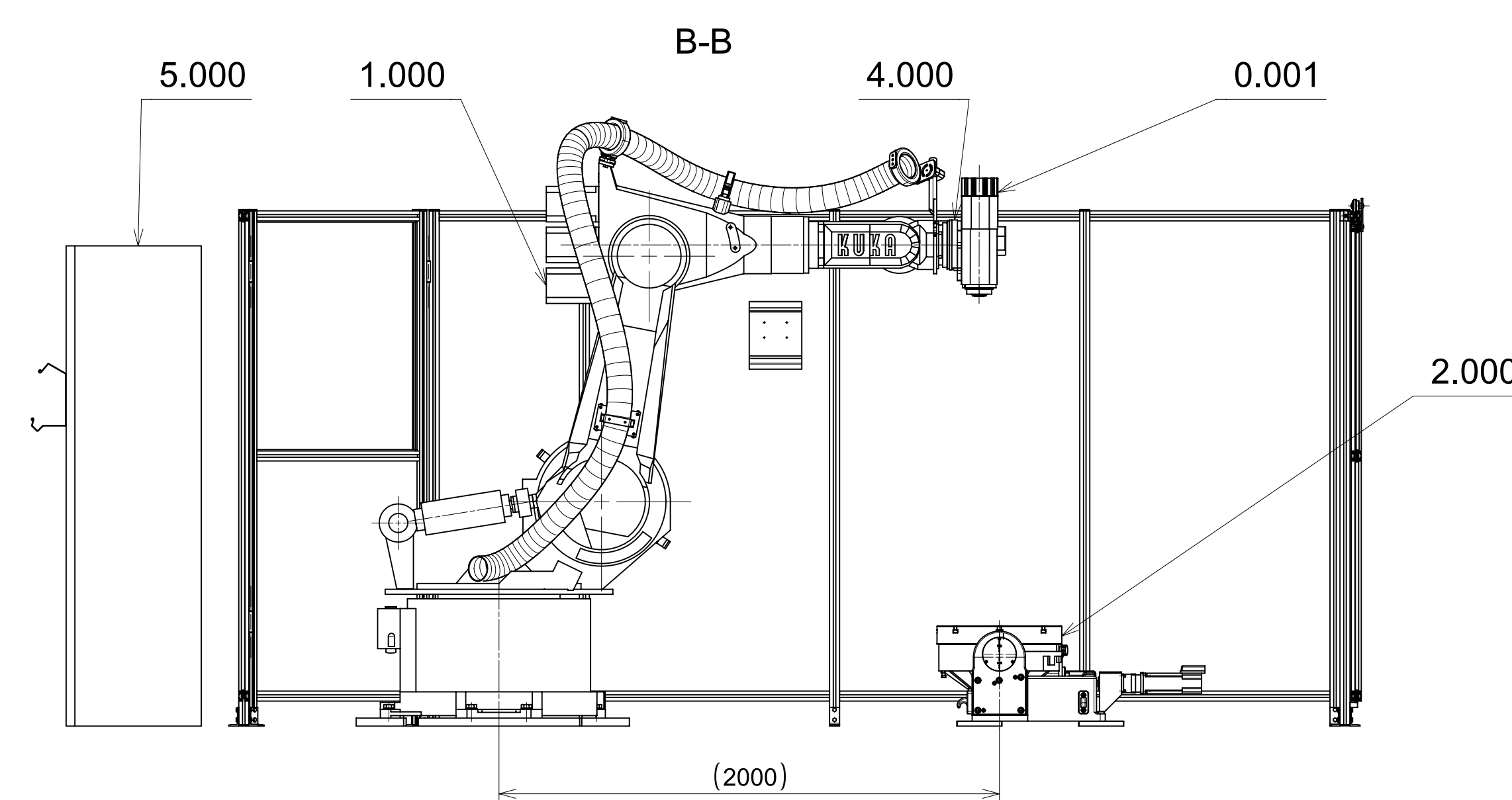
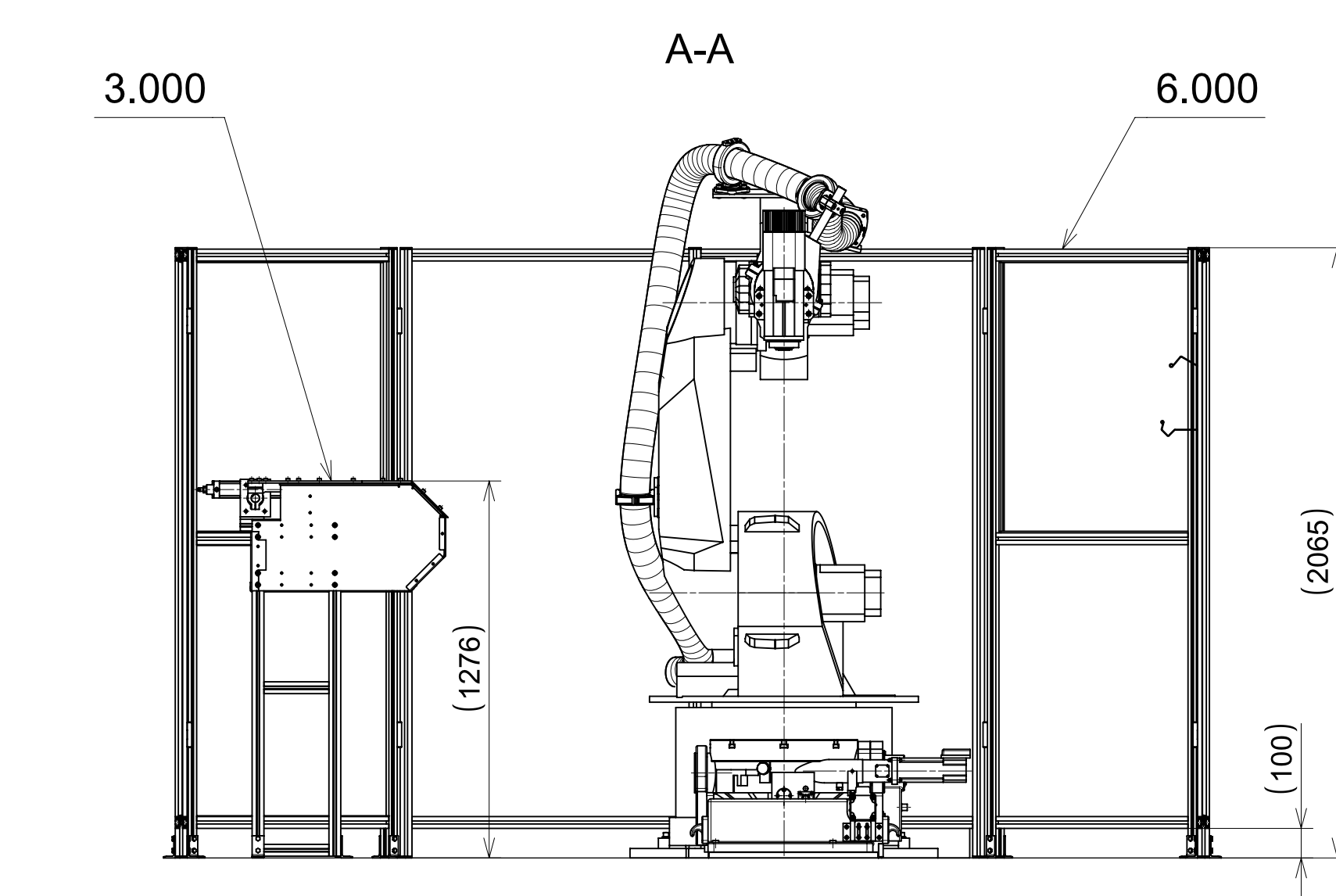
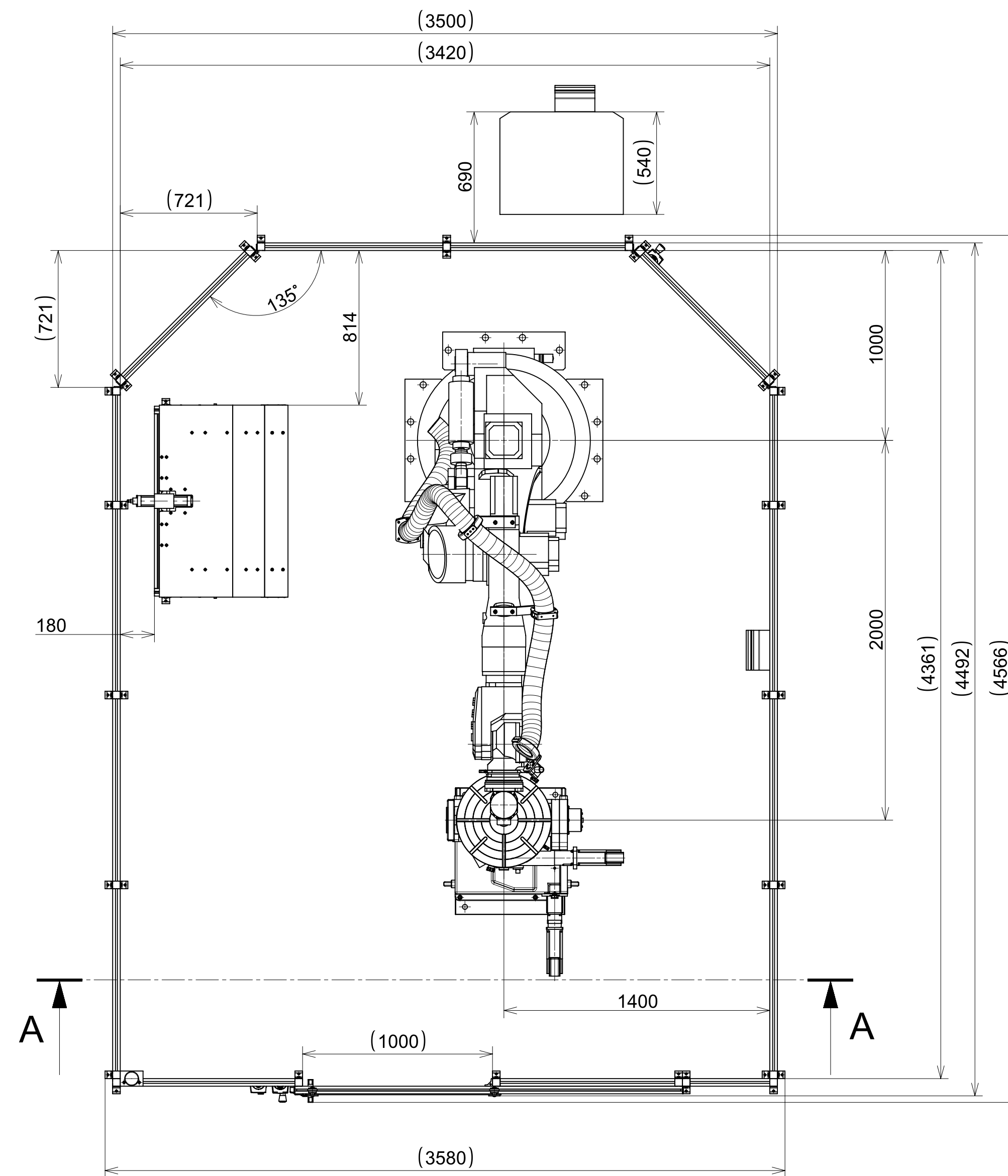
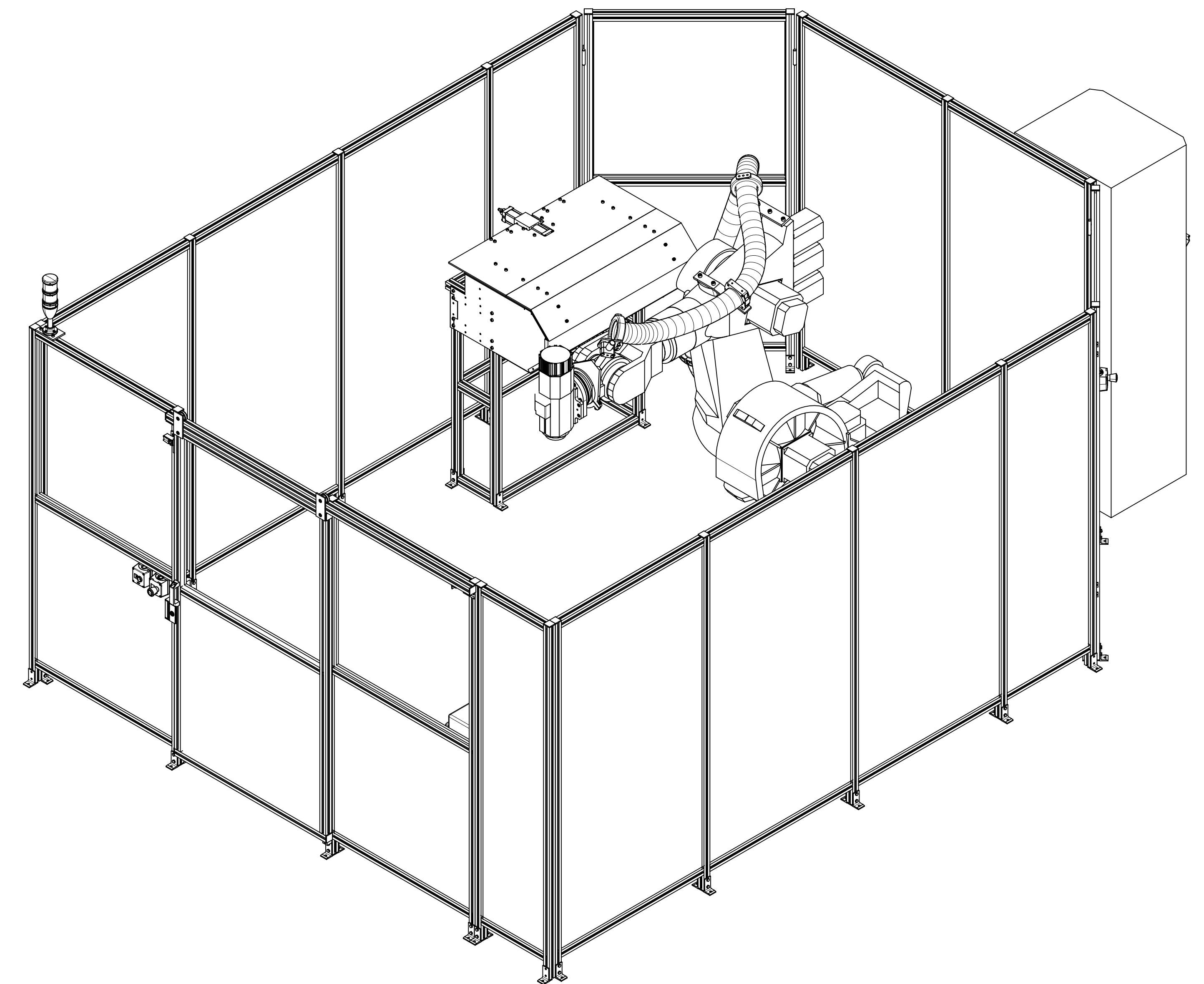
[1] Katalogové listy společnosti SKF



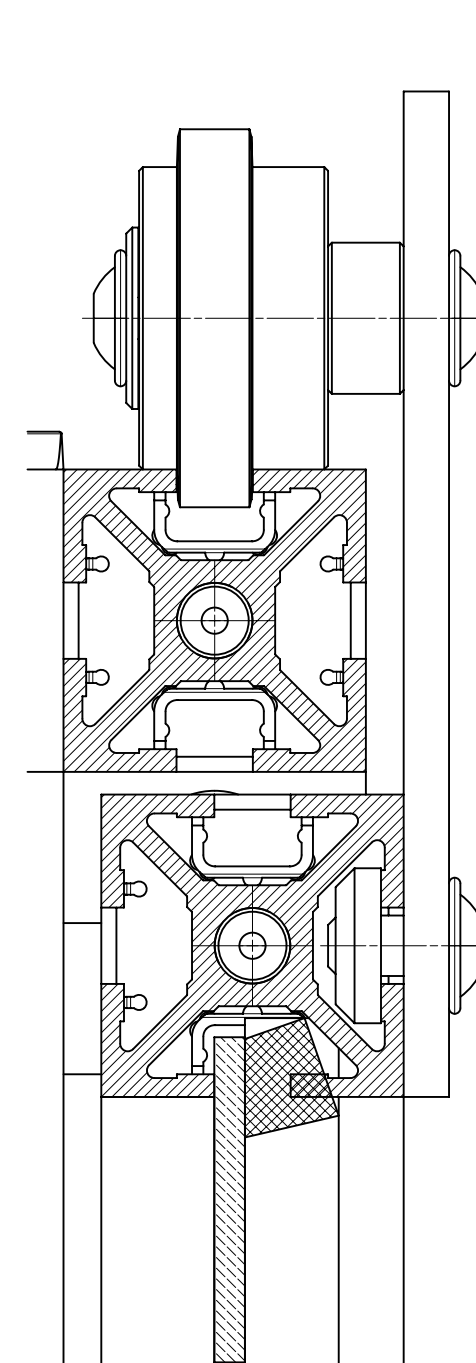
IZOMETRICKY POHLED



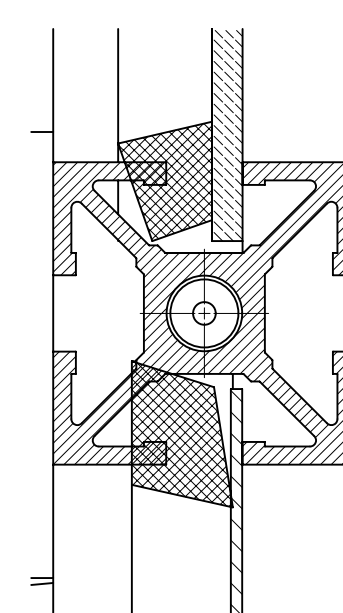
IZOMETRICKY POHLED



C-C (1:1)



D-D (1:1)



POSTUP PRI KOTVENI POLOHOVACIHO STOLU
(4 KOTEVNIH SROUBU)

1. VYVRTANI OTVORU Ø28x210 DO PODLAHY
2. PROCISTENI OTVORU ROTACNIM KARTACEM NEBO TLAKOVYM VZDUCEM OD PRACHU
3. VLOZENI AMPULE RM24/210 DO VYVRTANEHO OTVORU
4. ZASROBOVANI KOTEVNIHO SROUBU RG M24x300 DO OTVORU S AMPULI
5. USAZENI KOTEVNIH DESEK TAK, ABY SE KOTEVNI SROUBY ZASUNULY DO PREDVYVRTANYCH OTVORU NA DESCE
6. DOTAZENI MATICE KOTEVNIHO SROUBU NA POZADOVANY MOMENT 150 Nm
7. USTAVENI STOLU NA KOTEVNIH DESKACH
8. DOTAZENI SROUBU DIN 912 M14x40 PRO UPEVNENI STOLU K DESKAM NA POZADOVANY MOMENT 120 Nm

POSTUP PRI KOTVENI ROBOTA
(16 KOTEVNI SROUBY)

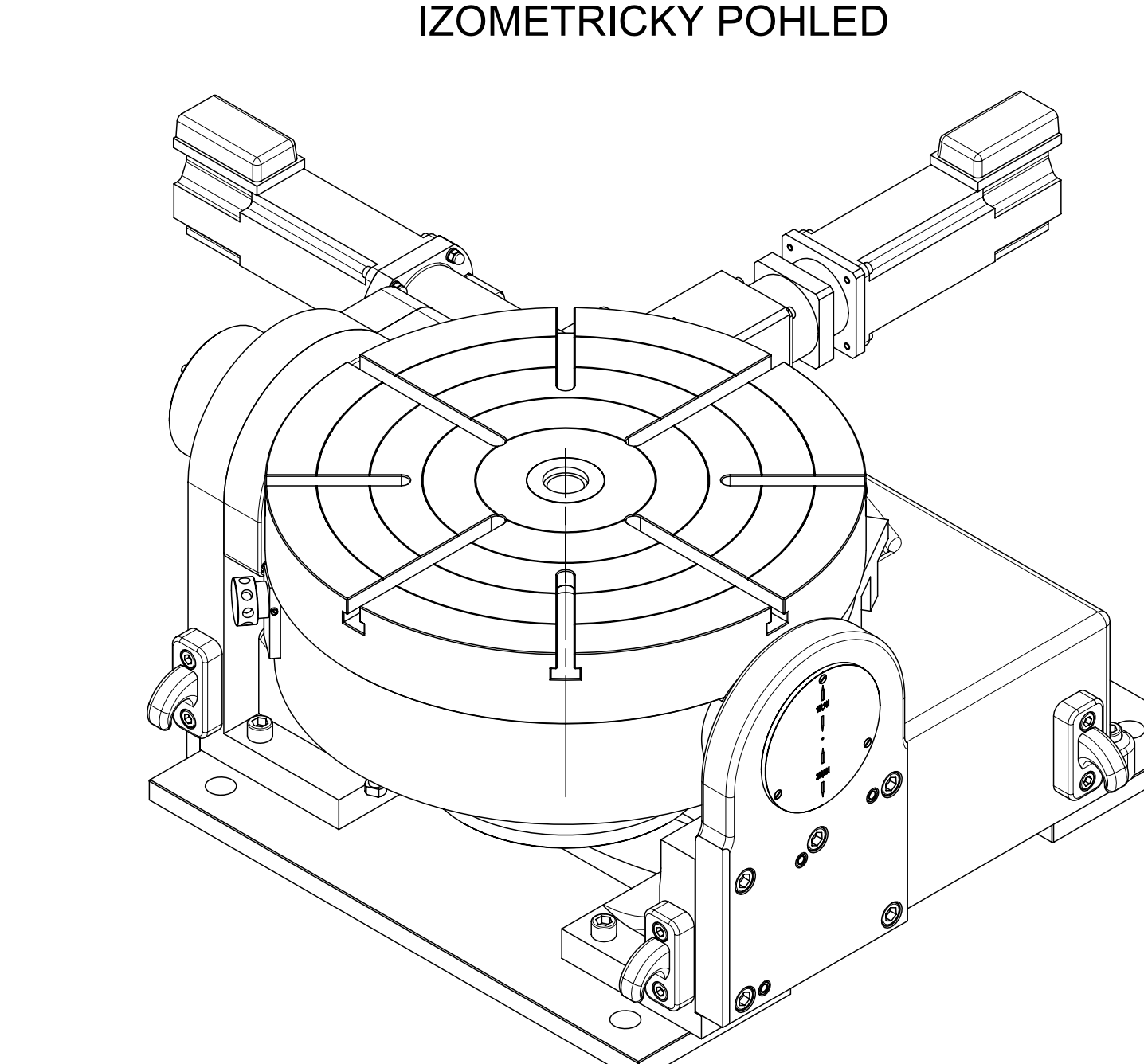
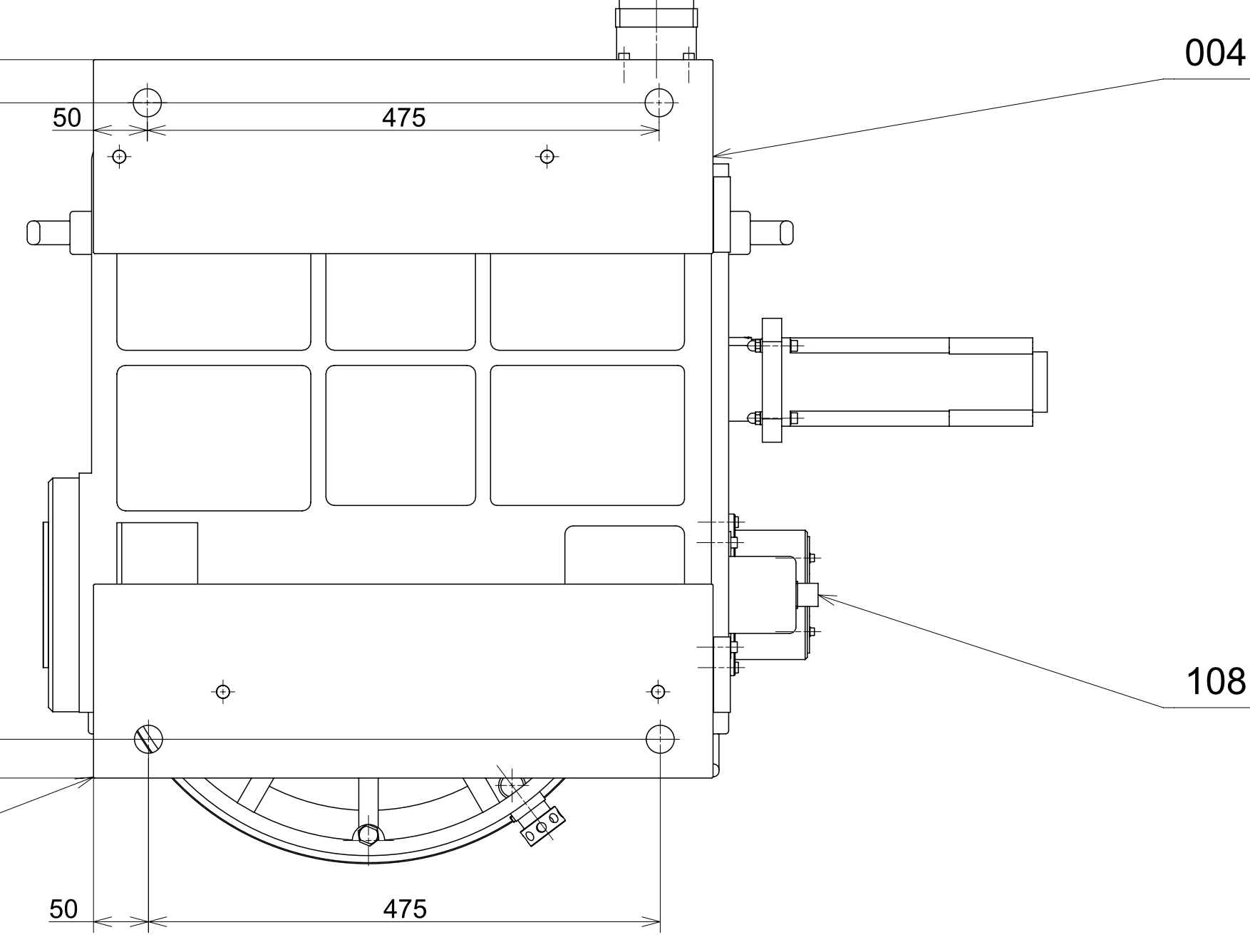
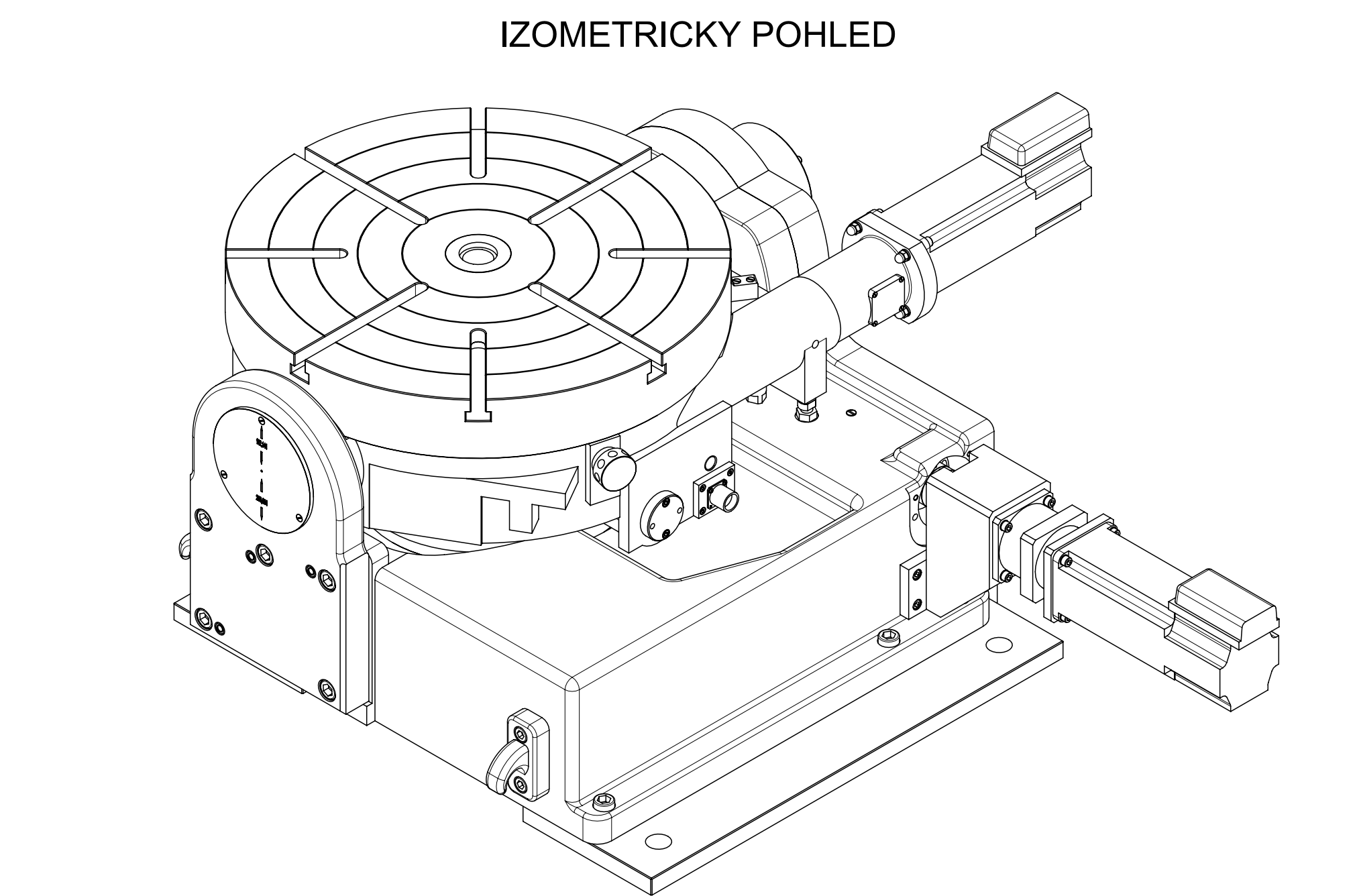
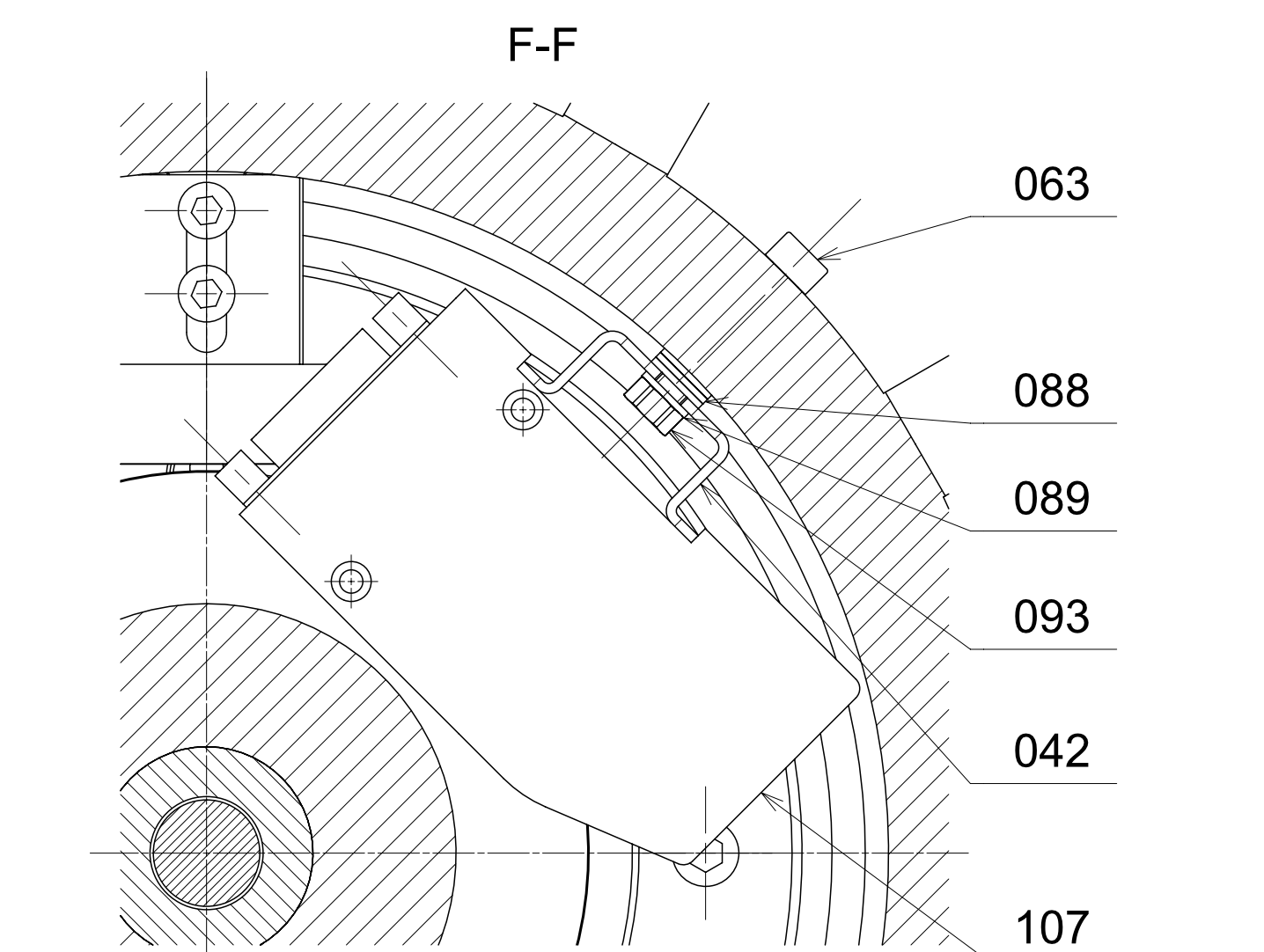
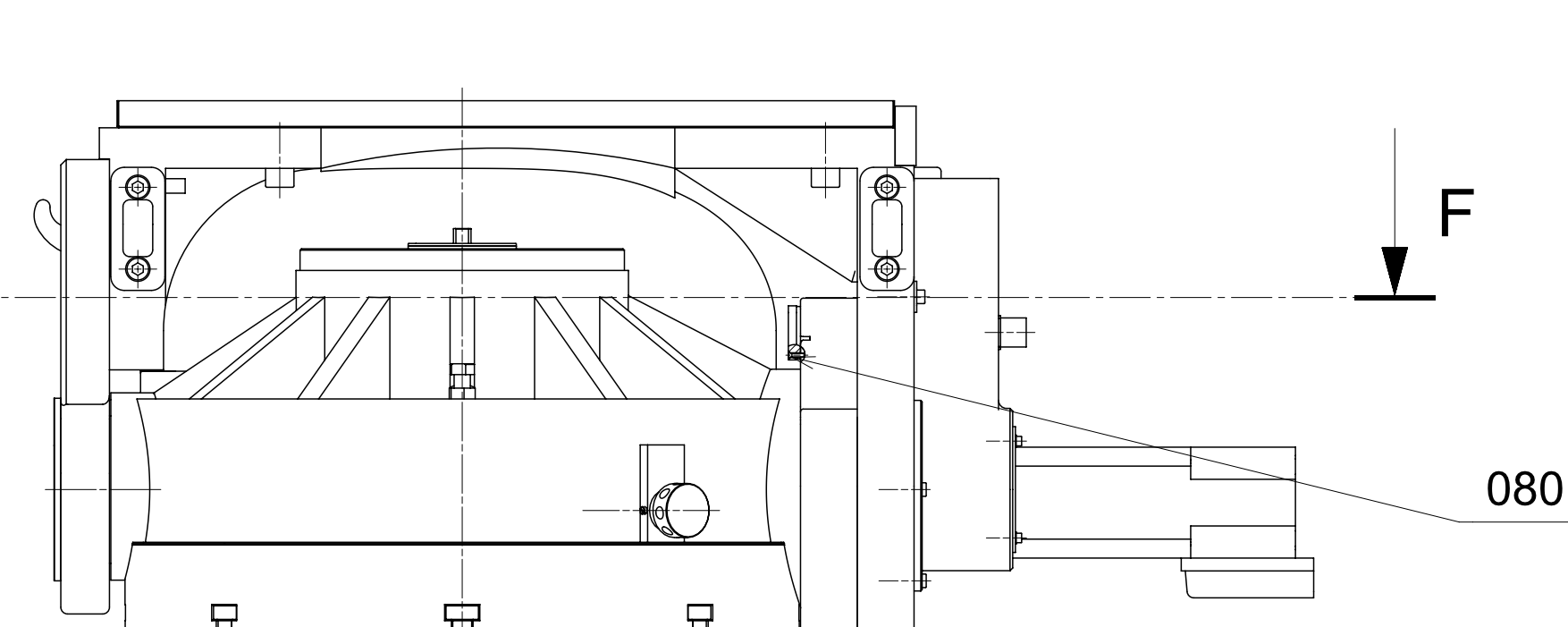
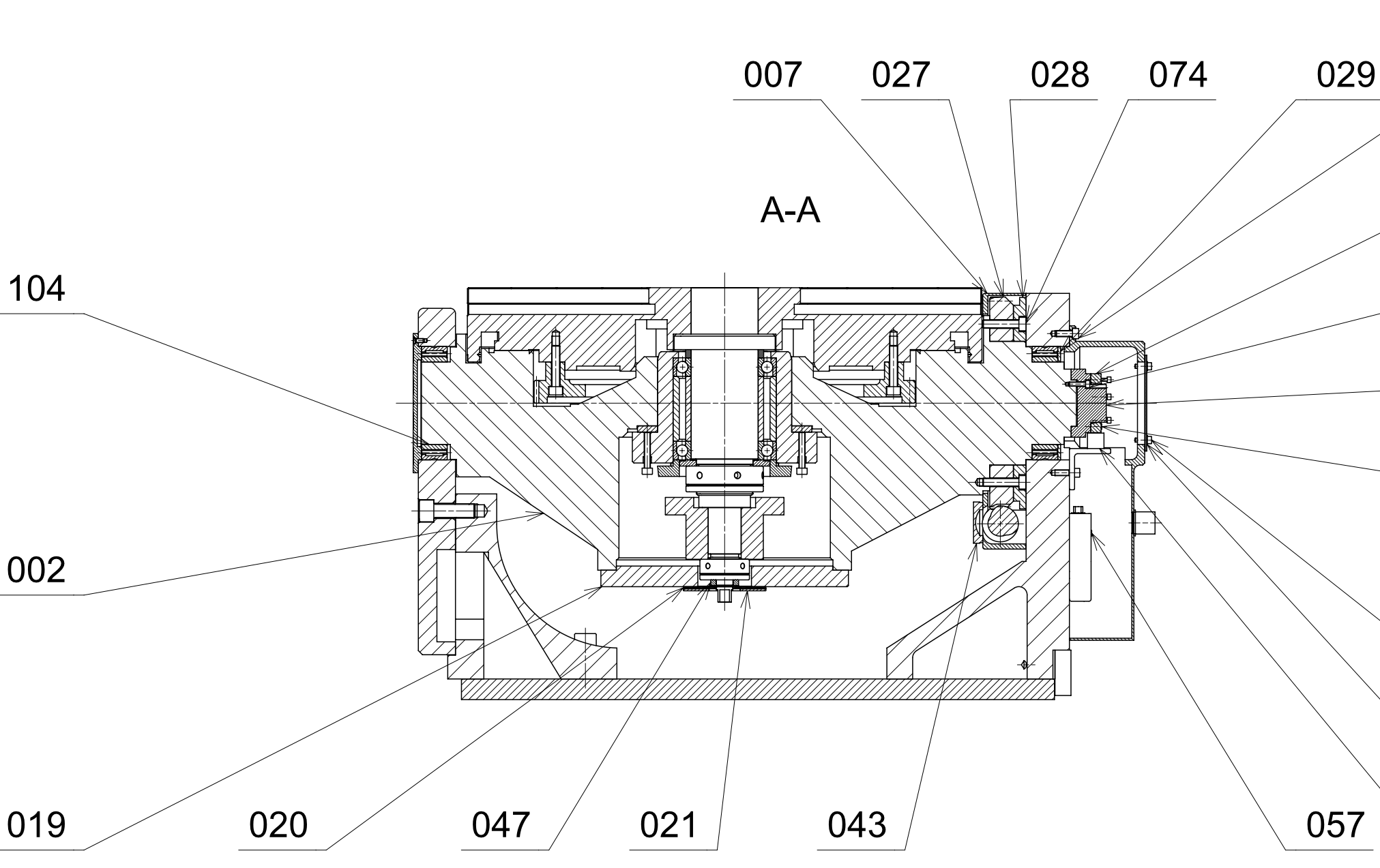
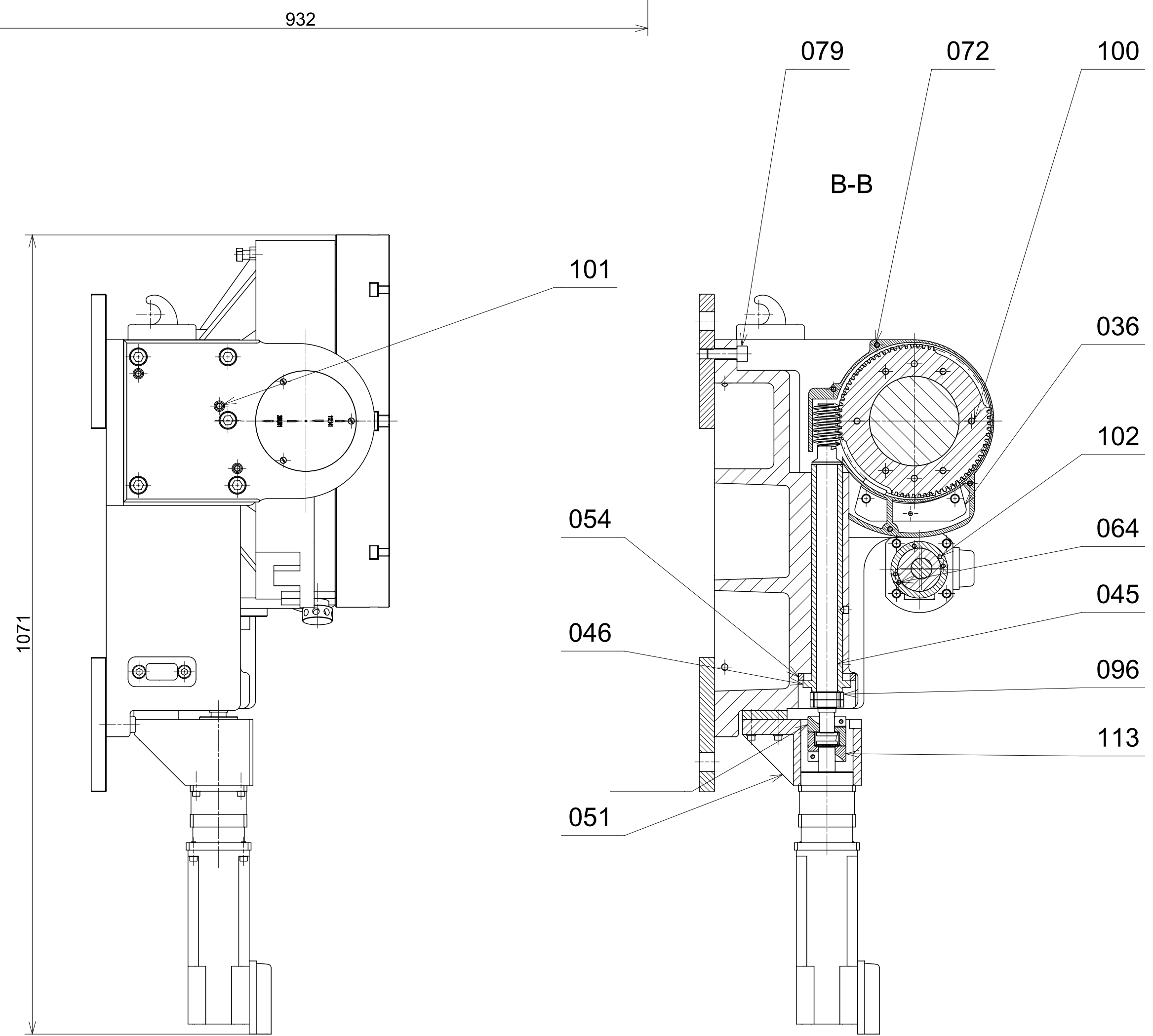
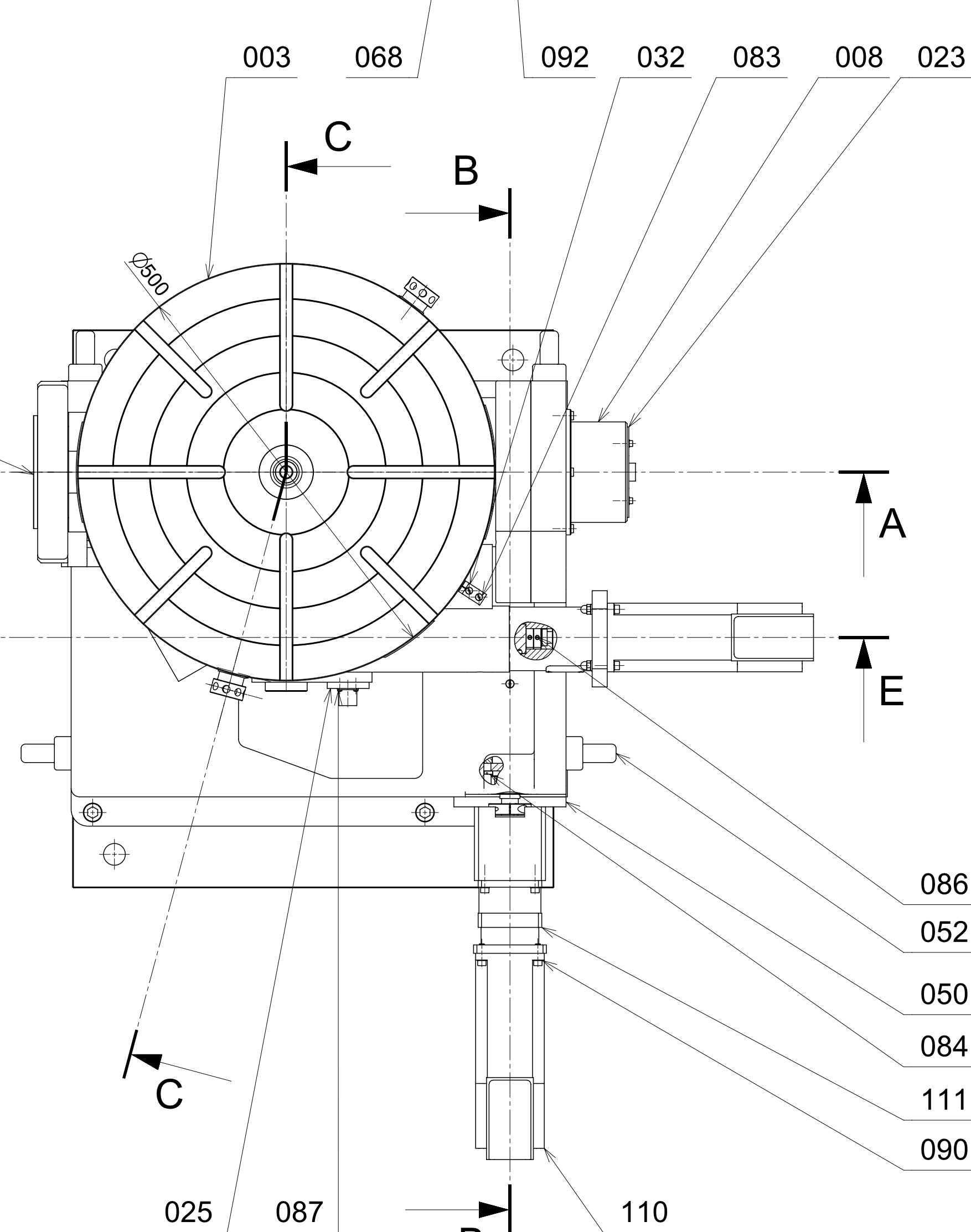
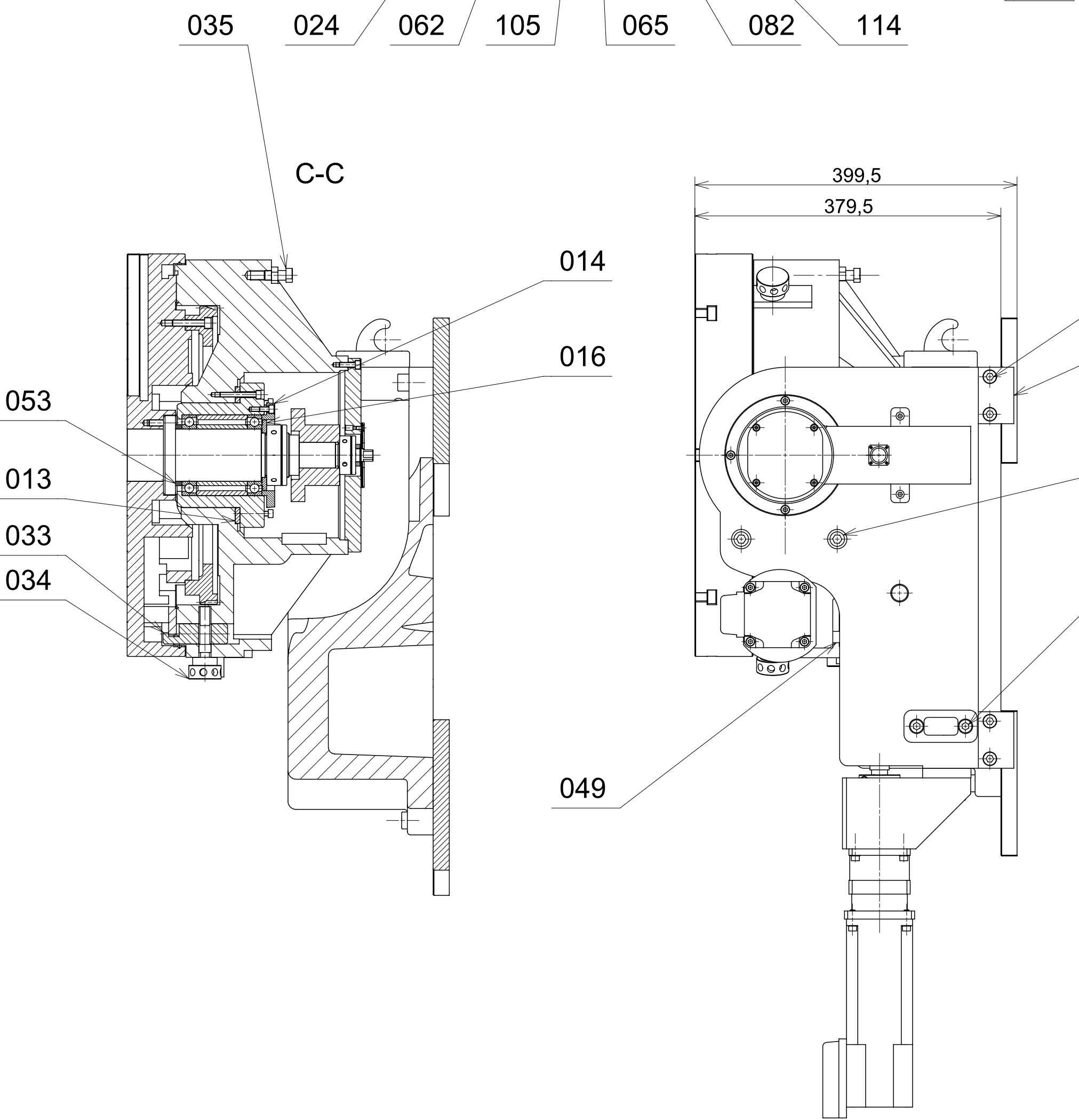
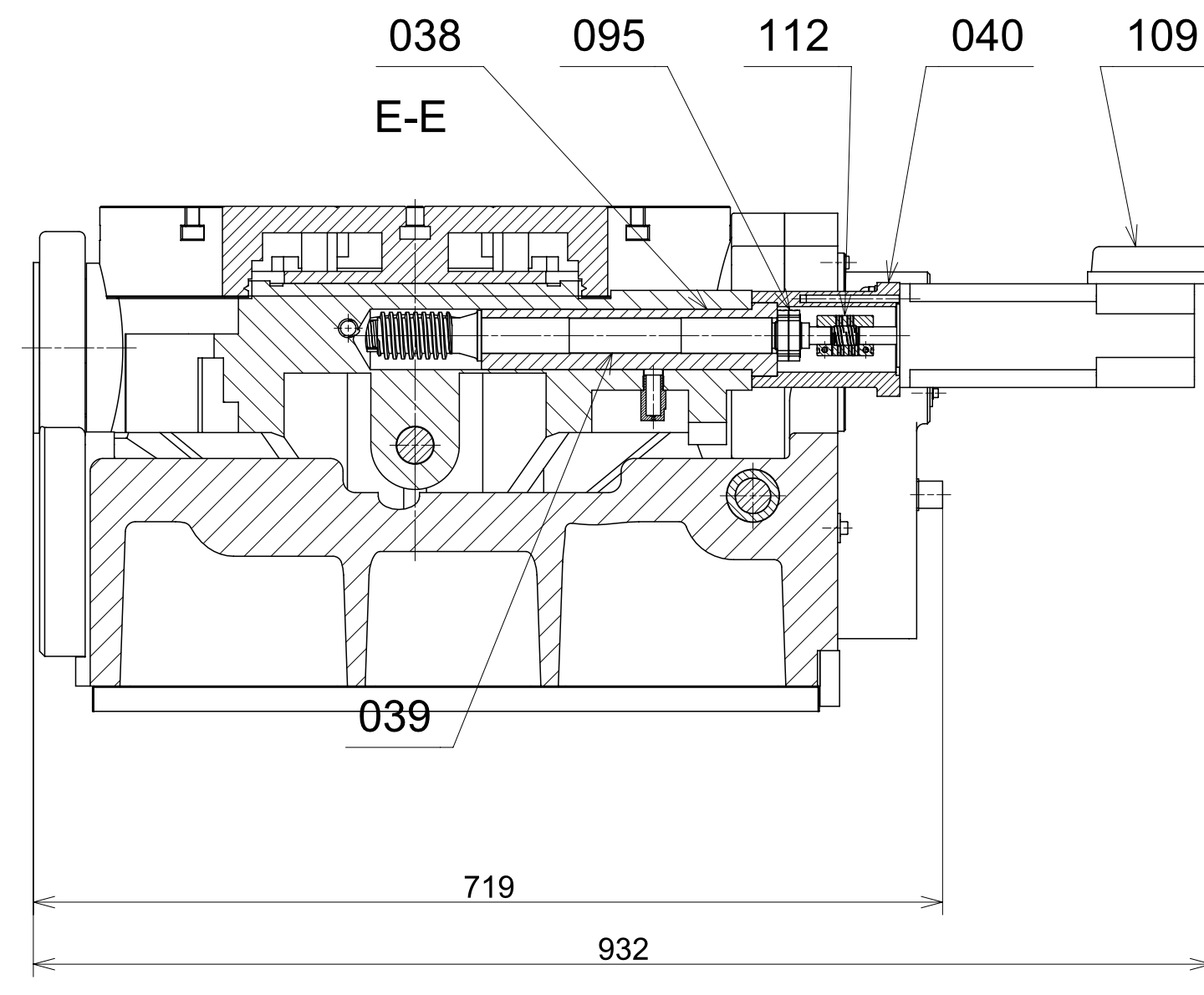
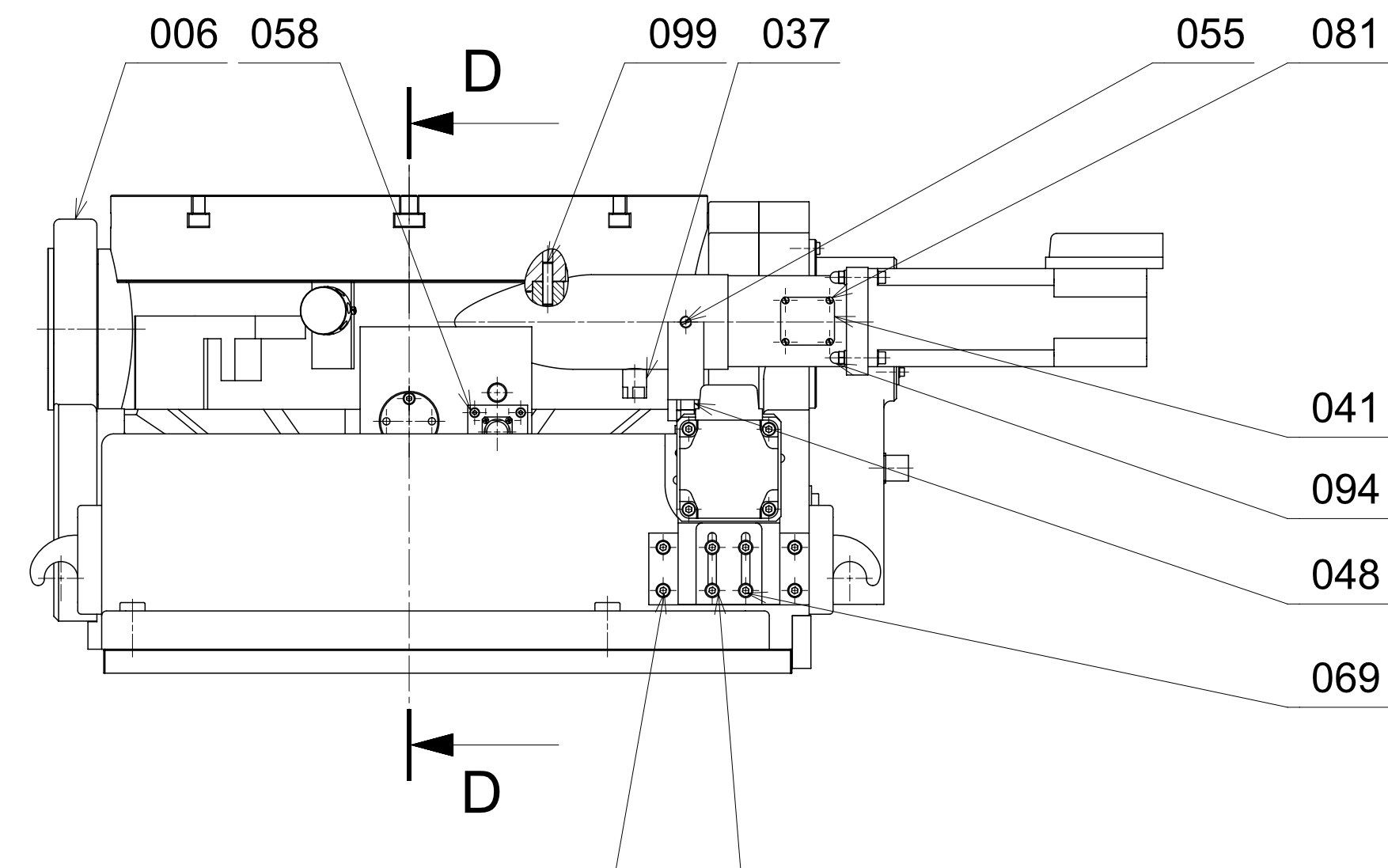
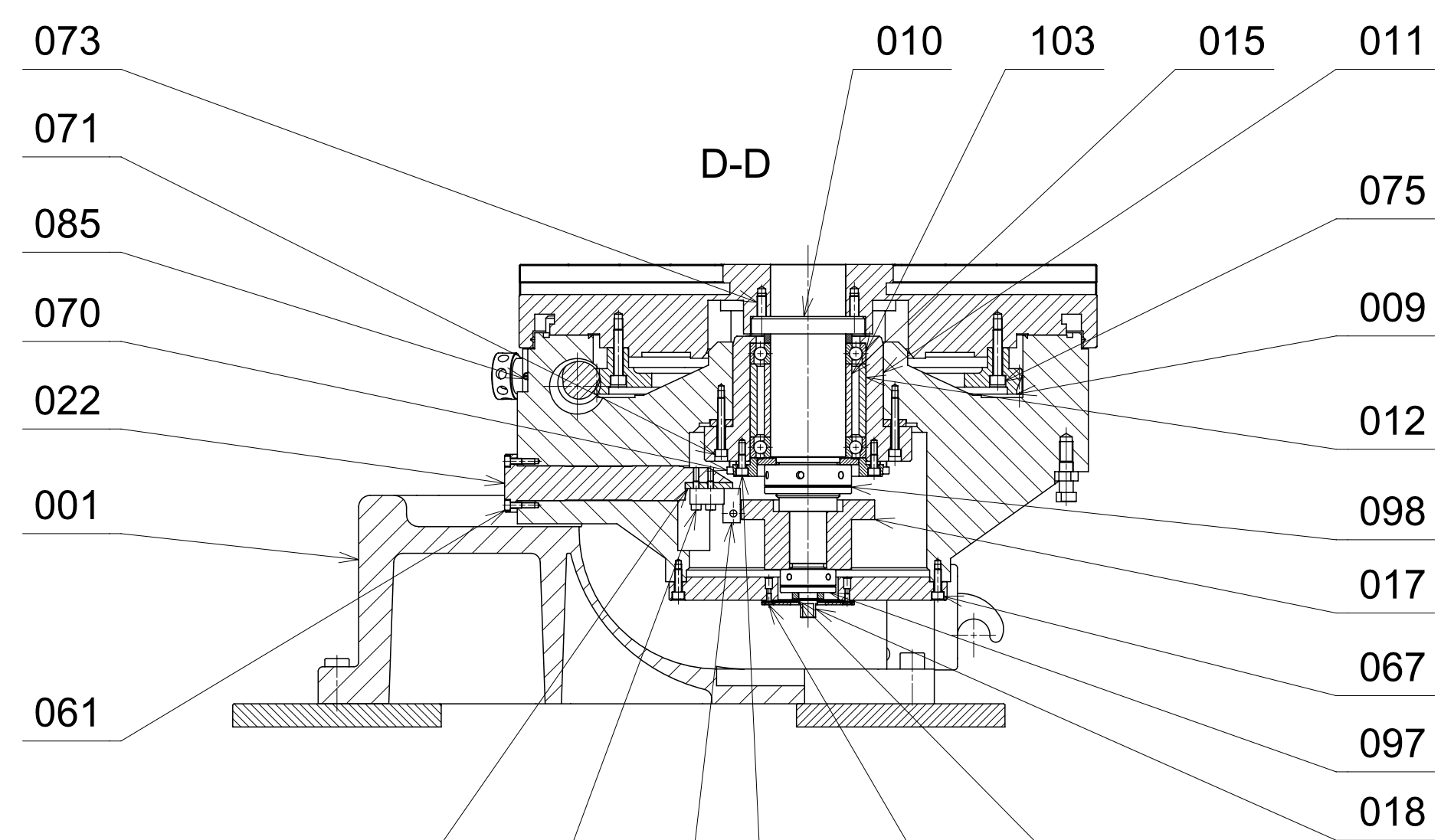
1. VYVRTANI OTVORU Ø35x380 DO PODLAHY
2. PROCISTENI OTVORU ROTACNIM KARTACEM NEBO TLAKOVYM VZDUCEM OD PRACHU
3. VLOZENI AMPULE RM30/280 DO VYVRTANEHO OTVORU
4. ZASROBOVANI KOTEVNIHO SROUBU RG M30x380 DO OTVORU S AMPULI
5. USAZENI KOTEVNIH DESEK TAK, ABY SE KOTEVNI SROUBY ZASUNULY DO PREDVYVRTANYCH OTVORU NA DESCE
6. DOTAZENI MATICE KOTEVNIHO SROUBU NA POZADOVANY MOMENT 300 Nm
7. USTAVENI ROBOTA NA KOTEVNIH DESKACH
8. DOTAZENI SROUBU DIN 933 M24x70 PRO UPEVNENI ROBOTA K DESKAM NA POZADOVANY MOMENT 640 Nm

Pop.	Název - rozpis	Přibližná hmotnost	Cena	Objem	Číslo výkresu	Podst. kř.	Quant.
0.001	SESTAVA HRAZENI - 4568x3580x2085	---	---	---	---	---	6-000 1
5.000	RIDICI JEDNOTKA - KUKA	7F-R-100R1	---	---	---	---	90.000 1
4.000	SESTAVA PRIRUBA - 42x200x243	---	---	---	---	---	10.831 4-000 1
3.000	SESTAVA ZASOBNIK NASTROJU - 128x102x848	---	---	---	---	---	88.764 3-000 1
2.000	SESTAVA POLOHOVACI STUL - ABAWERK	---	---	---	---	---	440.806 2-000 1
1.000	SESTAVA ROBOT - KUKA	KR 125/2	---	---	---	---	975.000 1-000 1
0.001	VRETENO - HSD	ES 929	---	---	---	---	26.000 1

POSTUP PRI KOTVENI HRAZENI A ZASOBNIKU NASTROJU
(40 KOTEVNIH SROUBU)

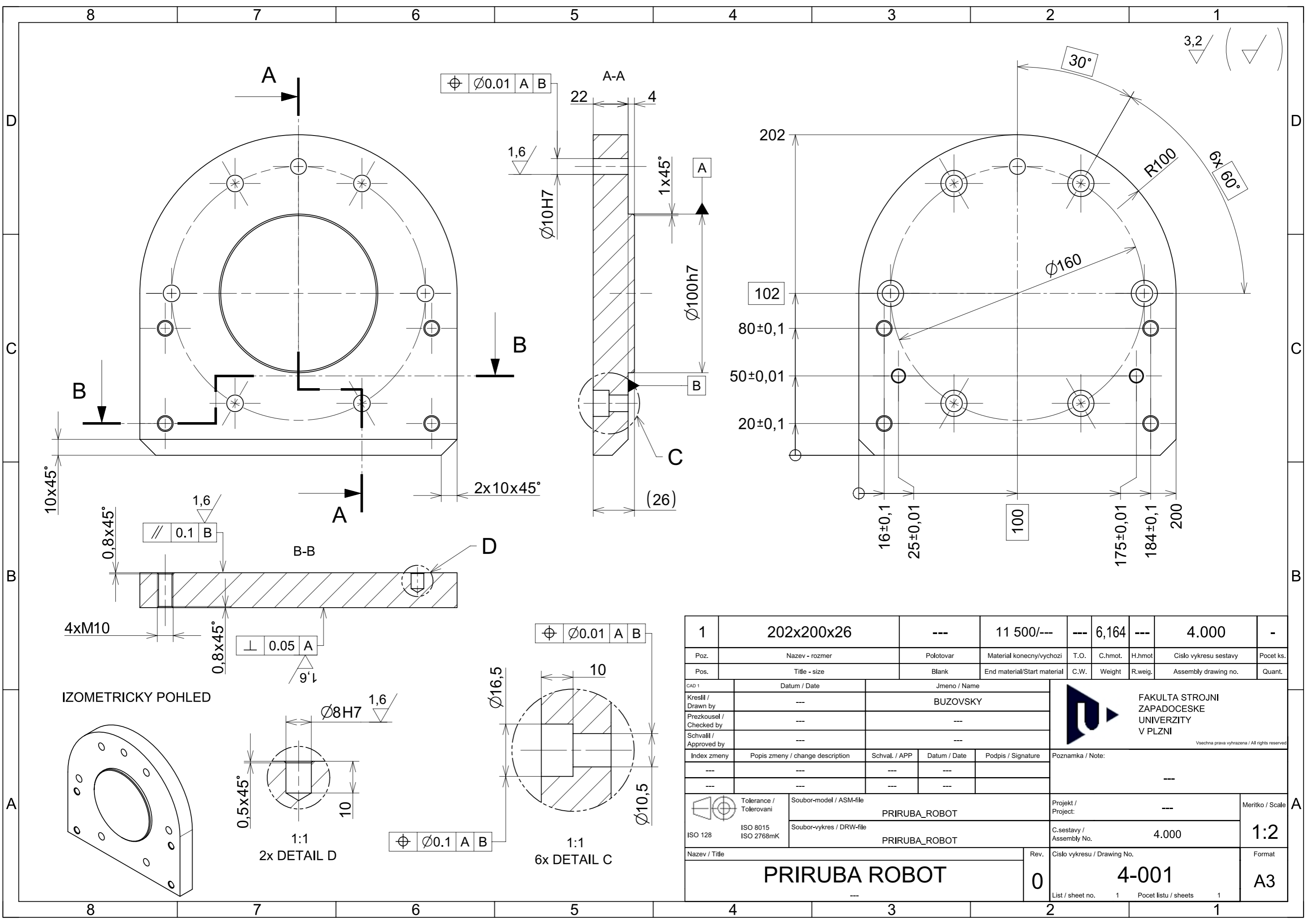
1. VYVRTANI OTVORU Ø8x60 DO PODLAHY
2. PROCISTENI OTVORU ROTACNIM KARTACEM NEBO TLAKOVYM VZDUCEM OD PRACHU
3. USAZENI KOTEVNIH PRIRUB NAD VYVRTANE OTVORY
4. USAZENI KOTVY HST M8x75 KLADIVEM DO OTVORU SKRZ UPEVNOVANOU PRIRUBU
5. DOTAZENI KOTVY MOMENTOVYM KLICEM NA POZADOVANY MOMENT 10 Nm



Datum / Date: 15.5.2017 Projekt / Project: BUZOVSKY		FAKULTA STROJNÍ ZAPADOSLOVSKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Verze / Version: 0.000 Cílová velikost / Target size: 2101,12	Měřítko / Scale: 1:20 Formát: A0
Název / Title: SESTAVA PRACOVISTE			Číslo výkresu / Drawing No.: 0-000 List / Sheet No.: 1	Počet kusů / sheets: 1

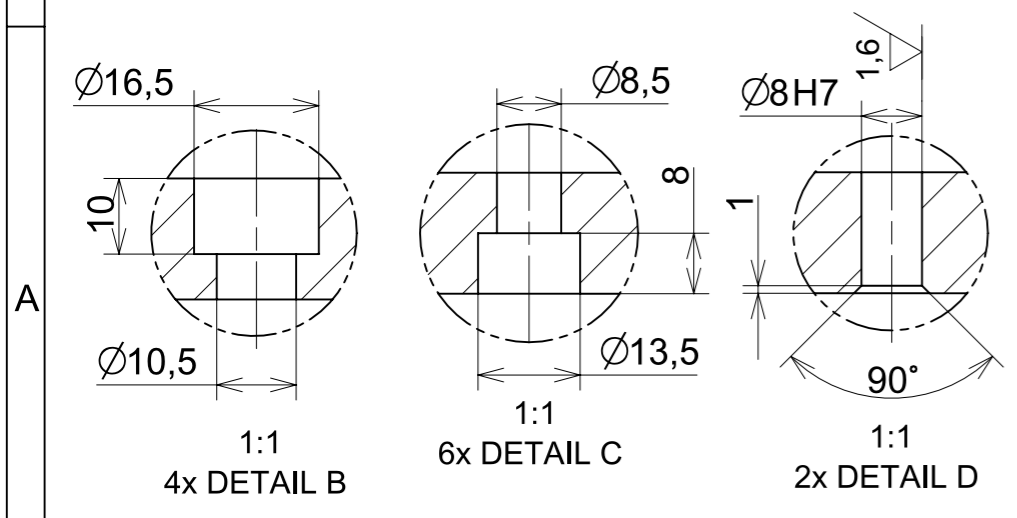
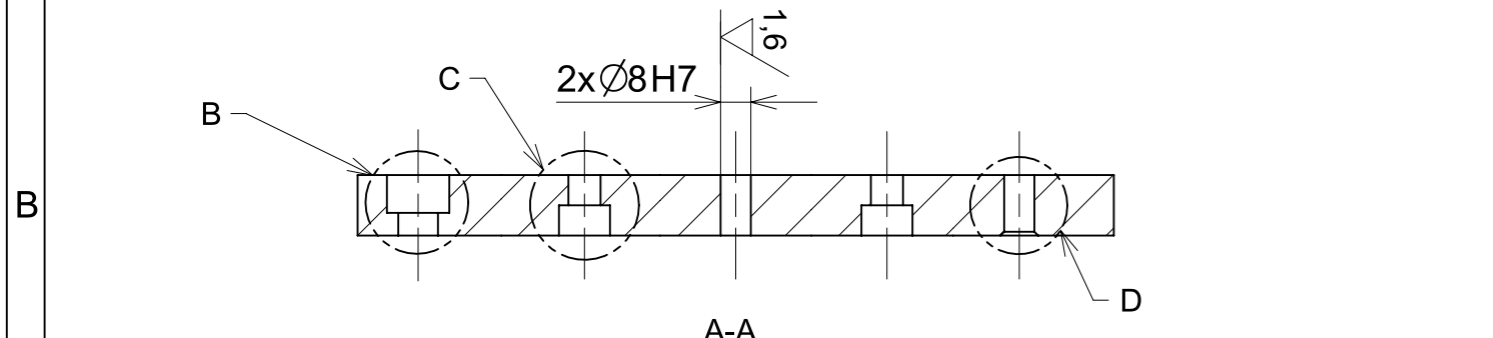
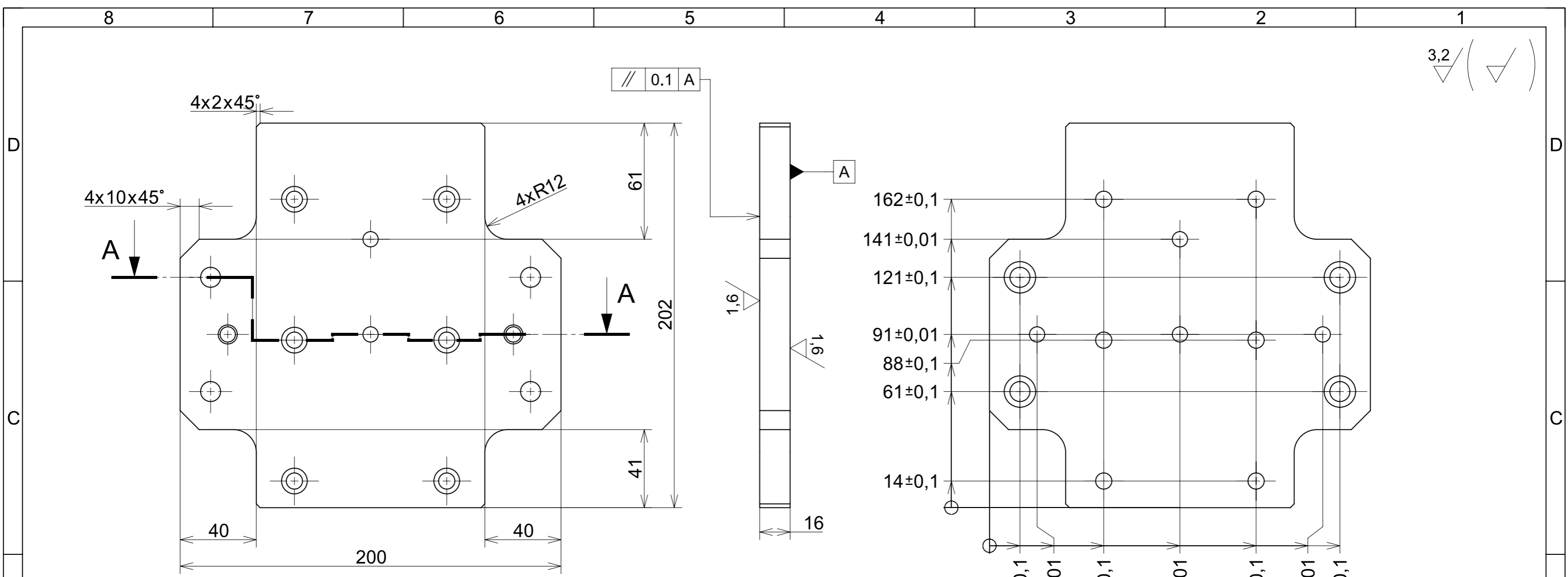


Poz.	Nazev - rozmer	Podlazka	Materiál	Kolicek	Uhol	Skupina	Uhol	Uhol	Uhol
114	KROUZEK - 16	DIN 471	MA251	0,001	---	---	---	---	---
113	SPOJKA - RULAND	FCMR32-14-14-A	---	0,250	---	---	---	---	---
112	SPOJKA - RULAND	FCMR32-14-14-A	---	0,124	---	---	---	---	---
111	PREVODOVKA - ALPHA	SP78-M1-10E	---	2,562	---	---	---	---	---
110	SERVOMOTOR - REXROTH	MKD041-OP322	---	4,400	---	---	---	---	---
109	SERVOMOTOR - INDRAMAT	MKD041-15028	---	4,400	---	---	---	---	---
108	KONEKTOR	---	---	0,047	---	---	---	---	---
107	JEDNOTKA SNIMACE - SIGNUM	---	---	0,400	---	---	---	---	---
106	SNIMAC 2 - SIGNUM	SI-NN-0040	---	0,196	---	---	---	---	---
105	SNIMAC 1 - SIGNUM	SI-NN-0004	---	0,195	---	---	---	---	---
104	LOZISKO - NK60/25-XL	---	---	0,536	---	---	---	---	---
103	LOZISKO - B7013E-T-P4S	---	---	0,492	---	---	---	---	---
102	KOLIK - A5x40	DIN 7	---	0,007	---	---	---	---	---
101	KOLIK - 14x60	DIN 7979	---	0,065	---	---	---	---	---
100	KOLIK - 8x45	DIN 7979	---	0,019	---	---	---	---	---
099	KOLIK - 8x36	DIN 7979	---	0,013	---	---	---	---	---
098	MATICE - MSR 55	---	---	0,363	---	---	---	---	---
097	MATICE - MSR 30	---	---	0,156	---	---	---	---	---
096	MATICE - M26	DIN 1804	---	0,078	---	---	---	---	---
095	MATICE - M22	DIN 1804	---	0,059	---	---	---	---	---
094	MATICE - M6	DIN 1587	---	0,005	---	---	---	---	---
093	MATICE - M5	DIN 934	---	0,001	---	---	---	---	---
092	PODLOZKA - 6,5	DIN 125	---	0,001	---	---	---	---	---
091	PODLOZKA - 4,5	DIN 125	---	0,000	---	---	---	---	---
090	PODLOZKA - 4,5	DIN 9708	---	0,007	---	---	---	---	---
089	PODLOZKA - 5,5	DIN 127	---	0,000	---	---	---	---	---
088	PODLOZKA - 5,5	DIN 125	---	0,000	---	---	---	---	---
087	SROUB - M2,5x10	DIN 7045	---	0,000	---	---	---	---	---
086	SROUB - M5x6	DIN 553	---	0,001	---	---	---	---	---
085	SROUB - M5x14	DIN 417	---	0,003	---	---	---	---	---
084	SROUB - M6x20	DIN 84	---	0,007	---	---	---	---	---
083	SROUB - M4x25	DIN 963	---	0,003	---	---	---	---	---
082	SROUB - M4x10	DIN 963	---	0,001	---	---	---	---	---
081	SROUB - M3x16	DIN 963	---	0,001	---	---	---	---	---
080	SROUB - M3x12	DIN 963	---	0,001	---	---	---	---	---
079	SROUB - M14x40	DIN 912	---	0,078	---	---	---	---	---
078	SROUB - M12x50	DIN 912	---	0,063	---	---	---	---	---
077	SROUB - M10x30	DIN 912	---	0,031	---	---	---	---	---
076	SROUB - M10x25	DIN 912	---	0,028	---	---	---	---	---
075	SROUB - M8x40	DIN 912	---	0,023	---	---	---	---	---
074	SROUB - M8x35	DIN 912	---	0,020	---	---	---	---	---
073	SROUB - M8x25	DIN 912	---	0,017	---	---	---	---	---
072	SROUB - M6x50	DIN 912	---	0,014	---	---	---	---	---
071	SROUB - M6x45	DIN 912	---	0,013	---	---	---	---	---
070	SROUB - M6x35	DIN 912	---	0,011	---	---	---	---	---
069	SROUB - M6x30	DIN 912	---	0,010	---	---	---	---	---
068	SROUB - M6x25	DIN 912	---	0,009	---	---	---	---	---
067	SROUB - M6x20	DIN 912	---	0,007	---	---	---	---	---
066	SROUB - M6x16	DIN 912	---	0,007	---	---	---	---	---
065	SROUB - M6x12	DIN 912	---	0,006	---	---	---	---	---
064	SROUB - M5x50	DIN 912	---	0,010	---	---	---	---	---
063	SROUB - M5x30	DIN 912	---	0,006	---	---	---	---	---
062	SROUB - M5x20	DIN 912	---	0,005	---	---	---	---	---
061	SROUB - M5x10	DIN 912	---	0,003	---	---	---	---	---
060	SROUB - M4x16	DIN 912	---	0,003	---	---	---	---	---
059	SROUB - M4x12	DIN 912	---	0,002	---	---	---	---	---
058	SROUB - M4x10	DIN 912	---	0,002	---	---	---	---	---
057	SROUB - M3x30	DIN 912	---	0,002	---	---	---	---	---
056	SROUB - M3x16	DIN 912	---	0,001	---	---	---	---	---
055	SROUB - M10x10	DIN 553	---	0,005	---	---	---	---	---
054	TRUBKA D76 - Ø76x10	---	PUVODNI	0,119	---	2-054	1	---	---
053	TRUBKA D76 - Ø76x8	---	PUVODNI	0,074	---	2-053	1	---	---
052	MANIPULACNI HAKY - Ø1x60x40	---	PUVODNI	0,645	---	2-052	4	---	---
051	PRIRUBA 2 - 159x8x85	---	11 373	3,945	---	2-051	1	---	---
050	UPINACI DESKA KONZOLY - 134x60x12	---	11 500	---	---	2-050	1	---	---
049	DORAZOVY SROUB 3 - Ø20x35	---	PUVODNI	0,028	---	2-049	1	---	---
048	DORAZOVY SROUB - Ø20x35	---	PUVODNI	0,048	---	2-048	1	---	---
047	TRUBKA D27 - Ø27x6	---	PUVODNI	0,017	---	2-047	1	---	---
046	VODICI POUZDRO 2 - Ø64x305	---	PUVODNI	1,910	---	2-046	1	---	---
045	HRIDEL 2 - Ø40x44	---	PUVODNI	2,063	---	2-045	1	---	---
044	DORAZOVA DESTICKA - 70x44x16	---	0,331	2,044	---	2-044	2	---	---
043	VNITRNI KRYT - 40x81x9	---	PUVODNI	0,149	---	2-043	1	---	---
042	PLISEK - 37x18x15	---	PUVODNI	0,012	---	2-042	1	---	---
041	KRYT OBIMKY - 45x40x11	---	ABS	0,010	---	2-041	1	---	---
040	PRIRUBA - 117x115x90	---	11 373	2,403	---	2-040	1	---	---
039	HRIDEL - Ø40x60	---	PUVODNI	1,724	---	2-039	1	---	---
038	VODICI POUZDRO - Ø58x234	---	PUVODNI	2,289	---	2-038	1	---	---
037	POUZDRO PRUZINY - Ø20x36	---	PUVODNI	0,046	---	2-037	1	---	---
036	BOCNI DESTICKA - 150x57x20	---	PUVODNI	0,604	---	2-036	1	---	---
035	DORAZOVY SROUB 2 - Ø20x35	---	PUVODNI	0,048	---	2-035	1	---	---
034	ARETACE - Ø40x90	---	PUVODNI	0,254	---	2-034	2	---	---
033	STREDICI CEP STOLU - Ø25x80	---	PUVODNI	0,223	---	2-033	2	---	---
032	RYSKA - 30x15x18	---	PUVODNI	0,062	---	2-032	1	---	---
031	KOTLOUC SNIMACE 2 - Ø57x10	---	PUVODNI	0,099	---	2-031	1	---	---
030	CEP NABOJE SNIMACE - Ø80x34	---	PUVODNI	0,502	---	2-030	1	---	---
029	KROUZEK Ø110 - Ø110x3	---	PUVODNI	0,096	---	2-029	1	---	---
028	KOTLOUC - Ø205x12	---	PUVODNI	1,787	---	2-028	1	---	---
027	OZUBENY VENEC - Ø206x23	---	PUVODNI	3,361	---	2-027	1	---	---
026	VICKO - Ø135x8	---	PUVODNI	0,607	---	2-026	1	---	---
025	DESTICKA KONEKTORU - 50x40x8	---	PUVODNI	0,092	---	2-025	1	---	---
024	UPINACI DESTICKA SNIMACE - 41x28x5	---	PUVODNI	0,041	---	2-024	1	---	---
023	VICKO KRYTU - 108x93x2	---	PUVODNI	0,133	---	2-023	1	---	---
022	POUZDRO SNIMACE - Ø50x197	---	PUVODNI	1,007	---	2-022	1	---	---
021	VICKO SPODNI DESKY - Ø80x2	---	PUVODNI	0,065	---	2-021	1	---	---
020	PRYZOVA VLOZKA - Ø80x2	---	PUVODNI	0,009	---	2-020	1	---	---
019	OSA - Ø26x211	---	PUVODNI	6,351	---	2-019	1	---	---
018	OSA - Ø26x211	---	PUVODNI	0,342	---	2-018	1	---	---
017	KOTLOUC SNIMACE - Ø115x60	---	PUVODNI	2,334	---	2-017	1	---	---
016	PRITKACNY KROUZEK 2 - Ø88x6	---	PUVODNI	0,155	---	2-016	1	---	---
015	TRUBKA D76 - Ø76x8	---	PUVODNI	0,570	---	2-015	1	---	---
014	PRITLACNY KROUZEK - Ø130x16	---	PUVODNI	0,591	---	2-014	1	---	---
013	KROUZEK - Ø160x8	---	PUVODNI	0,419	---	2-013	1	---	---
012	VLOZKA POUZDRA - Ø100x83	---	PUVODNI	0,863	---	2-012	1	---	---
011	POUZDRO PRO LOZISKA - Ø179x108	---	PUVODNI	7,273	---	2-011	1	---	---
010	HRIDEL STOLU - Ø90x289	---	PUVODNI	4,919	---	2-010	1	---	---
009	OZUBENE KOLO 1 - Ø370x40	---	PUVODNI	8,606	---	2-009	1	---	---
008	KRYT SNIMACE - 305x150x63	---	PUVODNI	2,132	---	2-008	1	---	---
007	KRYT OZUBENEHO VENCE - 248x265x42	---	PUVODNI	2,209	---	2-007	1	---	---
006	BOCNI DESKA STOLU - 338x217x36	---	PUVODNI	13,282	---	2-006	1	---	---
005	KOTEVNI DESKA ZADNI - 178x575x20	---	11 500	16,001	---	2-005	1	---	---
004	KOTEVNI DESKA PREDNI - 178x575x20	---	11 500	16,001	---	2-004	1	---	---
003	UPINACI DESKA - Ø500x72	---	PUVODNI	63,117	---	2-003	1	---	---
002	NAKLAPACI ZAKLADNA - 635x600x240	---	PUVODNI	108,157	---	2-002	1	---	---
001	ZAKLADNA STOLU - 532x603x374	---	PUVODNI	167,929	---	2-001	1	---	---

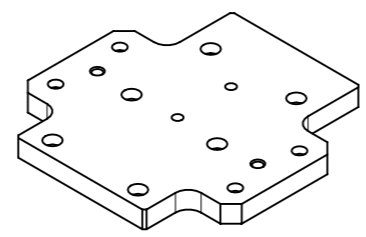
Poz. Nazev - rozmer Podlazka Materiál Kolicek Uhol Skupina Uhol Uhol
 001 23.4.2017 BUZOVSKY
 002 2,000
 003 440,81
 004 1:5
 005 A0



1	202x200x26	---	11 500/---	---	6,164	---	4.000	-
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material konecny/vychozi	T.O.	C.hmot.	H.hmot	Cislo vykresu sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weig.	Assembly drawing no.	Quant.
CAD 1	Datum / Date		Jmeno / Name		 FAKULTA STROJNI ZAPADOCESKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small>			
Kreslil / Drawn by	---		BUZOVSKY					
Prezkoušel / Checked by	---		---					
Schválil / Approved by	---		---					
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:			
---	---	---	---	---	---			
---	---	---	---	---	---			
 Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file			Projekt / Project:		Meritko / Scale		
	PRIRUBA_ROBOT			---		1:2		
ISO 128 Nazev / Title	Soubor-vykres / DRW-file			C.sestavy / Assembly No.		Format		
	PRIRUBA_ROBOT			4.000		A3		
PRIRUBA ROBOT				Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.		Format	
---				0	4-001		A3	
---				List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets	1	



IZOMETRICKY POHLED



2	200x202x16	---	11 500/---	---	3,845	---	4.000	-
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material konecny/vychozi	T.O.	C.hmot.	H.hmot	Cislo vykresu sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weig.	Assembly drawing no.	Quant.
CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name		 FAKULTA STROJNI ZAPADOCESKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small>				
Kresil / Drawn by	---	BUZOVSKY						
Prezkoušel / Checked by	---	---						
Schválil / Approved by	---	---						
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:			
---	---	---	---	---	---			
---	---	---	---	---	---			
 Tolerance / Tolerovani ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file		PRIRUBA_VRETENO		Projekt / Project:		---	
	Soubor-vykres / DRW-file		PRIRUBA_VRETENO		C.sestavy / Assembly No.		4.000	
Nazev / Title				Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.			Format
PRIRUBA VRETENO				0	4-002			1:2
---				List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets	1	A3