



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Mehaanika- ja tööstustehnika instituut
Tootmissüsteemide õppetool

MER70LT

Madis Moor

TTÜ KIIRFREESIMISE ROBOTSÜSTEEMI ARENDUS

Autor taotleb
tehnikateaduse magistri
akadeemilist kraadi

Tallinn
2016

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis dots Martinš Sarkans-i juhendamisel

“20”mai 2016 a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....”.....201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

Tootearenduse õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”.....201... a.

.....

allkiri

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2016 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Madis Moor, 132631 MATM
Õppekava Tootearendus ja tootmistehnika MATM 02/11
Eriala Tootearendus
Juhendaja: Martinš Sarkans, dotsent, Tootmissüsteemide õppetool

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

TTÜ kiirfreesimise robotsüsteemi arendus
Development of High-Speed Robotic Milling System in TUT

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1	Analüüsida süsteemi kuuluvad seadmed. Koostada robotsüsteemi esialgne ülesehitus.	Veebruar 2016
2.	Kontrollida arvutuslikult süsteemi seadmeid. Konstrueerida spindli ja manipulaatori kinnitussõlm, teostada tugevusanalüüs ning anda soovitus detaili valmistamiseks. Esitada lõplik lahendus	Märts 2016
3.	Valida süsteemi vajalikud elektrilised ja pneumaatilised komponendid, kirjeldada nende funktsiooni süsteemis.	Aprill 2016
4.	Kirjeldada lahti kõik robotsüsteemi kuuluvate seadmete ja tarvikute maksumus.	Aprill/mai 2016
5.	Koostada virtuaalne kiirfreesimise robotsüsteem tarkvaraga ABB RobotStudio. Simuleerida tööradasid ja instrumendivahetust. Töö ja jooniste lõplik vormistamine.	Mai 2016

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:

- Konstrueerida spindli ja robotmanipulaatori kinnitussõlm vastavalt nõuetele;

Täiendavad märkused ja nõuded:

- Vormistada kiirfreesimise robotsüsteemi koostejoonis;
- Vormistada detailide tööjoonised.

Töö keel: eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt

Töö esitamise tähtaeg 20.05.2016

Üliõpilane Madis Moor, 56987527 /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja Martinš Sarkans /allkiri/ kuupäev.....

Sisukord

Magistritöö ülesanne	3
Eessõna.....	7
Sissejuhatus	8
1. Kiirfreesimise robotsüsteemi mudel ja seadmete asetus	10
1.1 Robotmanipulaator ABB IRB 6640 180-2.55	10
1.2 Robotsüsteemi kontrolleri ABB IRC5 Single Cabinet.....	14
1.3 Spindli valik – Precision Drive Systems	16
1.3.1 PDS XLHS 110	16
1.3.2 PDS XLHS110 elektrilise spindli paigaldamine	20
1.3.3 Instrumendihoidik ISO 30	22
1.4 Töölaud ja ümbritsev keskkond	23
2. Spindli kinnituse konstrueerimine.....	26
2.1 Lõikejõudude arvutus freesimisel.....	27
2.2 Kinnitusflantsi konstrueerimine	33
2.3 Kinnitusflantsi tugevusanalüüs kasutades LEM-i	35
2.4 Valmistamise tehnoloogia	41
2.4.1 Kinnitusflantsi esimene paigaldus.....	42
2.4.2 Kinnitusflantsi teine paigaldus	47
3. Süsteemi pneumaatika komponentide valik.....	52
3.1 Spindli jahutus.....	52
3.2 Nõuded õhukvaliteedile.....	54
3.3 Pneumaatika süsteem	55
3.4 Pneumaatika komponendid	58
3.4.1 Õhutorustik.....	58

3.4.2	Õhu ettevalmistusplokk.....	59
3.4.3	Elektrilise juhtimisega suunaventiilid	60
3.4.4	Kiirväljalaskeklapp.....	61
3.4.5	Ühenduskaablid	62
3.4.6	Liitmikud	63
4.	Süsteemi elektrikomponendid	65
4.1	Elektrilise spindli PDS XLHS 110 elektriskeem	65
4.2	Elektrilise spindli esmane käivitamine.....	69
4.3	Süsteemi lisatud elektritarvikud	70
4.3.1	Elektrikapp Rittal 15003173	70
4.3.2	24 VDC toiteplokk MDR-100-24 Meanwell	71
4.3.3	16 A kaitselüliti D GE RL G103	72
4.3.4	Lülitid, kinnitustarvikud ja kaabliühendused	73
5.	Hinnakalkulatsioon.....	75
5.1	Robotmanipulaator ABB IRB 6640 ja kontrolleri ABB IRC 5 Single Cabinet.....	75
5.2	Elektriline spindel PDS XLHS 110 ja tarvikud	76
5.3	Kaabeldus	76
5.4	Pneumaatikakomponendid	77
5.5	Elektrikomponendid	78
5.6	Spindli kinnitussõlme valmistamine	80
5.7	Süsteemi kogumaksumus	80
	Kokkuvõte	82
	Summary	85
	Kasutatud allikad.....	88
	Lisad	93

Lisa 1 Süsteemi asetus.....	94
Lisa 2 PDS XLHS 110 spindlisõlme koostejoonis.....	96
Lisa 3 Kinnitusflantsi tööjoonis	97
Lisa 4 Kinnitusflantsi esimese paigalduse masinaajad	98
Lisa 5 Kinnitusflantsi teise paigalduse masinaajad.....	100
Lisa 6 Sisend- ja väljundsignaalide seosed ning kirjeldused	102
Lisa 7 Robotsüsteemi hinnapakumine.....	103
Lisa 8 Igus kaabelduse hinnapakumine.....	107
Lisa 9 Elektrilise spindli PDS XLHS 110 ja tarvikute hinnapakumine	109
Lisa 10 Pneumaatika komponentide hinnapakumine.....	112
Lisa 11 Simulatsiooni keskkonna ülesehitus ABB RobotStudios.....	114

EESSÕNA

Käesolev magistritöö „TTÜ kiirfreesimise robotsüsteemi arendus“ koostatakse Tallinna Tehnikaülikooli baasil. Töös kirjeldatud robotsüsteem on planeeritud TTÜ Mehaanika- ja tööstustehnika instituudi Rapidlab laboratooriumisse. Magistritöö teema algatajaks oli dotsent Martinš Sarkans, kelle juhendamisel töö valmis. Siinkohal tahaksingi hr Martinš Sarkansit tänada vajalike materjalidega varustamise eest ning konsultatsioonide eest.

SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on konstrueerida ja koostada Tallinna Tehnikaülikooli (edaspidi TTÜ) laboratooriumisse kiirfreesimise robotsüsteemi terviklik kompleks. Kompleksi kuulub olemasolev ABB robotmanipulaator IRB 6640, manipulaatori juurde kuuluv kontrolleri, T-soontega töölaud toorikute rakistamiseks ning arendusprojekti jaoks konstrueeritud instrumendilaud. Lisaks on vaja kiirfreesimise robotsüsteemi tarbeks valida sobilik spindel, mis rahuldaks süsteemi tehnilisi nõudeid.

Robotsüsteemi kasutamine freesimiseks annab võimaluse kasutada väga suurt tööala, mis on traditsiooniliste metallilõikepinkide puhul piiratud. Samuti ei pea töö- või abiorganid paiknema töötluskeskuses, vaid võivad olla eraldiseisvad üksused, mida juhitakse läbi kontrollersüsteemi. Robotmanipulaatori kuus telge võimaldavad töödelda väga keerulisi kujupindu ühes paigalduses. Kiirfreesimise robotsüsteemi eesmärgiks on freesida pehmeid materjale kõvadusega kuni 160 HB. Materjalideks on puit, erinevad plastid, alumiinium ja vasesulamid.

Töö koosneb viiest põhiosast:

- Kiirfreesimise robotsüsteemi mudel ja seadmete asetus;
- Spindli kinnituse konstrueerimine;
- Süsteemi pneumaatika komponentide valik;
- Süsteemi elektrikomponendid;
- Hinnakalkulatsioon.

Esimene peatükk annab ülevaate arendusprojekti lähteandmetest. Kirjeldatakse millised seadmed on TTÜ laboratooriumis olemas, tuuakse välja seadmete ja keskkonna karakteristikad. Täpsustatakse robotsüsteemi kuuluvate seadmete tehniline spetsifikatsioon. Antud peatükis teostatav analüüs koondab seadmed ühtseks robotsüsteemi kompleksiks.

Teine peatükk, mis sisaldab spindli kinnituse konstrueerimist, kirjeldab erinevaid konstruktiivseid lahendusi, kuidas kinnitada spindel robotmanipulaatori külge. Konstrueeritakse vajalik sõlm spindli ja robotmanipulaatori ühendamiseks ning põhjendatakse valitud tehnilisi lahendusi. Sõlmele teostatakse täiendav tugevusanalüüs, et määrata konstruktsiooni piirangud ning töötatakse välja valmistustehnoloogia.

Kolmas peatükk esitab ülevaate süsteemi pneumaatilisest juhtimisest. Peatükk on jagatud alapeatükkideks, täpsemalt elektrilise spindli jahutuse skeem ning nõuded õhukvaliteedile. Peatüki lõpuks esitatakse kogu süsteemi terviklik pneumaatika skeem, mis tagab süsteemi jätkusuutliku toimimise. Lisaks kirjeldatakse täiendavalt süsteemi kuuluvad pneumaatilised komponendid.

Neljandas peatükis esitatakse robotsüsteemi elektrilise toiteallikaga ühendamise võimalused. Peatükk on jagatud alapeatükkideks, kus täpsemalt käsitletakse elektri- ja juhtsignaalide ühendusi ja kirjeldatakse ära elektrilise spindli esmakordse käivitamise nõuded. Lisaks koostatakse robotsüsteemi tarbeks lokaalne elektrikapp ning antakse ülevaade elektrikappi kuuluvate komponentide kohta.

Viimane peatükk toob välja arendusprojekti majanduslikud näitajad ning annab ülevaate arendusprojekti kogumaksumusest. Siia alla jääb kiirfreesimise robotsüsteemi kompleksi kuuluvate seadmete maksumus, lisaks vajalikud pneumaatilised ja elektrilised komponendid ning teenused ja ostutooted.

Käesolev magistritöö on tootearendusliku laadiga ning eesmärgiks on tervikliku kiirfreesimise robotsüsteemi koostamine. Töö lisamaterjalides on autori poolt koostatud konstruktiivsed lahendused. Sinna alla kuulub graafiline materjal nagu koostejoonised ja tööjoonised. Lisaks on lisamaterjalides esitatud majanduslikku kalkulatsiooni toetav materjal nagu erinevate seadmete ja komponentide hinnapakumised.

1. KIIRFREESIMISE ROBOTSÜSTEEMI MUDEL JA SEADMETE ASETUS

Käesolev peatükk puudutab arendatavat kiirfreesimise robotsüsteemi. Peatükis kirjeldatakse süsteemi kuuluvad seadmed, mis annab iga seadme kohta ülevaate. Seadmete tehniline spetsifikatsioon piiritleb kindlalt ära seadmete võimekuse, mis on vajalik kogu süsteemi hindamiseks. Seadmete võimekus peab olema omavahel kooskõlas, et tagada süsteemi jätkusuutlik ning tõrkevaba toiminime.

Peatükk on jagatud alapeatükkideks, mis käsitlevad üksikuid seadmeid eraldi. Viimane alapeatükk annab ülevaate arendatavast kiirfreesimise robotsüsteemi paiknemisest. Süsteemi kuuluvad seadmed on:

- Robotmanipulaator ABB IRB 6640 180-2.55;
- Robotsüsteemi kontroller ABB IRC 5 Single Cabinet;
- Spindel PDS XLHS 110;
- Töölaud ja ümbritsev keskkond.

1.1 Robotmanipulaator ABB IRB 6640 180-2.55

ABB on juhtiv tööstusrobotite ning moodulsüsteemide ja teenuste pakkuja. ABB fookus on kindlalt suunitletud ettevõtete tootlikkuse tõstmisele, toote kvaliteedi tagamisele ja tööliste ohutusele. Globaalse ettevõttena on ABB paigaldanud üle 250 000 tööstusroboti üle maailma. Robotmanipulaatorite valik on suur ning peamiselt jaotatakse rakenduse, kasuliku kandekoormuse ning liikumisulatuse järgi. Manipulaatorite rakenduseks võib olla kaar- ja punktkeevitus, koostamine, värvimine ja pinnakatted, lõiketöötlemine, valutehnoloogia, lihvimine, möödistamine, skaneerimine. Eelpool on välja toodud ainult väike osa kasutusrakendustest mida on võimalik teostada kasutades robotmanipulaatoreid. Alljärgnevas tabelis (Tabel 1.1) on välja toodud osa ABB robotmanipulaatoreid jagunemise järgi.

Tabel 1.1 Valik ABB robotmanipulaatoreid [1]

Nimi	Kasulik kandekoormus	Liikumisulatus
	kg	m
IRB 120	3	0,58
IRB 140	6	0,81
IRB 1600	6/10	1,2/1,45
IRB 2400	12/20	1,65/1,85
IRB 4400	10/60	1,95/2,55
IRB 660	180/250	3,15
IRB 6640	130-235	2,55-3,2
IRB 760	450	3,18
IRB 8700	550-800	3,5/4,2

Antud töös kasutatakse ABB tööstusrobotite valikust IRB 6640 seeria manipulaatorit (Tabel 1.2). IRB 6640 seeria manipulaatorite peamiseks rakendusvaldkonnaks on punktkeevitus, seadmete ja tööpinkide teenindamine ning materjalide ümberpaigutamine. Robotmanipulaatorit IRB 6640 on saadaval erinevate õlapikkustega, mis pakub erineva ulatusega liikumisvõime. Samuti on saadaval erineva kasuliku kandevõimega manipulaatoreid 180 kg kuni 235 kg. Manipulaator põhineb varasema generatsiooni robotitele, mis sisaldab töökindlaid komponente ja sõlmi, et tagada lihtne hooldus ja vajadusel komponentide vahetusvõimalus.

IRB 6640 seeria robotid suudavad liikuda seadme vertikaal teljest tahapoole, suurendades märkimisväärselt liikumisulatus. Suurendatud liikumisulatus lubab raske-klassi robotit mahutada kitsastele tootmisliinidele. All järgnevas tabelis (Tabel 1.2) on välja toodud IRB seeria robotmanipulaatorite tehniline spetsifikatsioon

Tabel 1.2 IRB seeria manipulaatorite spetsifikatsioon [2]

Spetsifikatsioon				
Roboti versioon	Liikumisulatus	Kasulik kandevõime	Massikese	Väändemoment
IRB	m	kg	mm	Nm
6640-130	3,20	130	300	1037
6640-180	2,55	180	300	961
6640-185	2,80	185	300	1206
6640-205	2,75	205	300	1264
6640-235	2,55	235	300	1324
6640ID-170	2,75	170	300	1190
6640ID-200	2,55	200	300	1262

Täpne robotmanipulaatori mudel on ABB IRB 6640-180/2,55 (Sele 1.1). Mudeli tähis annab infot, mis klassi robotmanipulaatoriga on tegemist. Peale mudeli tähist IRB 6640 järgneb manipulaatori kasulik kandevõime milleks antud juhul on 180 kg ning tähise viimane osa 2,55 viitab manipulaatori liikumisulatusle.



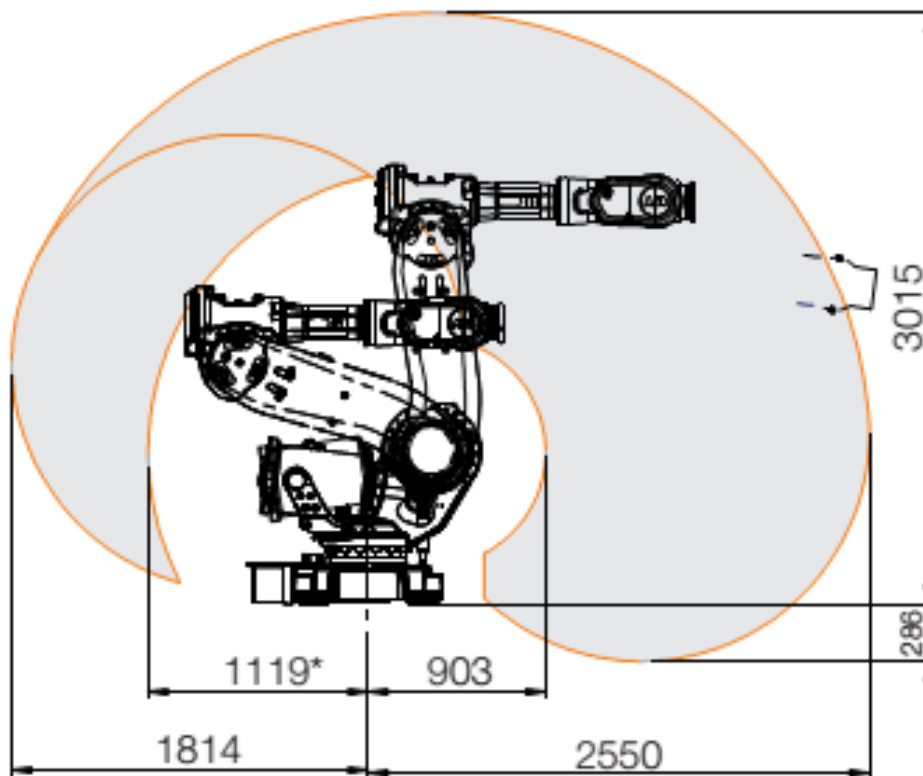
Sele 1.1 ABB IRB 6640-180/2,55 [2]

Mudelil IRB 6640 on võimekus kasutada parendatud teise generatsiooni tarkvarapakette TrueMove™ ja QuickMove™. Tarkvarapaketid pakuvad võimalusi liikumiste täpseks positsioneerimiseks, lühendades töötlemisprotsessi programmeerimisega. Samuti jälgib tarkvara robotmanipulaatori sisemisi pingeid, mis vähendab ülekoormuse ohtu ning pikendab roboti eluiga.

Tabel 1.3 ABB IRB 6640-180/2,55 tehniline spetsifikatsioon [2]

Roboti põhja mõõtmed	1107 mm x 720 mm
Mass	1350 kg
Telgede arv	6 telge
Turve	Kogu robot IP 67
Paigaldusmeetod	Põrandale kinnitus
Kontroller	IRC5: Single Cabinet/Dual Cabinet
Positsiooni korratavus	0,07 mm
Tööraja korratavus	0,7 mm
Toitepinge	200-600 V, 50/60 Hz
Energiatarve	ISO-Cube 2,7 kW
Töökeskkonna temperatuur	+5...+50 °C
Õhuniiskus	Max 95 %
Müratase	Max 71 dB

Roboti liikumisulatus on nähtav järgneval seel (Sele 1.2). Uue generatsiooni robotite tööala on suurenenud roboti taha poole tunduvalt.

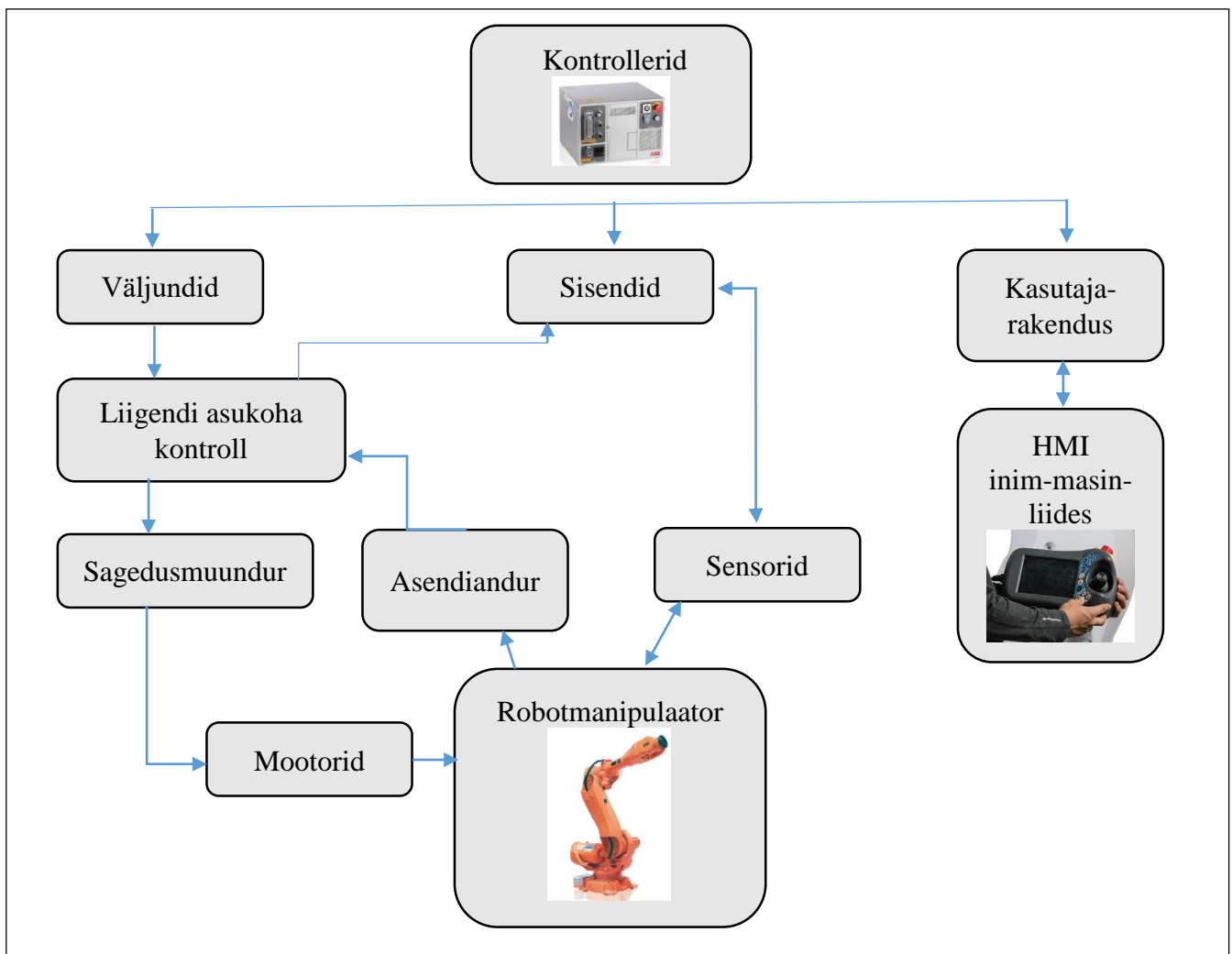


Sele 1.2 ABB IRB 6640-180/2,55 liikumisala [2]

1.2 Robotsüsteemi kontrolleri ABB IRC5 Single Cabinet

Lisaks robotmanipulaator ABB IRB 6640-180/2,55 on vaja lisaseadet, et manipulaatorit oleks võimalik juhtida. Juhtelemendiks on eraldi roboti kontrolleri (PLC), mis tagab soovitud liikumiste sooritamise, juhtides näiteks kõiki kuut manipulaatori mootorit korraga.

PLC kontrolleri on digitaalne arvuti mida kasutatakse tööstuses elektromehaaniliste protsesside automatiseerimiseks. PLC kontrolleri kasutusvaldkond on lai ning mõeldud mitmiksignaalide, nii digitaal- kui analoogsignaali sisendite ja väljundite juhtimiseks [4]. Sisendite ja väljundite arv on piiratud, kuid kontrolleri pakub lisaks põhi tööseadmele võimalust ühendada ning juhtida abi- ja lisaseadmeid. Lisaseadmeteks võivad olla mitme teljelised automatiseeritud töölaud või teenindavad robotmanipulaatorid, mille ülesandeks on tagada juhtiva robotmanipulaatori sujuva ja jätkusuutlik töö. Kontrolleri struktuur on nähtav seel (Sele 1.3).



Sele 1.3 Kontrolleri struktuur ja seotud süsteemid

Kuna antud töös kasutatakse ABB robotmanipulaatorit, siis valitakse ABB tootevalikust kontrolleri IRC 5 Single Cabinet kontrolleri [3]. IRC 5 kontrolleri tagab manipulaatorile võime teostada etteantud ülesandeid kõrge efektiivsusega. Põhinedes kõrgema järgu dünaamilisel modelleerimisel suudab IRC 5 optimeerida tööorgani tööradu ja samas vähendada tsükli aega, kuid tagades täpsuse. Kontrolleri suudab suhelda teiste tootmiskeskonnas asuvate seadmetega ning toetab suuremat osa tööstuslike võrgustikke. Kõiki ABB robotsüsteeme programmeeritakse kasutades ABB paindlikku ja kõrgetasemelist programmeerimiskeelt Rapid™. Programmeerimiskeele põhilisi rakendusi ja funktsionaalsust on kerge kasutada, kuid samas võimaldab välja töötada ka kõrgelt arenenud lahendusi. Kontrolleri tehniline spetsifikatsioon on nähtav tabelis (Tabel 1.4), (Sele 1.4).

Tabel 1.4 IRC 5 kontrolleri spetsifikatsioon [3]

Mõõtmed	970 mm x 725 mm x 710 mm
Mass	150 kg
Toitepinge	3-faasi, 200-600 V, 50-60 Hz
Turve	IP54 (jahutuskanalid IP33)
Töökeskkonna temperatuur	0...+45 °C
Õhuniiskus	Max 95 %
SafeMove	8 sisendit, 8 väljundit



Sele 1.4 ABB IRC 5 Single Cabinet Controller [3]

1.3 Spindli valik – Precision Drive Systems

Precision Drive Systems (PDS) on Ameerika Ühendriikide ettevõtte, mille peamiseks tegevuseks on kiir – spindlite tootmine. Ettevõtte alustas 1996 aastal elektriliste tööstuslike spindlite valmistamisega ning on tõusnud tööstuslike spindlitootjate turul liidriks. PDS-i tootevalikus on erinevaid spindlikonfiguratsioone, et tagada kõrged nõudmised peenmehaanika valdkonnas. Lisaks spindlite tootmisele pakub ettevõtte spindlite lisaseadmeid nagu tööriistahoidjad, sagedusmuundurid ning viie-teljelised töötluspead. PDS on loonud globaalse võrgustiku, et tagad hoolde- ja parandusteenuste kättesaadavuse kõikjal. PDS tegutseb järgnevatel valdkondades nagu: lennundus, autotööstus, mööblitööstus, energeetika jt.



Sele 1.5 PDS spindlid [5]

1.3.1 PDS XLHS 110

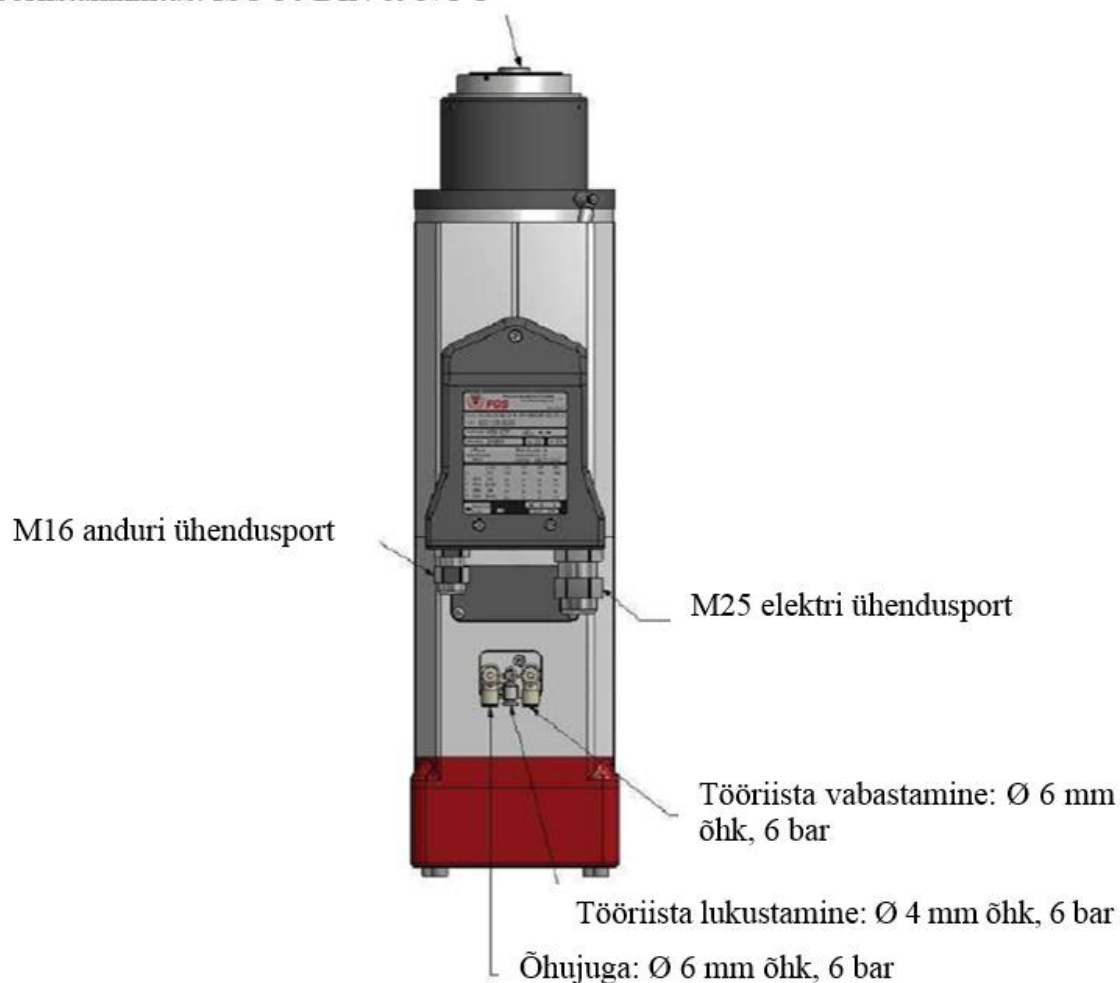
Tööriista spindlid jagatakse kahte peamisesse rühma, spindlid manuaalse instrumendivahetusega ja spindlid automaatse instrumendivahetusega. Antud töös on esitatud nõudeks kasutada automaatse instrumendivahetusega spindlit ja valik on tehtud PDS-i XLH seeriast. Automaatse instrumendivahetusega spindel tõstab kiirfreesimise robotsüsteemi automatiseerituse taset, kuna robotmanipulaator on võimeline vahetama iseseisvalt instrumente. XLH seeria kiir-spindlid on kõrge efektiivsuse ning täpsusega. Peamiseks rakendusala on puidu, plastikute ja alumiiniumi töötlemine. XLHS seeria spindlite tootevalik ja spetsifikatsioon on nähtav järgnevas tabelis (Tabel 1.5).

Tabel 1.5 PDS XLHS seeria spindlid [6]

Mudel	Jahutusmeetod	Spindli pöörete sagedus	Võimsus	Pinge	Sagedus	Tööriista kinnitus
		p/min	hp	V	Hz	
XLHS90	Õhk	12 000-24 000	4,5	380	400-800	ISO 30
XLHS110	Õhk/vedelik	11 000-24 000	7,5-12,0	220-380	367-800	ISO 30/ HSK-F63
XLHA110	Vedelik	6 000-24 000	10,5-15,0	380	200-800	HSK-F63
XLHA130	Vedelik	6 000-24 000	14,0-21,0	380	200-667	HSK-F63/ HSK-E63
XLHA135	Vedelik	12 000-24 000	10,0-17,0	380	400-800	HSK-F63

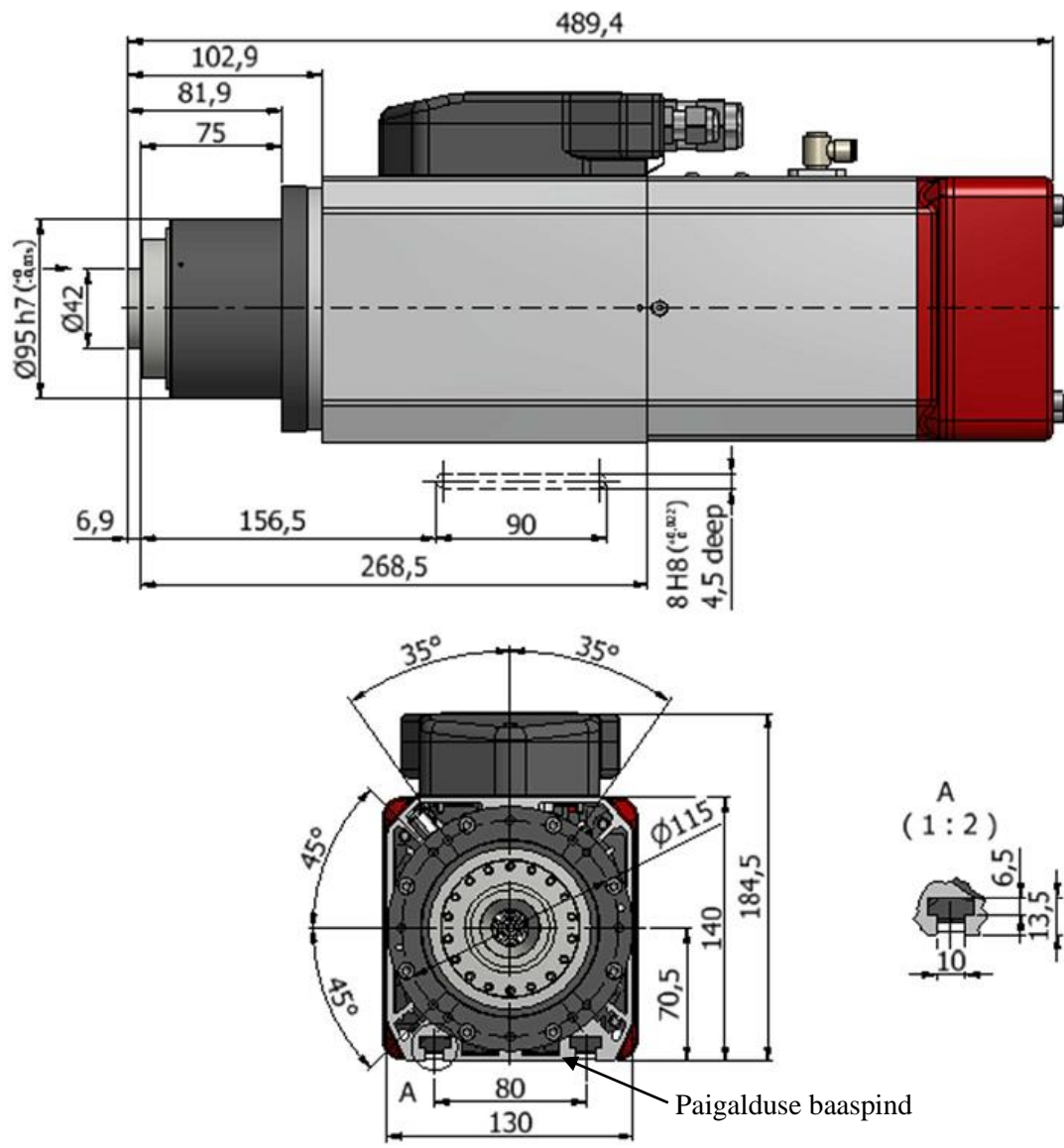
Käesolevale robotsüsteemile valiti spindel mudelitähisega XLHS110. Spindli eelisteks on erinevad jahutusmeetodid, kas vesi- või õhkjahutus ning universaalsus tööriistahoidjate osas. Spindlisse sobiva tööriistahoidja kinnitusena on võimalik valida kas ISO 30 DIN69871-1 või HSK-F63 DIN 69893-6. Automaatne instrumendi vahetus toimub tänu pneumaatilisele kinnitussüsteemile. Pneumaatilised tööpordid on näidatud alljärgneval seel (Sele 1.6). Samuti toimub spindli ja tööriista puhastamine õhujaoga.

Tööriistakinnitus: ISO 30 DIN 69871-1

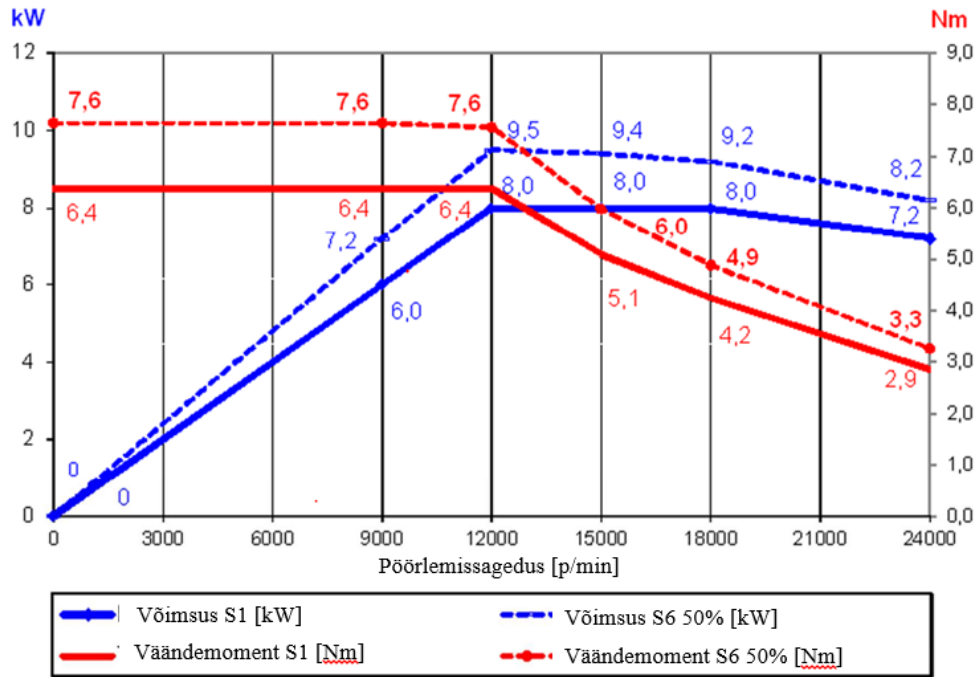


Sele 1.6 PDS XLHS110 tööportide kirjeldus [7]

PDS XLHS110 gabariitmõõtmeteks on 489,4 mm x 184,5 mm x 130 mm ning spindli mass on 23 kg. Kuna tegemist on kõrge pöörlemissagedusega spindliga, siis kasutatakse spindlis keraamilisi laagreid, mis taluvad kõrgeid temperatuure. Spindli jahutamiseks kasutatakse elektrilist ventilaatorit ehk sundõhkjahutust. Spindli kinnitamiseks tööorganiga on korpusesse konstrueeritud T-sooned, mis on nähtavad alljärgneval seel (Sele 1.7), vaatel A. Samuti on välja toodud spindli võimsuse ning väändemomendi graafik (Sele 1.8). Graafik näitab, et spindel saavutab nimivõimsuse 8 kW pöörlemissageduse juures 12 000 pöret minutis. 12 000 pöörde juures on saavutatud maksimaalne väändemoment, milleks on 6,4 Nm. Pöörete arvu suurendamisel hakkab väändemoment vähenema.



Sele 1.7 PDS XLHS110 gabariitmõõtmed [7]



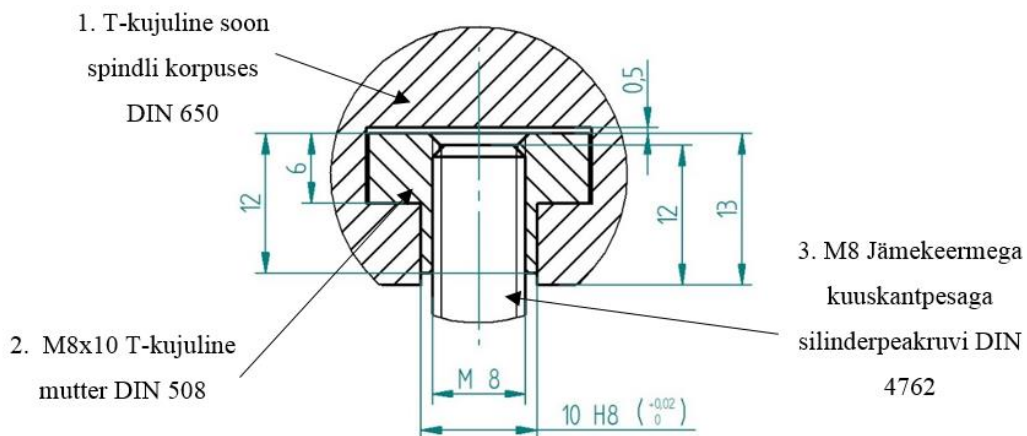
Sele 1.8 XLHS110 võimuse ja väändemomendi graafik [7]

Indeksiga S1 on ülaltoodud seel märgitud elektrilise spindli konstantne pikaajaline koormus, mille maksimaalne võimsus on 8 kW ning väändemoment 6,4 Nm pöörlemisageduse 12 000 p/min juures. Maksimaalset võimsust on lubatud kasutada kui on tagatud elektrilise spindli termiline tasakaal. Indeksiga S6 on samal seel tähistatud tsükliline lühiajaline koormus, mille maksimaalne võimsus on 9,5 kW ning väändemoment 7,6 Nm pöörlemisageduse 12 000 p/min juures. See tähendab, et lubatud on lühiajaliselt kasutada 20%-st ülekoormust. Töötlemisel lühiajalise ülekoormusega on tingimus, et töötlemisel koormusega ja koormuseta sama pöörlemisageduse juures on ajaline suhe 50%.

1.3.2 PDS XLHS110 elektrilise spindli paigaldamine

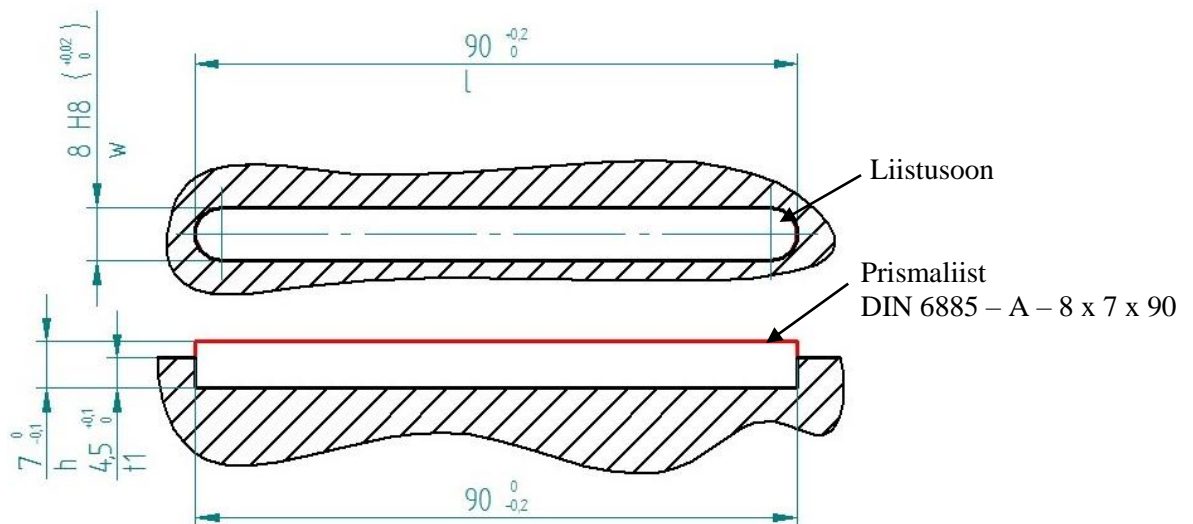
Tavaliselt paigaldatakse elektriline spindel löikepingi töölauale või spetsiaalrakise külge. Antud lõputöö puhul kinnitatakse spindel robotmanipulaator ABB IRB 6640 tööorgani külge. Elektrilise spindli paigaldamiseks kasutatakse baaspinda, milleks on spindli tagumine külg (Sele 1.7). Paigaldamiseks kasutatava baaspinna tasapinnalisus DIN ISO 1101 järgi on 0,020 mm ning tagatud peab olema pinnakaredus DIN EN ISO 4288 järgi Ra 1,6 μm . [7].

Elektrilise spindli kinnitamiseks robotmanipulaatori juhtorganiga kasutatakse poltliidet. Spindli korpusesse on töödeldud T-kujulised sooned, kuhu paigaldatakse M8 T-kujulised mutrid. Spindli fikseerimine toimub DIN EN ISO 4762 järgi M8 jämekeermega kuuskantpesaga silinderpeakruvide abil omadusklassiga vähemalt 10.9. M8 jämekeermega kuuskantpesaga silinderpeakruvidele on kindlaksmääratud pingutusjõud suurusega 20 Nm. M8 silinderpeakruvide maksimaalne ulatus M8 T-kujulistesse mutritesse on 12 mm (Sele 1.9). Pikem ulatuse korral võib kruvi ulatuda läbi M8 T-kujulise mutri ning võib tekkida kontakt M8 silinderpeakruvi ning spindli alumiinium korpuse vahel. Kruvi kontakt korpusega võib deformeerida või väänata korpuse pinda.



Sele 1.9 Spindli kinnitamine T-soonte abil DIN 650 ja 508

Parima võimaliku joonduse saavutamiseks kasutatakse T-soonte vahele masintöödeldud liistusoont standardi DIN 6885-1 järgi (Sele 1.7). Liistusoone pikkus l on 90 mm tolerantsiga $+0,2$ mm, liistusoone laius w on 8 mm tolerantsi klassiga H8 [33], mille ülemine piirhälve on $+0,02$ ning alumine piirhälve on 0. Liistusoone sügavus h on 4,5 mm tolerantsiga $+0,2$ mm. Antud liistusoonele sobib prismaliist DIN 6885 – A – 8 x 7 x 90 [8]. Liistusoone ja prismaliistu eskiis on nähtav alljärgneval seel (Sele 1.10).



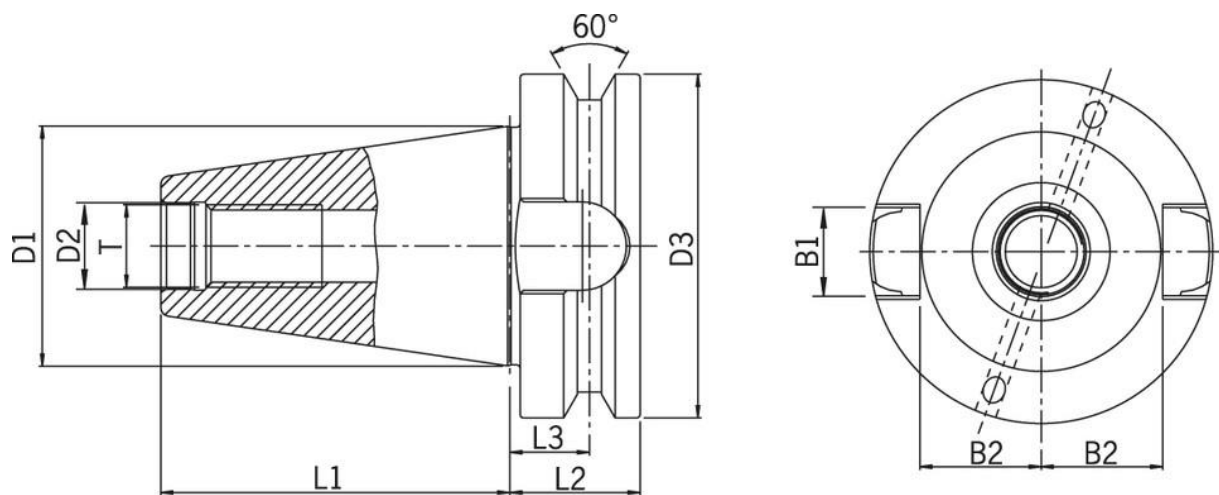
Sele 1.10 Spindli korpuse liistusoone eskiis

1.3.3 Instrumendihoidik ISO 30

Elektrilisel spindlil PDS XLHS 110 kasutatakse lõikeinstrumendi rakistamiseks instrumendihoidjat ISO 30. Instrumendihoidjaid on saadaval erinevate suurustega, mis annab võimaluse kasutada instrumendihoidikuid erinevates lõikepinkides. Tööriistahoidja paigaldamine spindlisse toimub koonilise pinna abil ning kinnitus toimub tõmbepoldi abil. ISO instrumendi hoidjad on telg-sümmeetrilised, mis tagab väga hea stabiilsuse ja tasakaalu kõrgetel spindli pöörlemissagedustel. Instrumendihoidikusse sobivad rakistamiseks nii meeter süsteemi kui ka toll süsteemi instrumendid. ISO 30 instrumendihoidikud kasutavad tõmbepoldi kinnitamiseks meeter keeret. Instrumendihoidik on nähtav alljärgnevatel seledel (Sele 1.11, Sele 1.12)

Instrumendihoidikuid on saadaval erinevate töölussiirete teostamiseks. Alljärgnev loetelu toob välja erinevad liigid:

- Kolmepakiline isetsentreeruv puuri hoidik;
- Tsang tüüpi instrumendihoidik;
- Keermetamise instrumendihoidik;
- Sõrmfreeside instrumendihoidik.



Sele 1.11 Instrumendihoidja ISO 30 [12]



Sele 1.12 Instrumendihoidja ISO 30 illustratsioon [13]

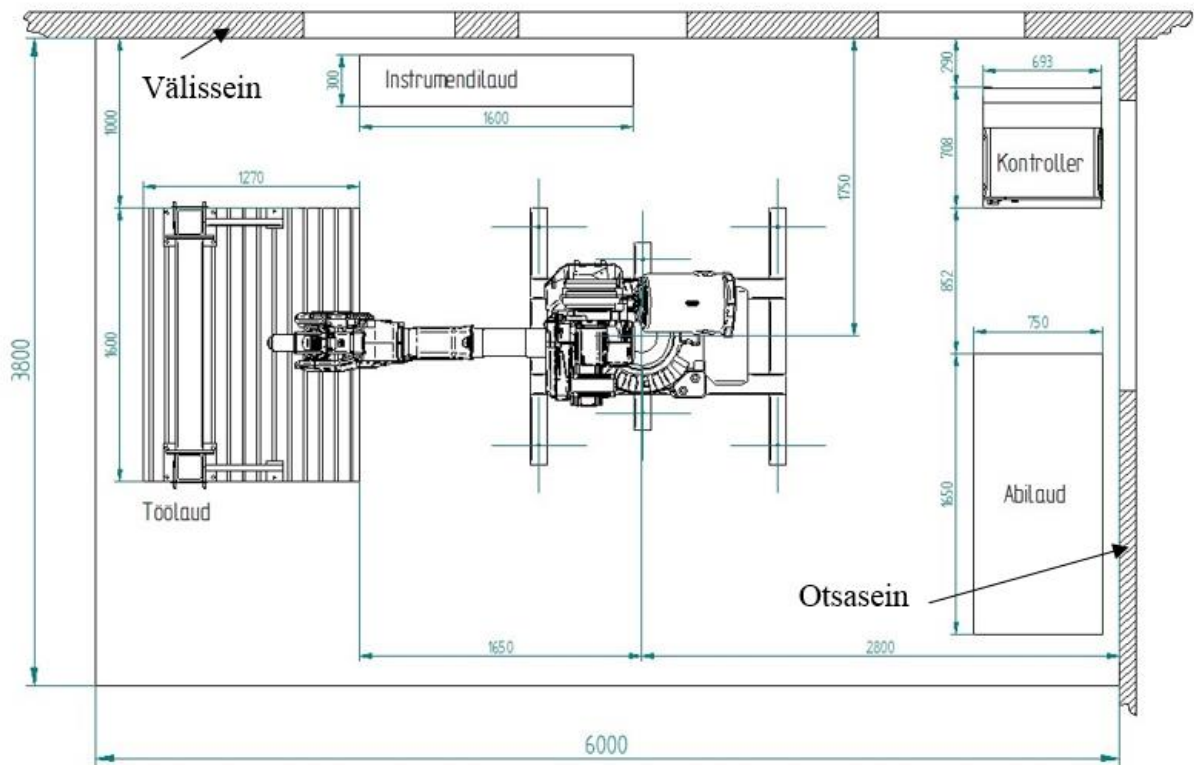
1.4 Töölaud ja ümbritsev keskkond

Kiirfreesimise robotsüsteem paikneb TTÜ Mehaanikateaduskonna, Mehaanika- ja tööstustehnika instituudi Rapidlab laboratooriumis. Robotsüsteemi jaoks on planeeritud osa labori pinnast mõõtmetega 3800 mm x 6000 mm. Esialgse süsteemi osadeks on:

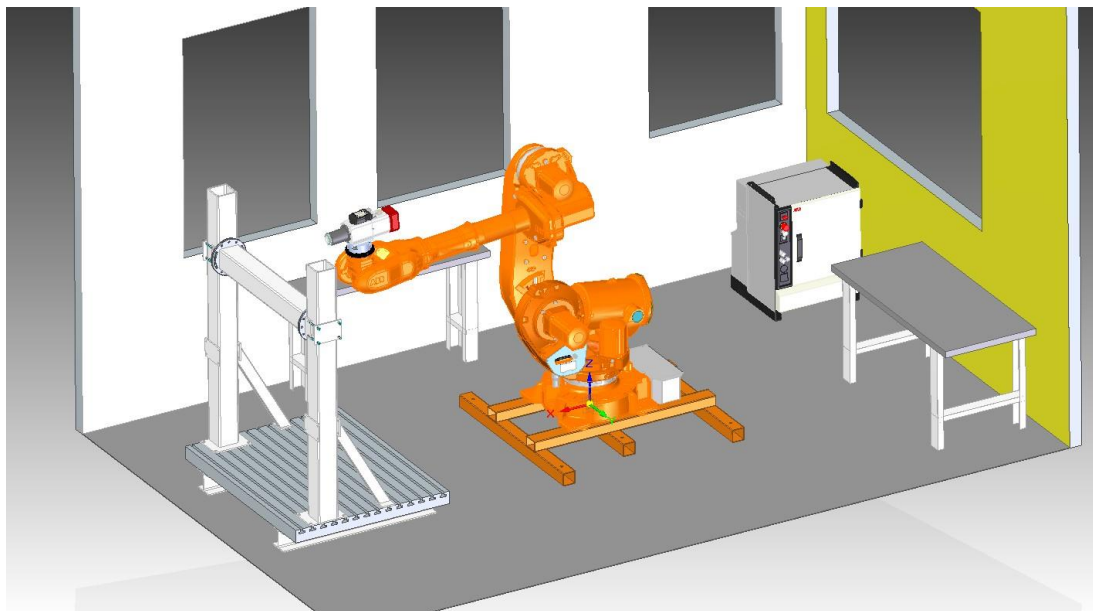
- Robotmanipulaator ABB IRB 6640 180 – 2.55;
- elektriline spindel PDS XLHS 110;

- Robotsüsteemi kontrolleri ABB IRC5 Single Cabinet;
- Instrumendilaud koos tööriistadega hoidikule ISO 30;
- Rakise töölaud;
- Abilaud rakiste, tööriistade hoiustamiseks.

Robotsüsteemi keskmeks on robotmanipulaator ABB IRB 6640, mille ümber on koondatud vajalikud seadmed ja rakised, et tagada roboti jätkusuutlik toimimine. Robotmanipulaatori keskpunkt on paigutatud vastavalt, et oleks võimalik ära kasutada kogu robotmanipulaatori liikumisulatus. Keskpunkt asub välisseinast 1750 mm ning otsaseinast 2800 mm kaugusel. Roboti juurde kuuluv kontrollerkapp ABB IRC5 on paigutatud ruumi nurka. T-soontega töölaud mõõtmetega 1270 x 1600 x 2000 mm, mille tsentrijoon on joondatud robotmanipulaatori omaga. Omavaheline kaugus on robotmanipulaatori keskpunktis kuni töölaua lähima servani on 1650 mm. Esialgse lahenduse järgi projekteeritakse robotsüsteemi tarbeks instrumendilaud gabariitmõõtmetega 300 x 1600 x 1000 mm ning paigutatakse välisseina äärde. Viimaseks kuulub robotsüsteemi hulka abi töölaud mõõtmetega 750 x 1650 x 850 mm ning on paigutatud otsaseina äärde. Abitöölaua eesmärgiks on instrumentide vahetus ning tööriistade ja rakiste hoiustamine (Sele 1.13, Sele 1.14). Kiirfreesimise robotsüsteemi põrandaplaan on nähtav Lisas 1 (L1, 94).



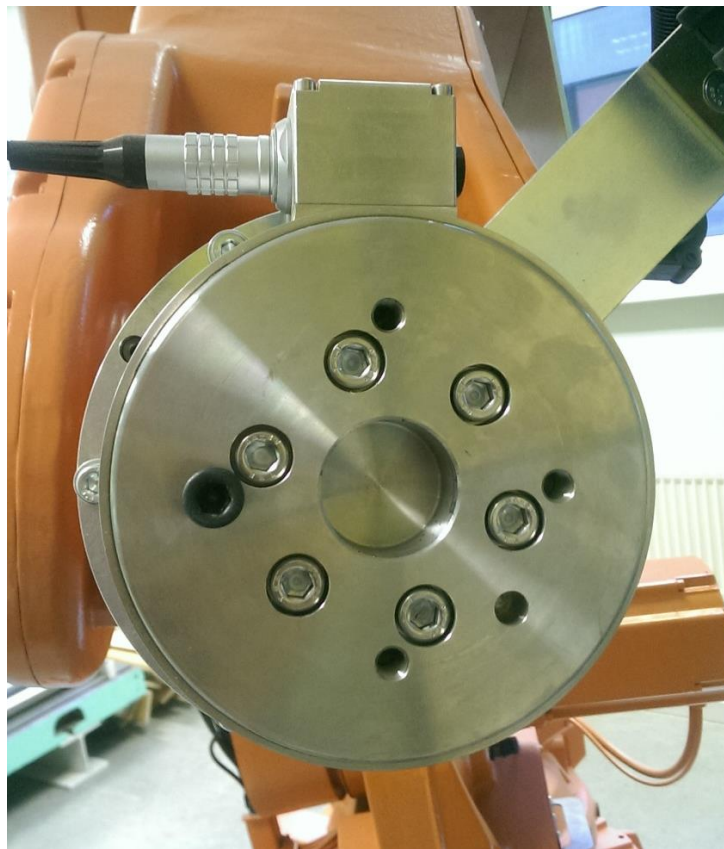
Sele 1.13 Robotsüsteemi paigutuse eskiis



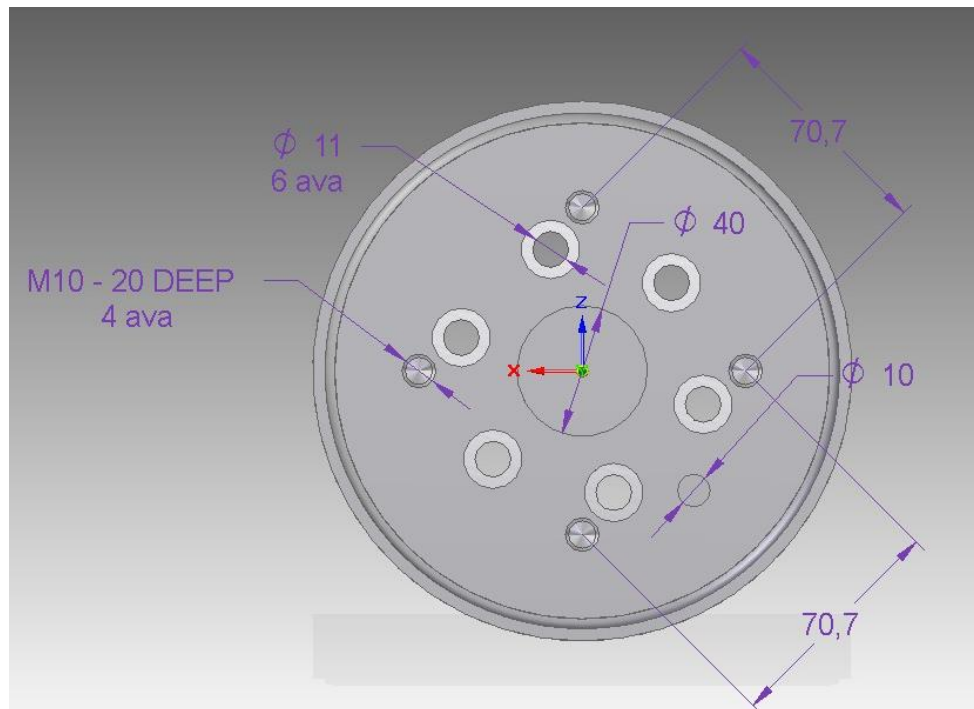
Sele 1.14 Modelleeritud robotsüsteem

2. SPINDLI KINNITUSE KONSTRUEERIMINE

Spindli PDS XLHS 110 kinnitamiseks ABB robotmanipulaatoriga on vajalik konstrueerida kinnitussõlm nende vahele. Spindli korpuse külge kinnitatakse kinnitussõlm ehk flants nelja M8 poldiga. Spindli täpne positsioon tagatakse kiilusoonega (Sele 1.10, Sele 1.7). Teiselt poolt kinnitatakse flants koormusanduri külge nelja M10 poldiga. Koormusanduri positioneerimiseks robotmanipulaatori külge kasutatakse silindrilist ava läbimõõduga 40 mm ning karastamata terasest silindertihvti DIN EN ISO 8734 [8] läbimõõduga 10 mm ja pikkusega 30 mm (Sele 2.2).



Sele 2.1 Koormusandur ABB robotmanipulaatoril



Sele 2.2 Koormusanduri paigaldusavad

2.1 Lõikejõudude arvutus freesimisel

Kinnitussõlme ehk flantsi konstrueerimiseks on vajalik leida freesimisel tekkivad lõikejõud. PDS XLHS 110 elektrilisel spindlil kasutatakse tööriistahoidjaid ISO 30. ISO 30 tööriistahoidjasse saab paigaldada silindrilise sabaga lõikeinstrumente läbimõõduga kuni 10 mm. Lõikejõudude arvutamiseks lähtun kõige suurema läbimõõduga lõikeinstrumendist.

Kuna käesoleva kiirfreesimise robotsüsteemi eesmärgiks on töödelda pehmeid materjale nagu puid, plastid ja pehmemad metallisulamid nagu alumiiniumi- ja vasesulamid, siis arvustes lähtutakse alumiiniumsulami EN AW 7075-T6 mehaanilistest omadustest. Antud alumiiniumisulam on karastatud ning kunstlikult vanandatud, mis suurendab tõmbetugevust, voolepiiri ja kõvadust. Materjali kõvadus on Brinelli skaalal 160 HB. Samuti valitakse materjali töötlemiseks sobiv lõikeinstrument ja lähtutakse tööriistatootja soovituslikest lõikerežiimidest.

Antud töös kasutatakse lõikeriistade tootja Seco lõikeinstrumente. Seco on loonud lõikeriistade valimiseks oma tooriku materjalisüsteemi Seco Material Group ehk SMG, mis

põhineb tooriku materjali grupi standardil DIN ISO 513 [8]. Tooriku materjali grupeerimise standardi DIN ISO 513 järgi jagunevad materjalid kuute järgnevasse gruppi:

- Terased;
- Roostevabad terased;
- Malmid;
- Rauda mitte sisaldavad materjalid;
- Titaanium- ja supersulamid;
- Karastatud terased.

Tööriistatootja Seco on jaganud materjalid üheksasse erinevasse gruppi. Materjali grupid on nähtavad alljärgnevas tabelis (Tabel 2.1). Kõik materjaligrupid omakorda jagatud alagruppidesse vastavalt antud materjali mehaanilistele omadustele.

Tabel 2.1 Seco tooriku materjalid – SMG [11]

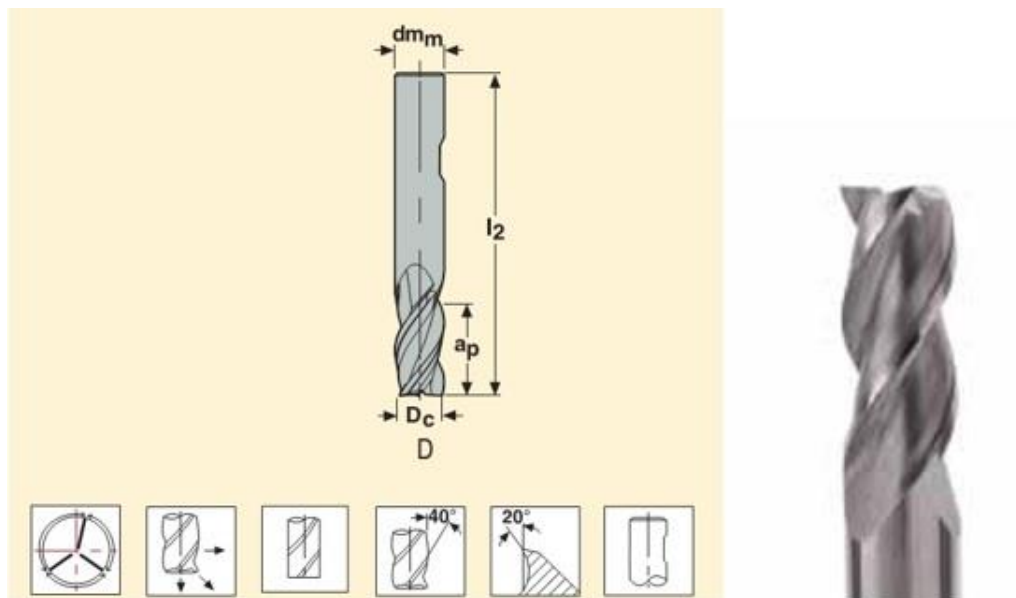
Materjal	Tähis	Tunnusvärv
Terased	P	Sinine
Roostevabad terased	M	Kollane
Malmid	K	Punane
Fe- mitte sis materjalid	N	Roheline
Titaanium- ja supersulamid	S	Oranž
Karastatud terased	H	Hall
Teised raskesti töödeldavad materjalid	PM	Valge
Plastid ja komposiitmaterjalid	TS	Valge
Grafiidid	GR	Valge

Vastavalt materjalile EN AW 7075-T6 liigitub Seco materjali gruppi Fe-mitte sisaldavad materjalid, materjali grupp tähistusega N. Täpsemalt kuulub antud alumiiniumsulam alamrühma N1. Alljärgnevas tabelis on väljavõtte N1 materjali gruppi kuuluvatest materjalidest (Tabel 2.2). Kuna materjali grupp on välja selgitatud, on võimalik valida koorivtöötlemiseks sobiv lõikeinstrument. Antud juhul valitaks koorivtöötlemiseks lõikeinstrument, kuna antud juhul eemaldatakse suurem hulk materjali ehk tekivad maksimaalsed lõikejõud. Sobiva lõikeinstrumendi leidmisel valitakse lõikerežiimid, et oleks võimalik teostada vajalikud arvutused lõikejõudude ja –võimsuse leidmiseks.

Tabel 2.2 Seco N1 materjali alamrühm [11]

SMG	EN	DIN
N1	AW-1050	Al 99,5
	AW-3103	AlMn1
	AW-3003	AlMn1Cu
	AW-2014	AlCuSiMn
	AW-2011	AlCuBiPb
	AC-46200	G-AlSi8Cu3
	AC-42000	G-AlSi5Mg
	AW-6060	AlMgSi0.5
	AW-6063	AlMgSi0.7
	AW-5005	AlMg1
	AW-7020	AlZn4.5Mg1
	AW-7075	AlZnMgCu1.5
	MN65120	G-MgSe3Zn2Zr1
	MG-P-63	G-MgAl6Zn
	MG-P-61	G-MgAl6Zn

Materjali grupi N1 järgi valitakse välja löikeinstrument, millega on võimalik eemaldada maksimaalne hulk materjali. Valituks osutus Seco Jabro – Solid – JS413 (Sele 2.3) mudeli sõrmfrees. Sõrmfreesi läbimõõt on 10 mm, mis on maksimaalne tööriista läbimõõt ISO 30 tööriistahoidja jaoks. Tööriista mõõtmed on välja toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 2.3).



Sele 2.3 Sõrmfrees Seco Jabro – Solid – JS413 [11]

Tabel 2.3 Lõikeinstrumendi Jabro - Solid - JS413 mõõtmed [11]

Part No.	Pikkuse indeks	Instrumendi kuju	D_c	dm_m	l_2	a_p	z_n
JS453100D2CZ3.0-HEMI	2	D	10	10	72	20	3

kus D_c – lõikelaius, mm

dm_m – kinnitussaba läbimõõt, mm

l_2 – instrumendi üldpikkus, mm

a_p – lõikeserva pikkus, mm

z_n – lõikehammaste arv, tk

Tegemist on kolme lõikehambaga sõrmfreesiga, mille hammaste asetus on ebavõrdse jaotusega. Ebavõrdne hammaste asetus aitab paremini alumiiniumsulamite puhul tekkivat voolavat, ning kleepuvat laastu murda. Samuti on alumiinium sulamite freesimiseks vajalik terav lõikeserv, mis antud sõrmfreesil on 15 kraadi. Instrumendi kinnitussabale (dm_m) on määratud tootja poolt tolerantsiklass h5. Lõikeservale (D_c) on antud tolerantsiklass e8. Lõikerežiimide määramiseks arvestatakse, et instrumendiga teostatakse astmete ja kujupindade freesimisiirdeid. Alljärgnevas tabelis on välja toodud lõikerežiimid ülalpool käsitletud sõrmfreesile (Tabel 2.4). Astme freesimise puhul on soovituslik lõikelaiuse faktor 0,4 mm (a_e/D_c).

Tabel 2.4 Seco sõrmfreesi JS413100D2SZ3.3 lõikerežiimid [11]

SMG	Jahutustüüp	A_p/D_c	f_z	V_c
N1	E/M/A	1,5	0,10	720 (540-890)
N2	E/M/A		0,10	460 (345-570)
N3	E/M/A		0,10	305 (230-385)
TS1	A/D		0,075	680 (540-810)
TP1	A/D		0,075	540 (405-680)

kus *SMG* – Seco Material Group

V_c – lõikekiirus, m/min

f_n – ettenihe hambale, mm

a_p – lõikesügavus, mm

a_e – lõikelaius, mm

Jahutusvedeliku tüüp:

kus *A/D* – õhk/ilma jahutuseta

E – emulsioon

M – udupihustus

$a_p (mm)/D_c (mm)$ – lõikesügavuse faktor

$a_p (mm)/D_c (mm)$ – lõikelaiuse faktor

Ülalpool toodud tabelist valitakse arvutusteks N1 materjaligrupi järgi lõikerežiimid. Lõikerežiimid on vajalikud arvutuste teostamiseks, et leida lõikevõimsus ja lõikejõud.

Arvutuste lähteandmeteks valitakse

V_c – 720 m/min

f_n – 0,1 mm

a_p – 15,0 mm

a_e – 4,0 mm

Arvutuslikult leitakse spindli pöörlemissagedus [31]:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_c} = \frac{720 \cdot 1000}{\pi \cdot 10} = 22\,911 \text{ p/min} \quad (1)$$

kus n – spindli pöörlemissagedus, p/min

Arvutusest selgub, et kasutades lõikekiirust 720 m/min saavutab elektriline spindel maksimaalse pöörlemissageduse (n_{\max} – 24 000 p/min) lähedase pöörlemissageduse. See tähendab, et lõikerežiime saab minimaalselt suurendada.

Järgmisena leitakse instrumendi ettenihke kiirus:

$$V_f = n * f_z * z_n = 22\,911 * 0,10 * 3 = 6873 \text{ mm/min} \quad (2)$$

kus V_f – instrumendi ettenihke kiirus, mm/min

Roboti piiratud lineaarne liikumine:

$$\text{roboti } V_f = 1 \frac{m}{s} \Rightarrow 1000 \frac{mm}{s} \Rightarrow 60\,000 \text{ mm/min}$$

Võrreldes vaja minevat instrumendi ettenihet ABB IRB 6640 robotmanipulaatori piiratud lineaarse liikumiskiirusega milleks on 60 000 mm/min, siis 6873 mm/min liikumise korral on liikumiskiiruse vahe 8,7 kordne. Antud võrdlus näitab, et ABB IRB 6640 robotmanipulaator suudab vajaliku ettenihke kiiruse saavutada ilma probleemideta ja varu on piisavalt.

Kuna teada on instrumendi ettenihke kiirus, saab leida materjale eemaldamise määra:

$$Q = \frac{a_p * a_e * V_f}{1000} = \frac{15 * 4 * 6873}{1000} = 412,40 \text{ cm}^3/\text{min} \quad (3)$$

kus Q – materjali eemaldamise määr, cm³/min

Järgmisena leitakse lõikevõimsus kasutades järgmist valemit:

$$P_c = \frac{a_e * a_p * V_f * k_{c1}}{60 * 10^6} = \frac{4,0 * 15,0 * 6873 * 1050}{60 * 10^6} = 7,21 \text{ kW} \quad (4)$$

kus P_c – lõikevõimsus, kW

k_{c1} – erilõikejõud, N/mm² – EN AW 7075 puhul 1050 N/mm² [8]

Lõikevõimsuse arvutusest selgub, et sõrmfreesi koormamisel tööriistatootja poolt lubatud maksimaalse lõikesügavuse ja lõikelaiusega ning kasutades soovituslikku lõikekiirust (V_c – 720 m/min) on PDS XLHS 110 elektrilise spindli 8 kW võimsusest kasutatud 7,21 kW. Antud olukorras on spindli maksimaalsest võimsusest kasutusel 90%, mis tähendab, et kasutusel on maksimumi lähedased lõikerežiimid.

Samuti leitakse freesimisel tekkivad löikejõud. Kuna tegemist on ebaühtlase asetusega kolme löikeservaga sõrmfreesiga, siis löikes antud parameetrite puhul on üks hammas. Järgevalt esitatakse löikejõud hamba¹⁾ kohta:

$$F_c = 1,2 * A * k_{c1} * C = 1,2 * 1,5 * 1050 * 1,0 = 1890 \text{ N} \quad (5)$$

$$A = a_p * f_z = 15,0 * 0,1 = 1,5 \text{ mm}^2 \quad (6)$$

kus F_c – löikejõud hambale, N

A – laastu ristlõige hamba kohta, mm^2

C – Lõikekiiruse parandustegur, parandustegur üle 400 m/min 1.0

Lõikejõu arvutusest selgub, et maksimaalsed tekkivad jõud on 1890 N. Võrreldes tekkivaid löikejõudusid robotmanipulaator ABB IRB 6640-ga, mille kasulik kandevõime on 180 kg, selgub, et tekkivad löikejõud ületavad maksimaalsest kasulikku kandevõimet. Sellest tulenevalt on mõistlik suurima lubatud lõikeinstrumendi läbimõõdu kasutamisel vähendada proportsionaalselt lõikerežiime, et saavutada madalamad löikejõud. Lõikerežiimide piiranguks on robotmanipulaatori kasulik kandevõime.

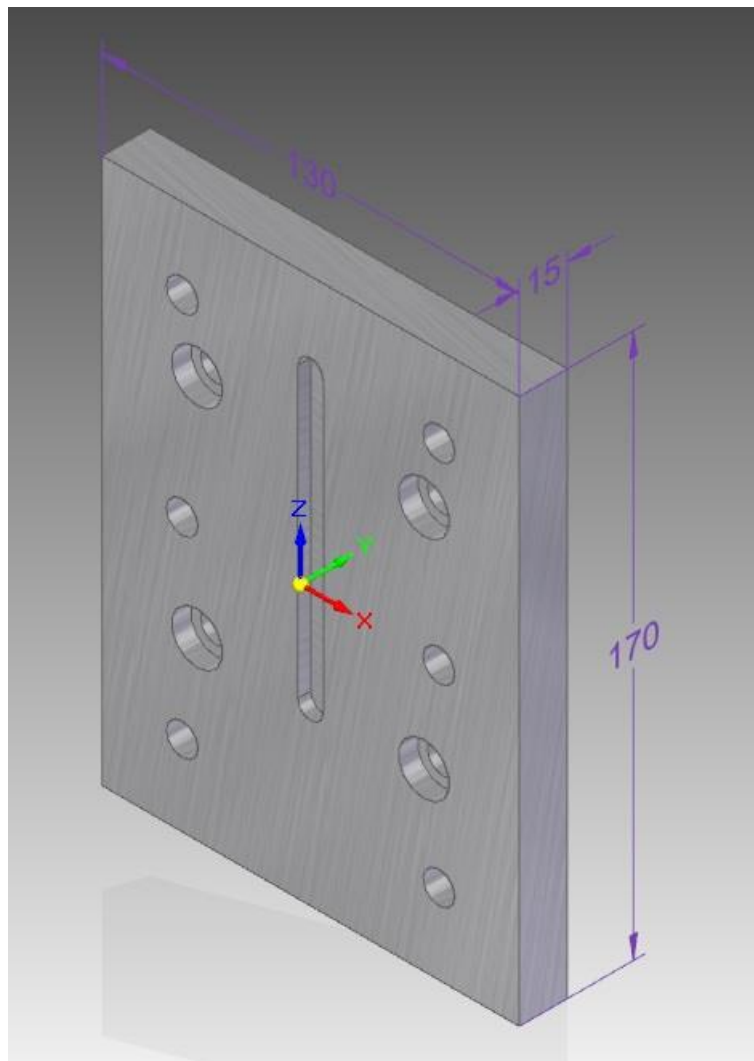
2.2 Kinnitusflantsi konstrueerimine

Spindli kinnitamiseks robotmanipulaatori küljes oleva koormusanduri külge konstrueeritakse kinnitussõlm ehk vaheflants. Konstrueerimise jaoks on esitatud järgmised nõuded:

- Peab kannatama koormust 5670 N, (varutegur: 3);
- Peab tagama piisava jäikuse;
- Peab tagama täpse paigalduse;
- Peab olema lihtsasti demonteeritav.

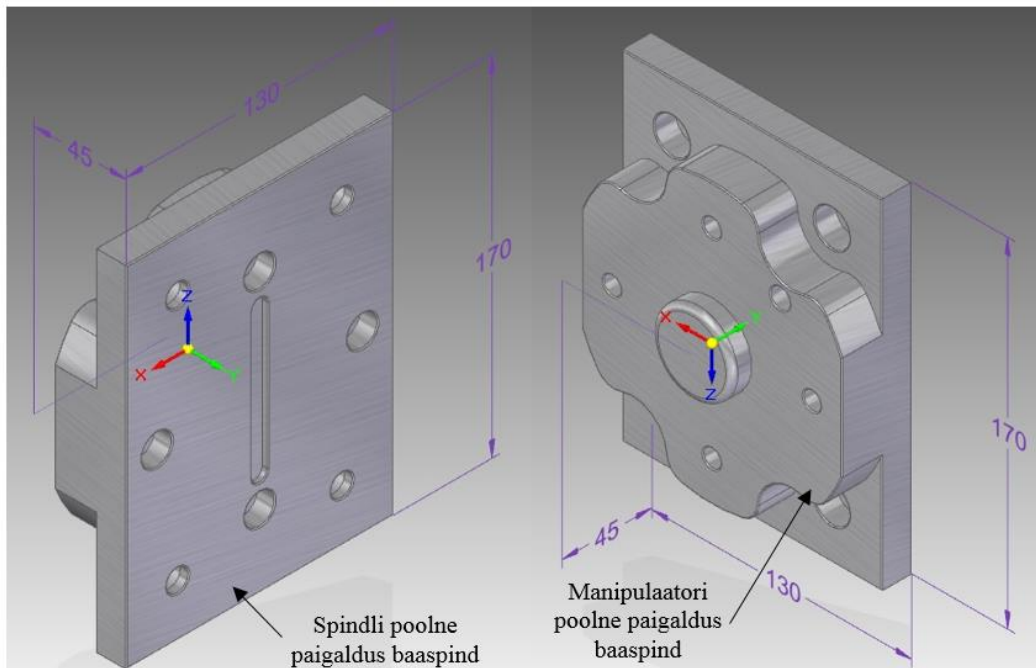
Materjali valikus on kas teras- või alumiiniumsulamid. Silmas pidades maksimaalseid tekkivaid löikejõudusid ning lähtudes alumiiniumsulamite madalamast materjali tihedusest, siis otsustati kasutada alumiiniumsulamit tähisega EN AW 7075-T6. Madalama massiga materjali kasutades vähendatakse robotmanipulaatori kasuliku kandevõime osakaalu.

Spindli kinnituse konstrueerimiseks kasutati CAD tarkvarapaketti Solid Edge ST7. Kinnitusflantsi konstrueerimine algas lähtuvalt kinnitusest elektrilise spindli külge, mis toimub kasutades T-kujulisi mutreid M8 (Sele 1.9). Teisalt lähtutakse jõuanduri kinnitussõlmest ja kinnitusavadest (Sele 2.2). Esialgne kinnitussõlme lahendus on toodud alljärgneval seel (Sele 2.4). Algselt lahendusel on kombineeritud nii elektrilise spindli kinnitussoonte asukohad koos positsioneeriva liistusoonega ning koormusanduri kinnitusavade. Gabariitmõõtmeteks esimese lahenduse puhul on 170 x 130 x 15 mm. Antud detaili massiks on 0,856 kg, mis on madal, kuid ei täida monteerimis-demonteerimisnõuet. Seega antud lahendus ei sobi.



Sele 2.4 Esialgne kinnitusflantsi lahendus

Teise lahenduse puhul on suurendatud materjali paksust 15 mm pealt 45 mm peale, et tagada mugav demonteerimise võimalus. Kinnitusflantsi gabariitmõõtmed on samad, mis esimese lahenduse puhul. Flantsi kinnituselementideks kasutatakse peitpeaga polte M8 ja M10, mis tõttu on flantsi sisse freesitud taskud. Kinnitusflantsi mass suurenes kuna suurendati materjali paksust. Uue kinnitusflantsi massiks on 1,610 kg. Konstrueeritud kinnitussõlm on nähtav alljärgneval seel (Sele 2.5), (L3, 97), (L2, 96).



Sele 2.5 Konstrueeritud kinnitusflantsi lõplik lahendus

Ülalpool välja toodud seel (Sele 2.5) on näha, et elektrilise spindli ja robotmanipulaatori ühendamiseks kasutatakse avasid. Fikseerimine toimub poltliite abil. Kinnitusflantsi positsioneerimiseks kasutatakse spindli poolt prismaliist ühendust. Jõuanduri poolt positsioneeritakse ringi-kujulise astme abil. Õige nurga tagab üks 10 mm läbimõõduga tihvt.

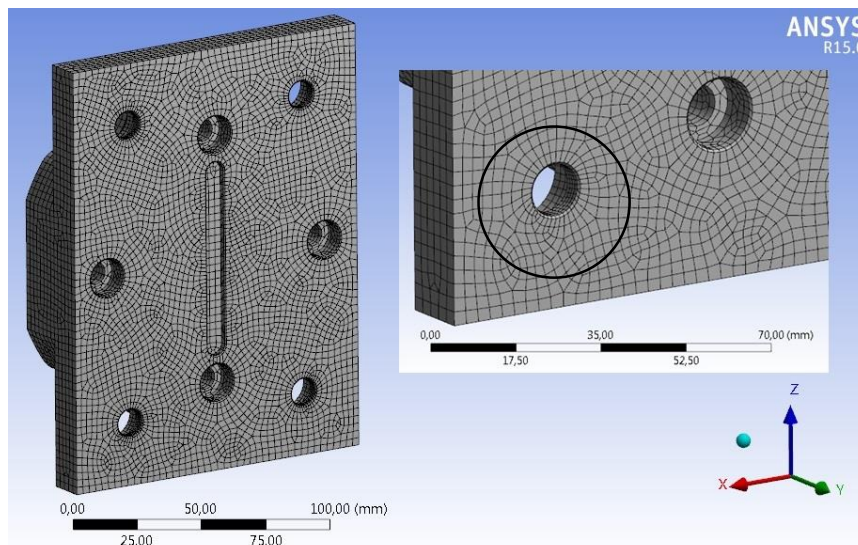
2.3 Kinnitusflantsi tugevusanalüüs kasutades LEM-i

Kinnitusflantsile teostati tugevusanalüüs, milleks kasutati LEM tarkvarapaketti AnSys 15. Detaili koormati konstrueeritud kinnitusflantsi mudeli põhjal. Mudelit ei ole lihtsustatud kuna tegemist ei ole koostuga ja analüüsitava detaili mõõtmed on väikesed. Mudeli struktuur on

jagatud tetraedrilsteks ja kuubilisteks elementideks. Suurema täpsuse saavutamiseks on muudetud suuremate pingetega piirkondades elementide suurust, elementide suurust vähendades. Antud mudelis on tavaelementide suuruseks 3 mm ja vähendatud elementide suuruseks on 1 mm. Arvutusmodeli elemendid on nähtavad alljärgneval seel (Sele 2.6).

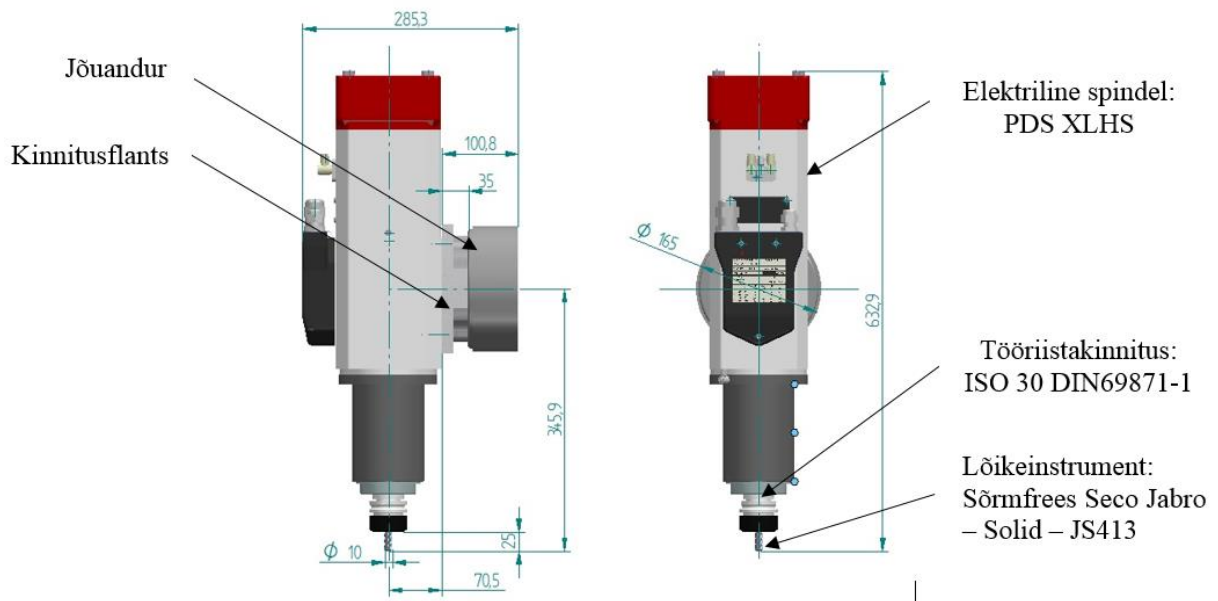
Tugevusanalüüsides teostati järgmised analüüsid:

- Staatilise koormuse all tekkivad maksimaalsed pinged;
- Staatilise koormuse all tekkivad maksimaalsed deformatsioonid.



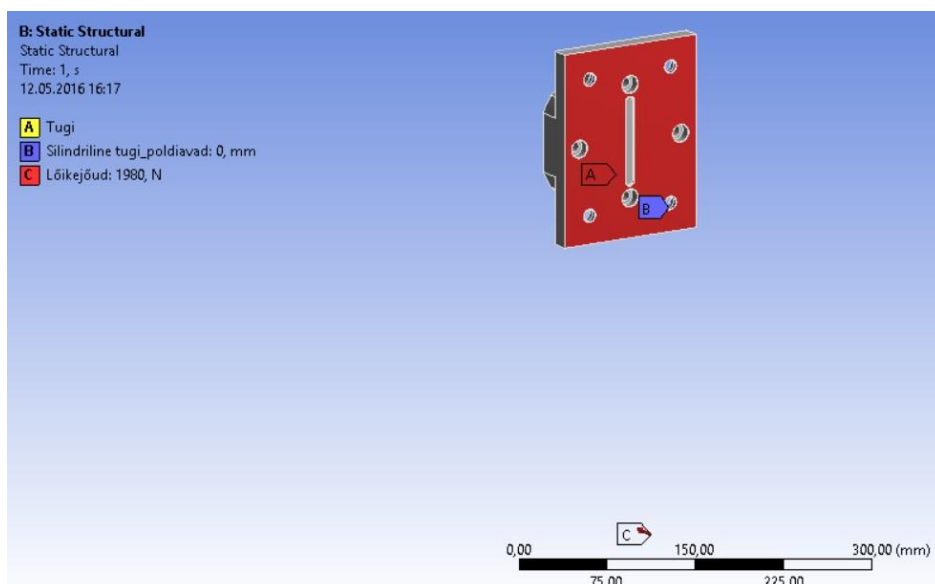
Sele 2.6 Kinnitusflantsi elementide paiknemine ja suurus

Alljärgnev sele (Sele 2.7) anna ülevaate spindli, kinnitusflantsi ja jõuanduri paiknemisest. Elektrilise spindli külge on ühendatud tööriistahoidja ISO 30 ning tööriistahoidjasse on kinnitatud tsangi abil 10 mm läbimõõduga sõrmfrees, mida kasutati löikejõudude arvutuses.



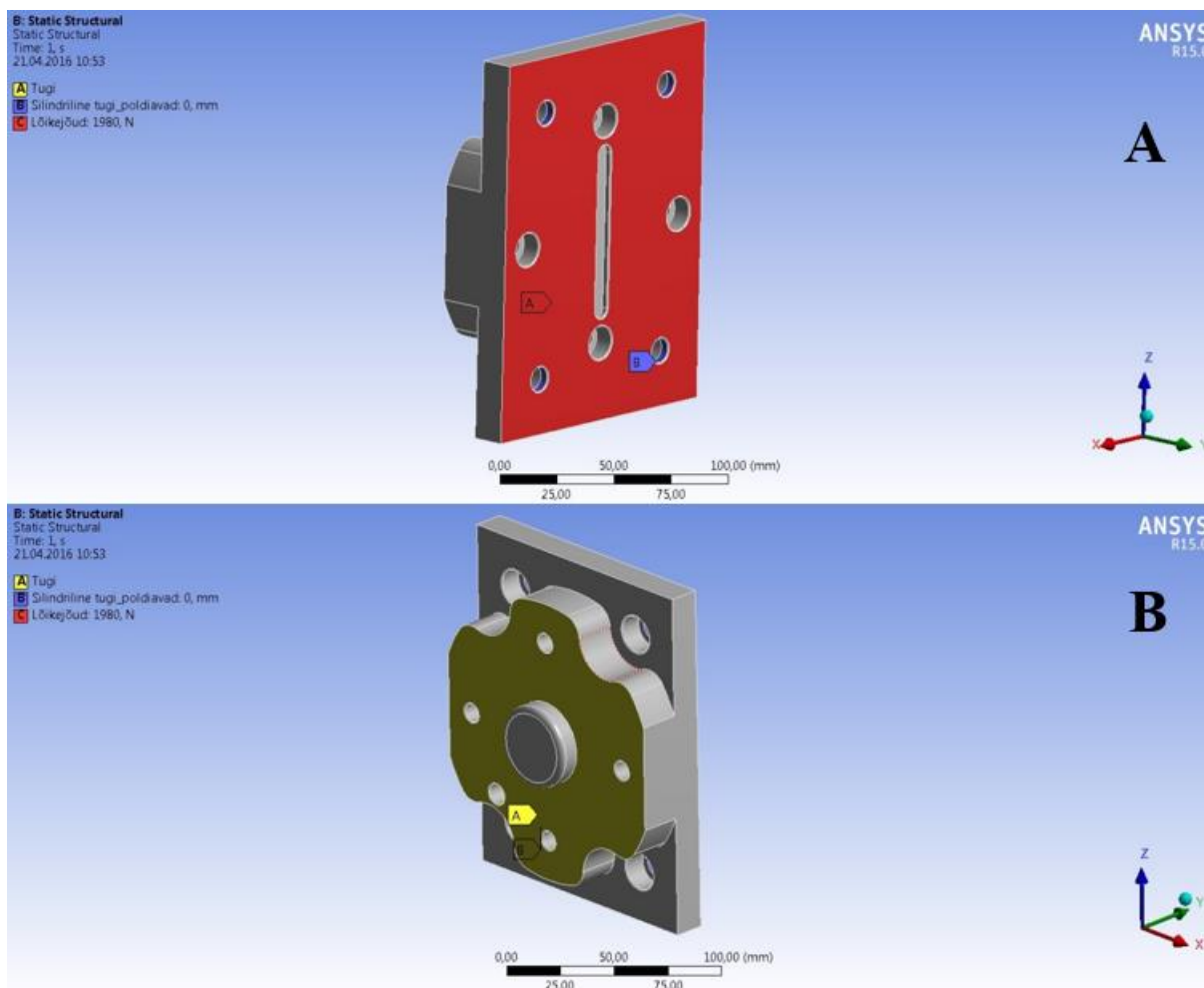
Sele 2.7 Lõikeinstrumendi paigutus spindlil.

Ülaltoodud seelt (Sele 2.7) on näha, instrumendi väljaulatus tööriistahoidjast on 25 mm. Lõikeinstrumendi tipp asub jõuanduri ja kinnitusflantsi tsentrist 345,9 mm kaugusel ning jõuanduri baaspinnast instrumendi tsentrisse on 70,5 mm. Seelt 2.8 on nähtav kinnitusflantsile mõjuv eemalt mõjuv freesimisel tekkiv lõikejõud.



Sele 2.8 Kinnitusflantsile mõjuv lõikejõud

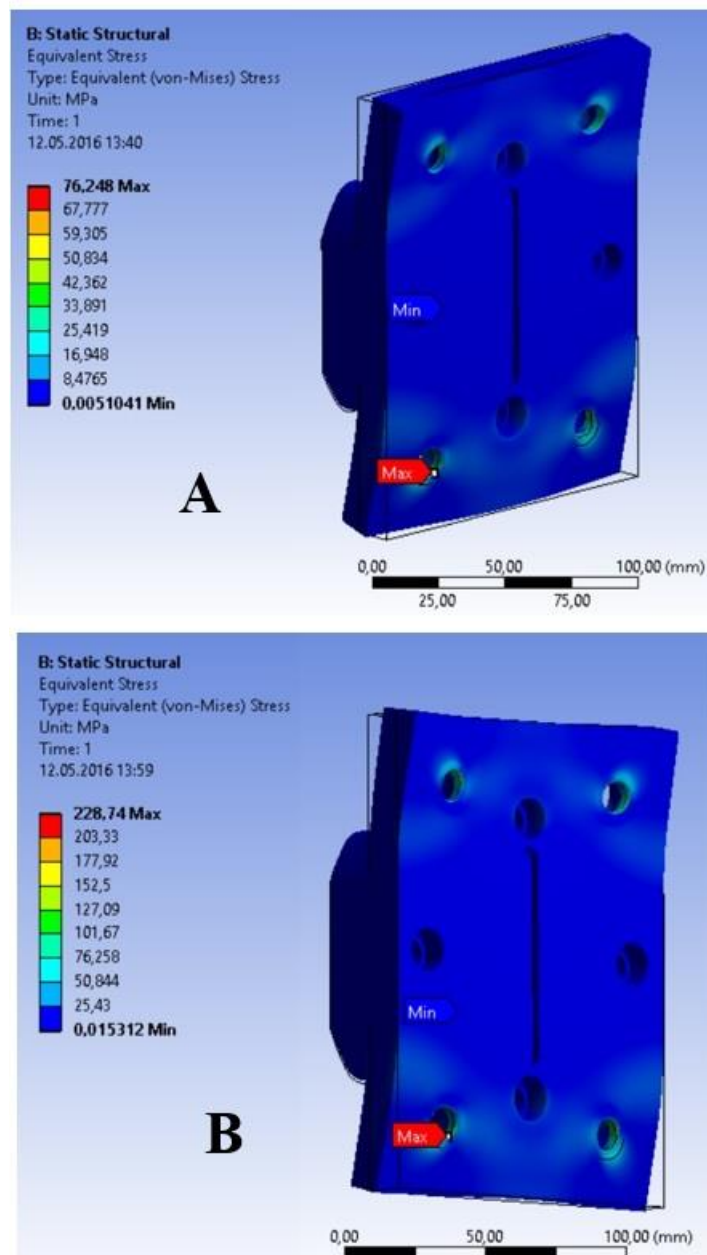
Järgnevalt määrati mudelile rajatingimused [Sele 2.9]. Selelt B on näha, et jõuanduri poolsele pinnale on paigutatud tugi, mille liikumine on piiratud Y-telje suunas. X- ja Z telje suunaline liikumine on vaba. Selelt A on näha, et järgmine rajatingimus on määratud neljale poldiavale, millega kinnitub flants elektrilise spindli külge. X- ja Z telje suunaline liikumine on piiratud, Y-telje suunaline liikumine on vaba.



Sele 2.9 Arvutusmudeli rajatingimused

Arvutusmudelile rakendati kaks erisuurusega koormust. Esimene koormus lähtub 10 mm läbimõõduga sõrmfreesiga freesimisel tekkivatest maksimaalsetest lõikejõududest, milleks on 1980 N. Lisaks koormati arvutusmudelit kolmekordse koormusega milleks on 5940 N.

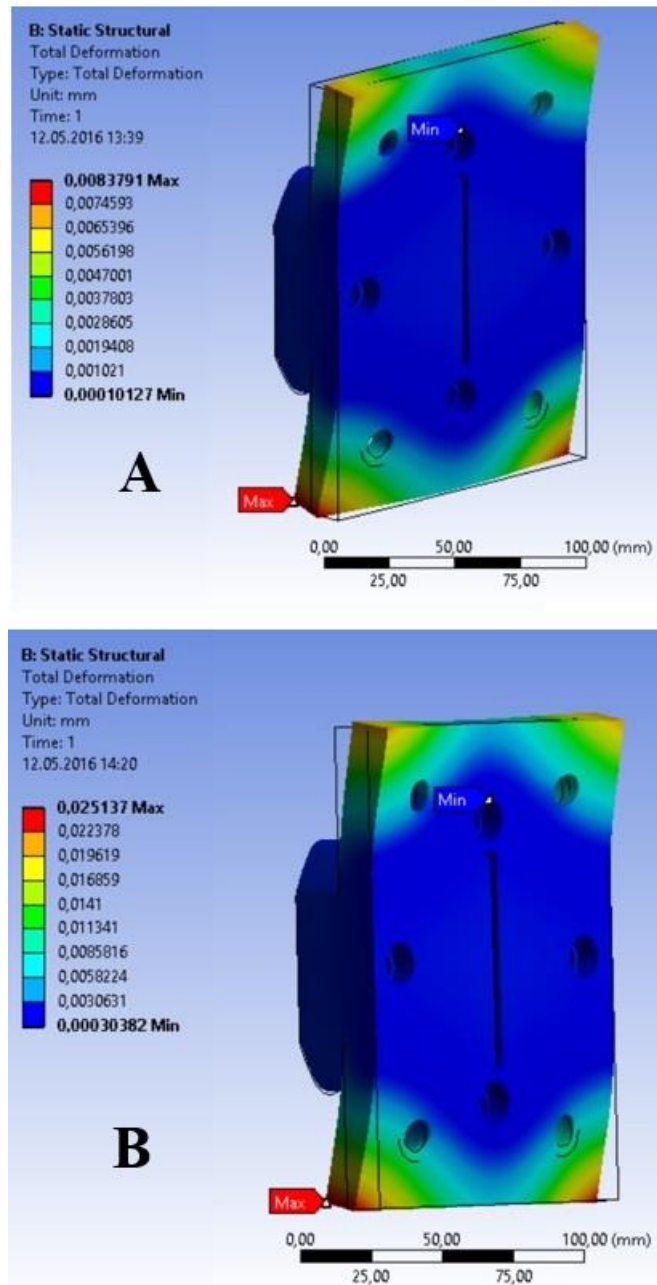
Alljärgnevatel seledel on välja toodud mõlema koormuse korral tekkivad maksimaalsed pinged (Sele 2.10) ja maksimaalsed deformatsioonid (Sele 2.11).



Sele 2.10 Kinnitusflantsis tekkivad maksimaalsed pinged

Ülaltoodud seledelt on näha, et maksimaalsed pinged tekivad kinnitusavade servadele. Maksimaalsed pingeväärtused on tähistatud punase sildiga. Koormuse korral 1980 N on maksimaalne pingeväärtus 27,25 Mpa ning koormuse 5940 N korral on maksimaalsed tekkivad

pinged 228,75 MPa. Arvestades detaili materjali, milleks on alumiiniumsulam EN AW 7075-T6, mille voolavuspiir on 503 MPa [26], siis tugevusanalüüs näitab isegi kolmekordse koormuse korral piisavat varutegurit.



Sele 2.11 Kinnitusflantsis tekkivad maksimaalsed deformatsioonid

Arvutusmudelitest selgub, et kõige rohkem deformeeritud piirkondadeks osutuvad spindli baaspinna poolsed nurgad. Selelt 2.11 A on näha, et koormusega 1980 N on maksimaalne tekkiv deformatsioon 0,008 mm. Arvestades, et arvutusmudelites kasutatud löikejõud on maksimaalne, mis saab tekkida koorivtöötamise siirde käigus, siis puhastöötamise siirde käigus kasutatavad löikerežiimid tekitavad kordades madalama löikejõu. See välistab täpsete detailide puhul läbipainde ohu kinnitusflantsi sõlmes. Kinnitusflantsi koormamisel 5940 N (Sele 2.11, B) on maksimaalseteks tekkivateks deformatsioonideks 0,025 mm. Maksimaalsete deformatsioonide tekkekohad on märgitud Selel 2.11 punase sildiga.

Antud tugevusanalüüsile tuginedes võib öelda, et konstrueeritud kinnitusflants vastab esitatud nõuetele ning olemas on piisav varutegur. Reaalsetes töötingimustes töötamiseks on kinnitusflantsil piisav jäikus, et tagada täpne töötlemine.

2.4 Valmistamise tehnoloogia

Antud peatükk kirjeldab spindli kinnitusflantsi töötlemistehnoloogiat. Detaili valmistamise tehnoloogia on loodud CNC freespingi Haas MiniMill näitel. Haas MiniMilli töölaua liikumisulatus on piisav, et töödelda kinnitusflantsi kõik nõutud pinnad. Haas MiniMilli spetsifikatsioon on järgnev (Sele 2.12):

- Töötlemisulatus 406 x 305 x 254 mm;
- Võimsus: 5,6 kW;
- Tööriistamagasin: 10 pesa;
- Maksimaalne pöörlemissagedus: 6000 p/min;
- Töölaua kandevõime: 227 kg.



Sele 2.12 Haas MiniMill [29]

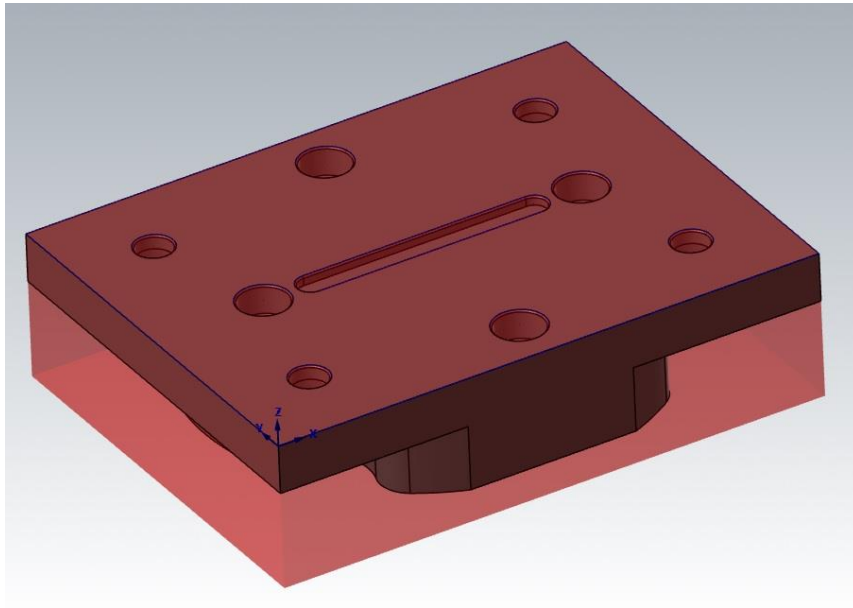
Detaili töötlemiseks valiti toorik mõõtmetega 170 mm x 130 mm x 45 mm, mis on eelnevalt mõõtu töödeldud. Tooriku rakistamiseks kasutatakse mehaanilist masinkruustange. Kinnitusflantsi töötlemine toimub kahes paigalduses.

2.4.1 Kinnitusflantsi esimene paigaldus

Esimese paigalduses töödeldakse elektrilise spindli poolne kontaktpind. Antud paigalduses tehtavad siirded on järgmised:

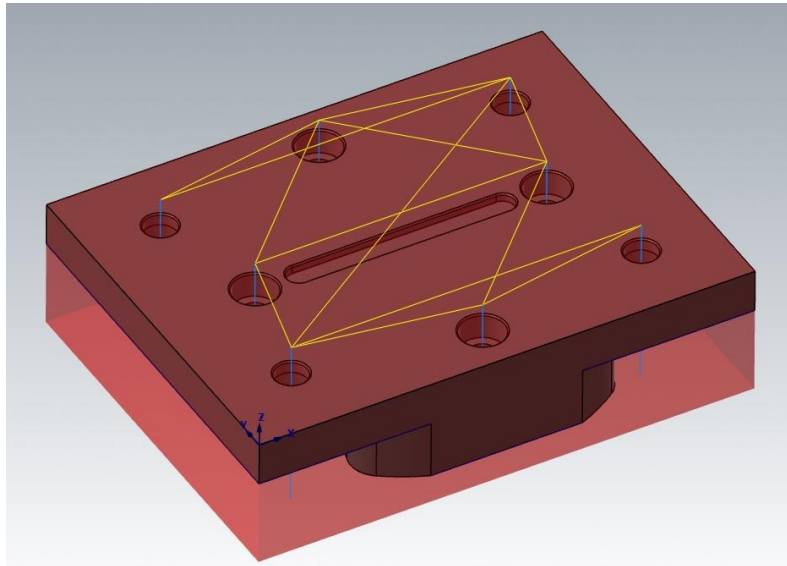
- Avade tsentreerimine;
- Avade puurimine;
- Liistusoone koorivtöötlemine;
- Liistusoone puhastöötlemine;
- Peitpeaga poldiavade töötlemine;
- Faaside töötlemine.

Alljärgnevalt seelt (Sele 2.13) on näha tooriku paiknemine ümber töödeldava detaili. Detaili nullpunkti nihutus on määratud tooriku vasakusse nurka, tooriku pinnale.



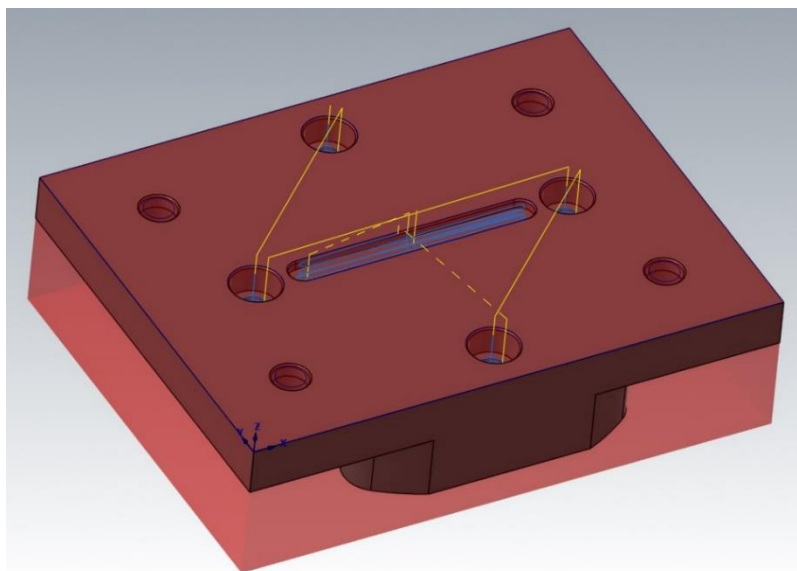
Sele 2.13 Tooriku paiknemine ümber töödeldava detaili

Esimese siirdena töödeldakse ette tsentriavad. Eesmärgiks on tagada puuritavatele avadele täpne asukoht. Kuna tsentreerimisinstrumendi tipunurk on väiksem (90°) ning instrumendi väljaulatus tööriistahoidjast on väiksem kui kõvasulam spiraalpuuril, on instrumendi läbipainde võimalus väiksem [30]. Teise siirdena töödeldakse poldiavad. Puurimisinstrumendiks on kõvasulam spiraalpuur läbimõõduga 9 mm. Kõvasulam spiraalpuuriga on võimalik kasutada suuremaid lõikerežiime, mis vähendab siirde masinaaega. Kolmanda siirdena puuritakse neli ava kasutades spiraalpuuri läbimõõduga 11 mm. Puurimisinstrumendi materjaliks on samuti kõvasulam. Tsentreerimis- ja puurimissiirde töörajad on nähtavad järgneval seel (Sele 2.14). Seel kollasega märgitud töörajad on tööpingi kiirliikumised, mille käigus materjali eemaldamist ei toimu. Kiirpaigutust kasutatakse maksimaalseks liikumiseks tööliikumiste vahel. Seel sinisega märgitud töörajad on lõikeliikumised, mis toimuvad kindlaks määratud kiirusega ettenihke liikumisega ja eesmärgiks on materjali eemaldamine.



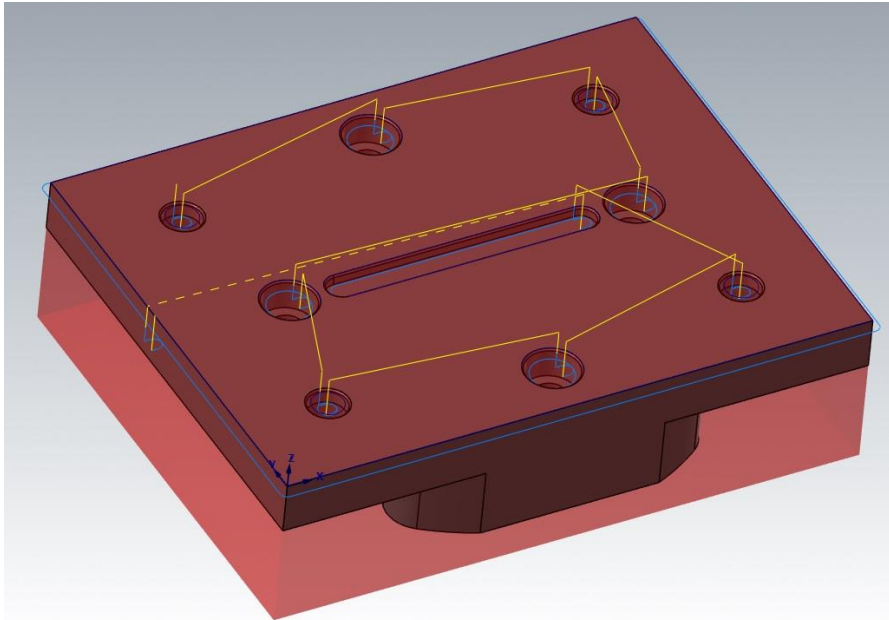
Sele 2.14 Tsentreerimis- ja puurimissiirete töörajad

Järgmise siirdena töödeldakse poldipesade astmelised avad läbimõõduga 16 mm, teostatakse liistusoonele koorivtöötlus ning puhastöötlus. Liistusoonele teostatakse puhastöötlus, et tagada nõutud täpsusklass. Soone laiuseks on 8 mm täpsusklassiga $H8 \left(\begin{smallmatrix} +0,22 \\ 0 \end{smallmatrix} \right)$ [33]. Lõikeinstrumendina kasutatakse nelja lõikehambaga kõvasulam sõrmfreesi läbimõõduga 6 mm. Poldipesade astmeliste avade ja liistusoone töörajad on nähtavad järgneval seel (Sele 2.15).



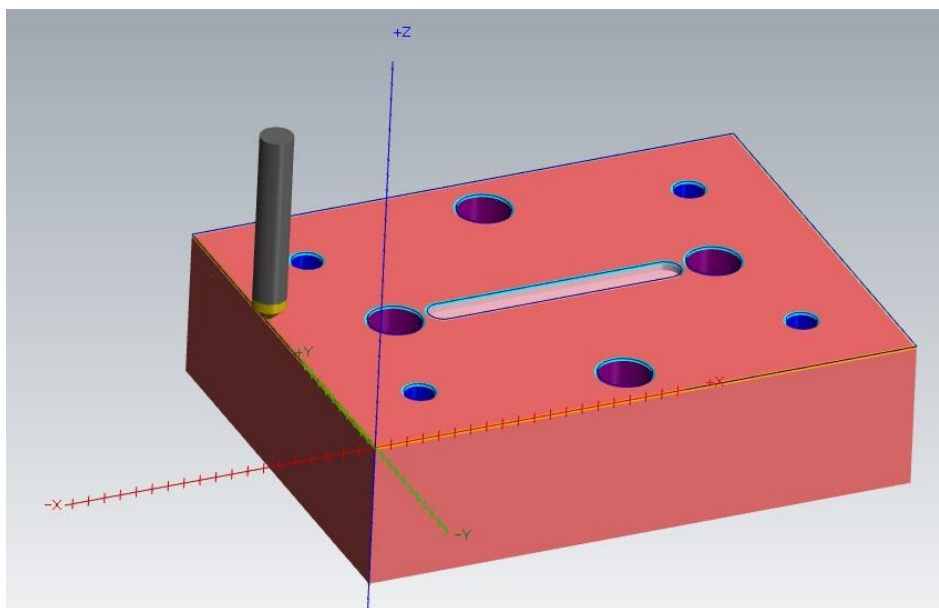
Sele 2.15 Poldipesade ja liistusoone töötamise töörajad

Viimase siirdena töödeldakse avadele ja detaili välisservadele faasid, et nürstada teravad servad. Servadele faaside töötlemine tagab lihtsama elementide paigalduse, milleks on poldid ja prismaliist. Faaside töötlemise töörajad on nähtavad alljärgneval seel (Sele 2.16).



Sele 2.16 Faasitöötamise töörajad

Antud detaili esimene paigaldus teostati kasutades viit erinevat lõikeinstrumenti ja teostati seitse töötlussiiret. CAM tarkvaraga Mastercam X9 programmeeritud töörajad tagavad kõigi vajalike pindade töötlemise kogu ulatuses. Töödeldud detaili esimene paigaldust on nähtava alljärgneval seel (Sele 2.17). Simulatsioonis on ära näidatud tööpingi telgede suunad ning siirded märgitud erinevate värvidega.



Sele 2.17 Esimese paigalduse simulatsioon

Kinnitusflantsi töötlemiseks kuluvad masinaajad on välja toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 2.5). Ülevaade esimese paigalduse tööstustehnoloogiast on välja toodud (L4, 98). Töötlemistehnoloogias on välja toodud kasutatud lõikeinstrumendid, lõikerežiimid ning töötlusvarud kõigile siiretele eraldi.

Tabel 2.5 Kinnitusflantsi esimese paigalduse masinaajad

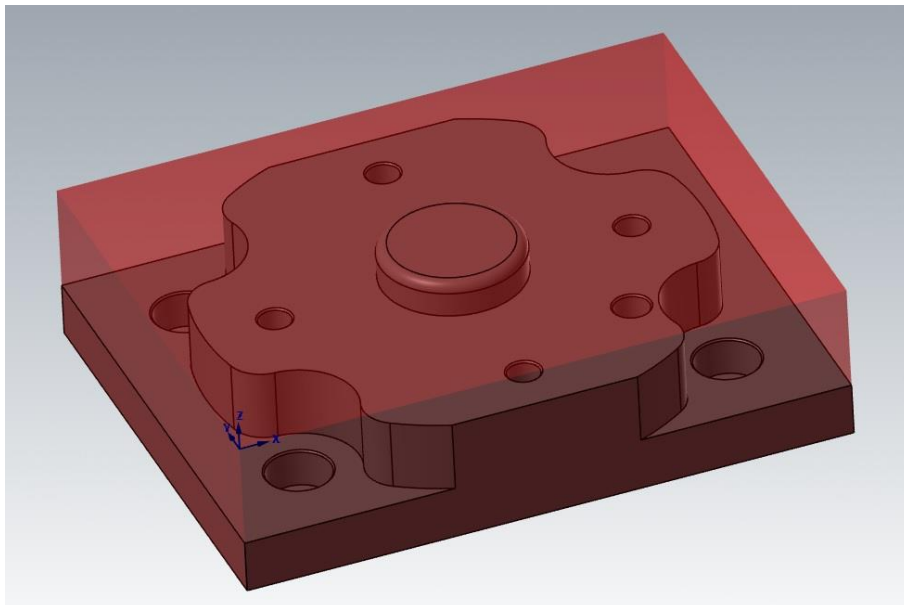
Nr	Siirde nimetus	Tööriista tüüp	Siirde aeg, s	Kogu aeg, min
1	Tsentreerimine	Drill/Counterbore	47,33	0,79
2	Ava Ø9 mm puurimine	Drill/Counterbore	30,17	0,50
3	Ava Ø11 mm puurimine	Drill/Counterbore	29,17	0,49
4	Pesade töötlemine	Contour 2D	38,00	0,64
5	Liistusoone koorivtöötlemine	2D High Speed	24,28	0,40
6	Liistusoone puhasttöötlemine	Contour 2D	39,28	0,66
7	Faaside töötlemine	Contour 2D chamfer	43,20	0,72
			Kokku, min	4,20

2.4.2 Kinnitusflantsi teine paigaldus

Teises paigalduses töödeldakse jõuanduri poolne kontaktpind. Antud paigalduses tehtavad siirded on järgmised:

- Silindrilise astme töötlemine;
- Poldipesade töötlemine;
- Tihvti ava töötlemine;
- Faaside töötlemine;
- Ümardusraadiuse töötlemine silindrilisele astmele;

Teise paigalduse tarbeks seatakse tooriku nullpunkti nihutus (G54) jällegi ette töödeldud tooriku vasakusse nurka, detaili pinnale. Nullpunkti nihutuse valik on tingitud, et toorikud võimalikult kiiresti ja täpselt üles mõõta. Alljärgnevalt selelt (Sele 2.18) on näha detaili paiknemine toorikus. Selal punasega tähistatud toorikumaterjal eemaldatakse töötlemise käigus.

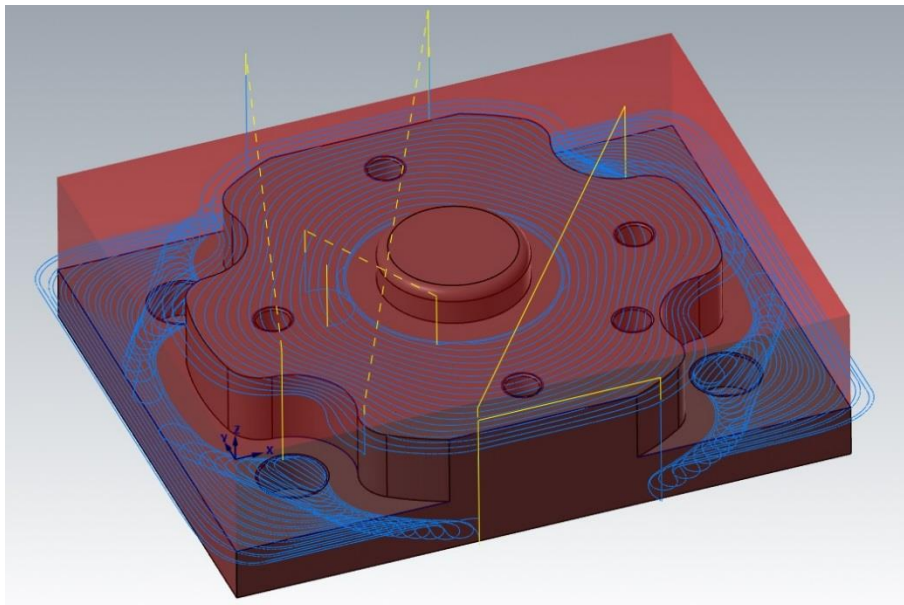


Sele 2.18 Teise paigalduse nullpunkti nihutus

Teise paigalduse esimeseks siirdeks on detaili külgedelt üleliigse materjali eemaldamine. Kasutatakse $\varnothing 16$ mm sõrmfreesi ning kasutatakse dünaamilist kiirfreesimise töörada.

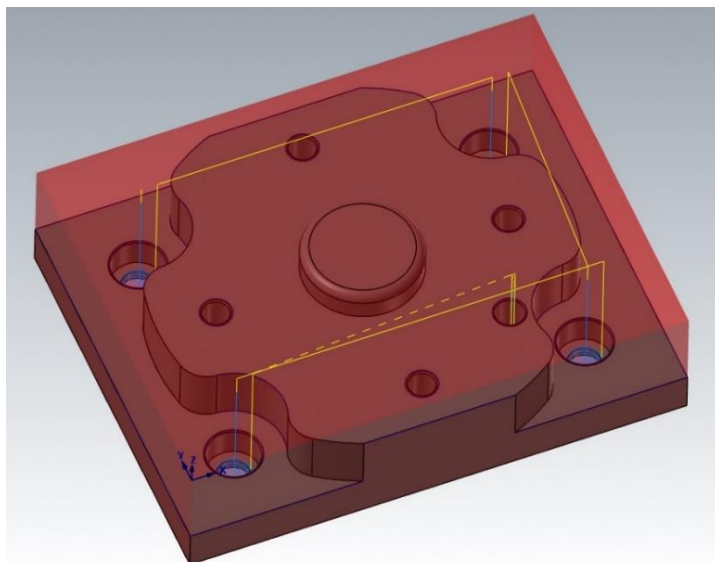
Dünaamiline kiirfreesimine on materjali eemaldamine suure lõikesügavusega ($a_p - 30$ mm), seejuures väikese lõikelaiusega. Eesmärk on kasutada lõikeinstrumendi kogulõikeserva, et instrumenti efektiivsemalt kasutada. Dünaamiline töörada erineb traditsiooniliselt kiht-kihi haaval materjali eemaldamisest kuna CAM tarkvara genereerib töörajad selliselt, et lõikeinstrument oleks maksimaalselt lõikes. Peale üleliigse materjali eemaldamist teostatakse teise siirdena puhastöötlemine, mille käigus eemaldatakse töötlusvarud detaili seintelt.

Kolmanda siirdena kasutatakse sama lõikeinstrumenti, et eemaldada üleliigne materjal detaili pealmiselt pinnalt. Samuti kasutatakse dünaamilise kiirfreesimise töörada, et eemaldada üleliigne materjal. Seejärel eemaldatakse töötlusvarud ehk teisisõnu teostatakse neljanda siirdena puhastöötlemine. CAM tarkvaraga Mastercam X9 programmeeritud töörajad on nähtavad alljärgneval seel (Sele 2.19).



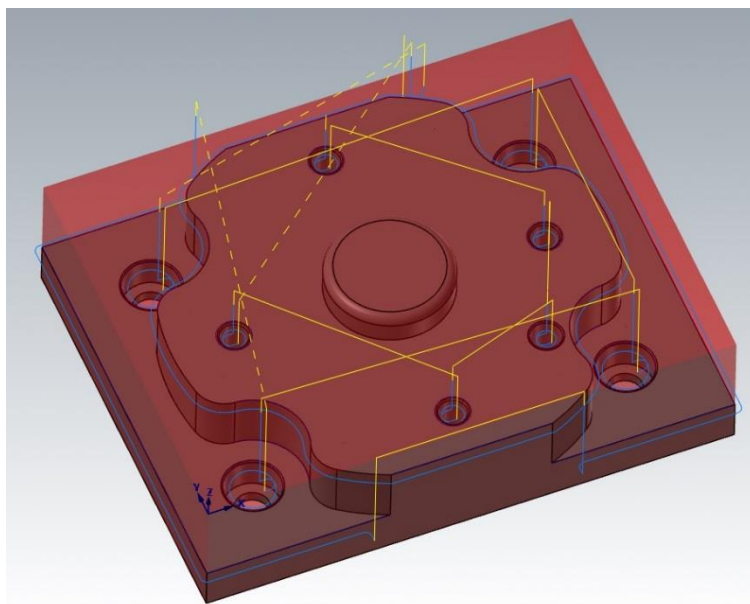
Sele 2.19 Astmete dünaamiline kooriv- ja puhastöötlemine

Viienda siirdena töödeldakse peitpeaga poldipesad läbimõõduga 16 mm ning tihvtiava läbimõõduga 10 mm. Töötlemiseks kasutatakse 6 mm läbimõõduga sõrmfreesi. Poldipesade ning tihvti ava töötlemise töörajad on nähtavad alljärgneval seel (Sele 2.20).

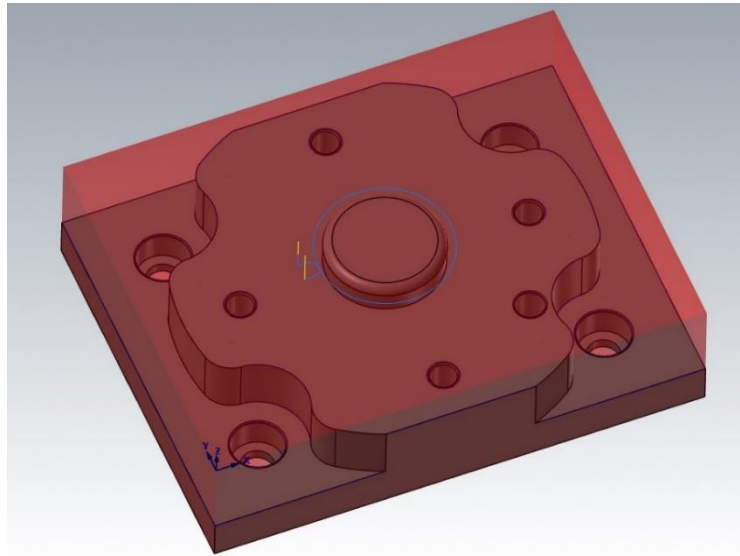


Sele 2.20 Poldipea avade ja tihvti ava töötlemine

Kuuenda siirdena töödeldakse töötlemise käigus tekkinud teravatele servadel faasid. Seitsmenda siirdena töödeldakse silindrilisele astmele ümardusraadius kasutades spetsiaalsest ümardusfreesi nurgaradiusega 3 mm. Faaside töötlemise töörada on nähtav alljärgneval seel (Sele 2.21) ning ümardusraadiuse töörada on nähtav seel (Sele 2.22). Iseloomult on need siirded sarnased kuna materjali eemaldamine toimub ühe läbimiga mööda kontuuri.

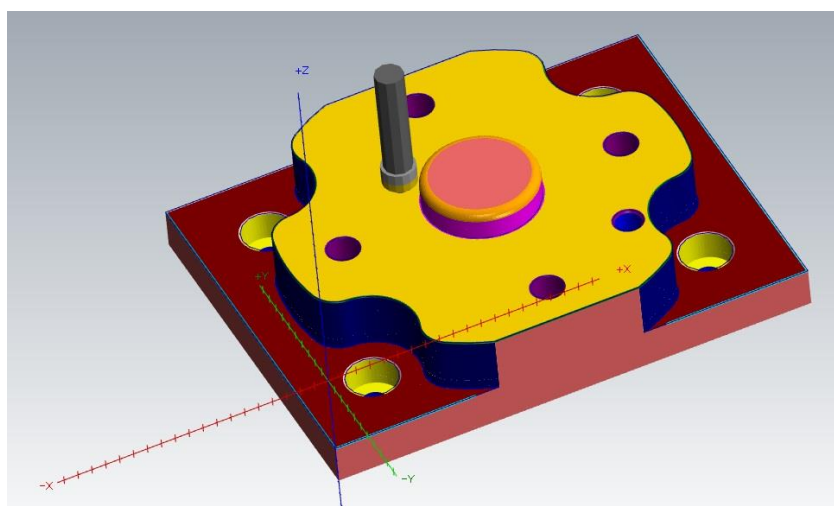


Sele 2.21 Faaside töötlemine



Sele 2.22 Kujupinna töötlemine

Antud detaili teises paigalduses kasutati nelja erinevat lõikeinstrumenti, millega teostati seitse erinevat siiret. Haas Minimilli telgede arv seab piiratud võimalused kõikide faaside töötlemiseks. Kuna detaili seinani ei ole võimalik antud tööpingis faasi töödelda ja lisapaigalduse teostamine CNC-freespingis ei ole otstarbekas, siis töödeldakse faasid lõpuni lukksepatööna, kuna valmistatakse ainult üks detail. Töödeldud kinnitusflantsi teine paigaldus on nähtav alljärgneval seel (Sele 2.23). Simulatsioonis on ära näidatud tööpingi telgede suunad ning siirded märgitud erinevate värvidega.



Sele 2.23 Kinnitusflantsi teise paigalduse simulatsioon

Kinnitusflantsi teises paigalduses töötlemiseks kuluvad masinaajad on välja toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 2.6). Ülevaade teise paigalduse tööstustehnoloogiast on välja toodud (L5, 100). Töötlemistehnoloogias on välja toodud kasutatud lõikeinstrumendid, lõikerežiimid ning tööstusvarud kõigile siiretele eraldi.

Tabel 2.6 Kinnitusflantsi esimese paigalduse masinaajad

Nr	Siirde nimetus	Tööriista tüüp	Siirde aeg, s	Kogu aeg, min
1	Astmete koorivtöötlemine	2D Dynamic High Speed	424,28	7,07
2	Astmete puhastöötlemine	Contour 2D	38,80	0,65
3	Silindrilise astme koorivtöötlemine	2D Dynamic High Speed	359,24	5,99
4	Silindrilise astme puhastöötlemine	Contour 2D	13,51	0,22
5	Poldi pesade töötlemine	Contour 2D	149,79	2,50
6	Faaside töötlemine	Contour 2D chamfer	111,45	1,86
7	Kujupinna töötlemine	Contour 2D	30,85	0,51
			Kokku, min	18,80

Alljärgnevas tabelis (Tabel 2.7) on kokku liidetud esimese ja teise paigalduse masinaajad. Tabel annab ülevaade kogu detaili töötlemiseks kuluvast masinaajast kasutades lõiketöötlemise protsessi. Masinaaegadele lisanduvad abiajad, mis sisaldavad tooriku ettevalmistamist, tööpingi seadistamist ja tooriku üles mõõtmist.

Tabel 2.7 Kinnitusflantsi koond masinaajad

Nr	Paigalduse nimetus	Masinaaeg, min	Masinaaeg kokku, min
1	Paigaldus 1	4,20	4,20
2	Paigaldus 2	18,80	23,00

Koondtabelist selgub, et esimeses paigalduses kulus kinnitusflantsi töötlemiseks 4,20 minutit. Teise paigalduse masinaajaks on 18,80 minutit. Kokku kulus detaili töötlemiseks 23,00 minutit millele lisanduvad abiajad.

3. SÜSTEEMI PNEUMAATIKA KOMPONENTIDE VALIK

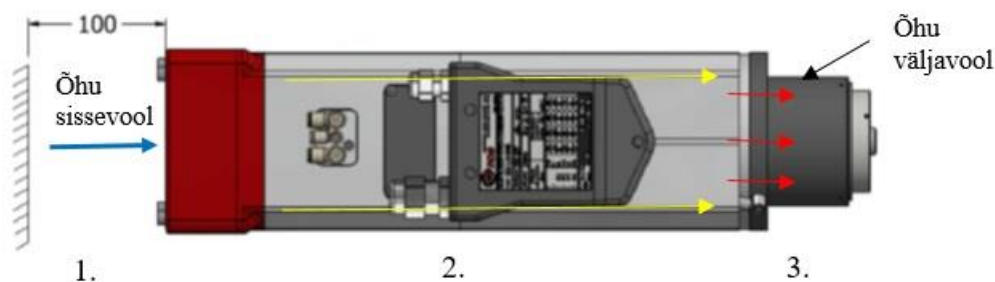
Käesolev peatükk käsitleb robotsüsteemi pneumaatilisi komponente. Kirjeldatakse, milliseid lisakomponente on vaja arendatava süsteemi jaoks ning kirjeldatakse komponentide funktsiooni süsteemis. Lisaks antakse ülevaade mis tüüpi spindli jahutust kasutatakse ning seatakse nõuded õhu kvaliteedile. Antud peatükk on jagatud alapeatükkideks, mis jaguneb järgnevalt:

- Spindli jahutus;
- Nõuded õhukvaliteedile;
- Pneumaatika süsteem;
- Pneumaatika komponendid.

3.1 Spindli jahutus

Elektrilise spindli jahutamine toimub kasutades sund-tüüpi õhkjahutust. Sundjahutus on saavutatud kasutades kahte erinevat meetodit. Esimesena kasutatakse elektrilist ventilaatorit, mis on paigutatud elektrilise spindli tagumise osa külge. Elektriline spindel on eraldiseisev üksus, mis tagab efektiivsema õhu läbivoolu läbi spindli korpuse. Teisena kasutatakse eraldi spindlilaagrite jahutust, mis saavutatakse suruõhu juhtimisega keraamilistele laagritele. Kuna laagrite jahutamiseks vajalik suruõhk võetakse tsentraalsest õhutrassist, siis on suruõhu kvaliteedile esitatud kindlad nõuded, vt „3.2 Nõuded õhu kvaliteedile“.

Ventilaatori ülekoormuse vältimiseks on paigaldatud termolüliti, mis on ühendatud pea elektrispindli lülitiga, vältides elektrilise spindli ülekuumenemist. Ülekuumenemise korral lülitab termolüliti elektrilise ventilaatori välja, mis omakorda katkestab elektrilise spindli mootori vooluahela. Ülekuumenemise vältimiseks näeb tootja ette, et piisava õhuvoolu tagamiseks tuleb elektrilise ventilaatori sissevõtu katte kaugus lähimast pinnast minimaalselt 100 mm.



Sele 3.1 Elektrilise spindli minimaalne kaugus lähimast pinnast

Õhu sissevool toimub elektrilise spindli tagumisest osast (1.) ning õhk surutakse läbi spindli korpuses olevate õhutunnelite (2.) ning õhk väljub spindli esimesest osast (3.) (Sele 3.1). Maksimaalse jahutuse tagamiseks tuleb kontrollida õhuvoolutunneliteid, et ei satuks väljavoolu avadesse võõrkehasid, mis võiksid takistada õhu läbivoolu spindli korpusest. Elektriline ventilaator on paigaldatud vibratsiooni summutavatele puksidele, et vältida otsest kontakti spindli korpusega, vältimaks vibratsiooni ülekannet, mis tekib töötamise käigus. Alljärgnevas tabelis on välja toodud elektrilise ventilaatori tehniline spetsifikatsioon (Tabel 3.1).

Tabel 3.1 PDS XLHS 110 elektrilise ventilaatori spetsifikatsioon

Toitepinge	24 (18-30) V DC
Pöörlemissagedus	Min 6300 p/min
Sisend voolugevus	3,5 A max
Võimsus	78 W
Kaitseaste	IP 20
Laagerdus	Täpis kuullaagrid
Turve	Vale polaarsus, spindli blokeerumine, ülekoormus
Andurid	Pöörlemissageduse signaal, 2 impulssi pöörde kohta
Õhu vooluhulk	7,5 m ³ /min

Tabelis 3.1 on välja toodud, et anduritega kontrollitakse elektrilise ventilaatori pöörlemissagedust. Seda põhjusel, et on väga tähtis kontrollida ventilaatori nõuetekohast toimimist, et ennetada ja vältida elektrilise spindli ülekuumenemist. Andur tekitab iga pöörde kohta kaks pinge impulssi.

3.2 Nõuded õhukvaliteedile

Käesolevas töös kasutatava elektrilise spindli PDS XLHS 110 kasutamise puhul on fundamentaalse tähtsusega õhu kvaliteet. Õhu kvaliteet tagab elektrilise spindli laagrite korrektse toimimise ning seetõttu seadme pika eluea. Nagu kõikides pneumosüsteemides, on probleemiks kondensaadi teke rõhu ja temperatuuri muutuste korral [32]. Tekkiv kondensaat on ohtlik nii keraamilistele kuullaagritele kui ka instrumendihoidiku kinnitussüsteemile. Samuti on ohtlik tahkete osakeste sattumine suruõhku ja suruõhu seadmetes kasutatav õli sattumine suruõhku.

Probleemide vältimiseks kasutatakse õhukvaliteedi norme vastavalt ISO 8573.1, klass 3 järgi. ISO 8573.1 õhukvaliteedi standardi järgi liigitatakse õhukvaliteet 9 klassi. Tähtsateks parameetriteks on:

- tahkete osakeste osakaal suruõhus;
- niiskuse ja kondensaadi osakaal suruõhus;
- õli osakaal suruõhus.

Järgnevalt tuuakse väljavõtte õhukvaliteedi standardist ISO 8573.1 (Tabel 3.2).

Tabel 3.2 ISO 8573.1 õhukvaliteet [14]

Klass	Tahked osakesed, osakeste suurus			Niiskus ja vedelik	Õli
	0,10<d≤0,5	0,5<d≤1,0	1,0<d≤5,0	Kastepunkt PDP	Õli kontsentratsioon
	mm	mm	mm	°C	mg/m ³
	Maksimaalne osakeste arv m ³				
1	100	1	0	≤ -70	≤ 0,01
2	100 000	1000	10	≤ -40	≤ 0,10
3	-	10 000	500	≤ -20	≤ 1,00
4	-	-	1000	≤ +3	≤ 5,00
5	-	-	20 000	≤ +7	
6				≤ +10	

Antud süsteemis õhukvaliteedi klassi 3 järgimine on nõue, et tagada süsteemi jätkusuutlik toimimine. Õhupuhtus tagatakse 5 µm eelfiltri ning 0,1 µm trassifiltri abil.

3.3 Pneumaatika süsteem

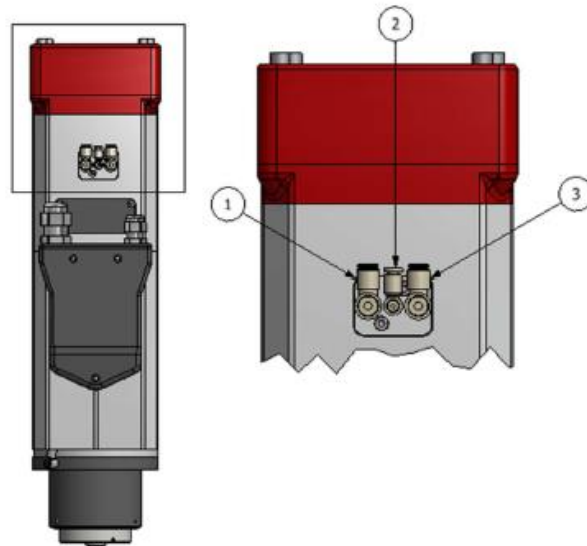
Elektrilise spindli PDS XLHS 110 pneumaatiliseks juhtimiseks on spindli korpusest kolm sisendit. Pneumosüsteemi normaalseks töö rõhuks on 6 bar-i ning madalama töö rõhu kasutamine võib tekitada häiringuid süsteemi töös. Näiteks ei pruugi madalama töö rõhu kui 6 bar-i kasutamisel toimida instrumendihoidja vabastamine elektrilisest spindlist. Töö rõhu kontrollimiseks mõõta rõhuväärtused elektrilise spindli sisend portidest. Sisendite abil on võimalik:

- Instrumendihoidjat vabastada;
- Instrumendihoidjat kinnitada;
- Instrumendihoidiku pesa puhastada;

Alljärgneval seel on välja toodud sisendite paiknemine elektrilise spindli korpusel (Sele 3.2). Sisendite seletused on välja toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 3.3).

Tabel 3.3 Sisendite nimetused

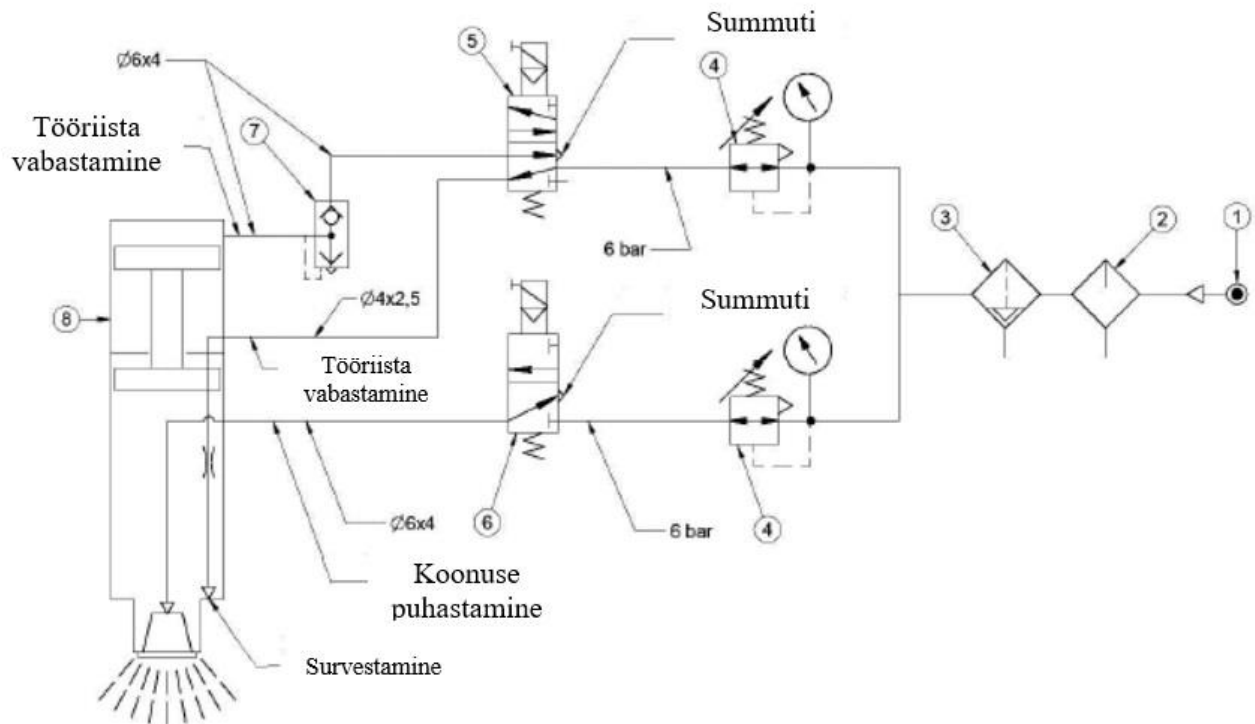
Osa	Nimetus	Funktsioon	Rõhk	Toru Ø
			bar	mm
1	Vabasta tööriist	Instrumendihoidja vabastamine	6	Ø6,0x4,0
2	Kinnita tööriist	Instrumendihoidja fikseerimine + survestamine	6	Ø4,0x2,5
3	Koonuse puhastamine	Instrumendihoidja koonuspesa puhastamine	6	Ø6,0x4,0



Sele 3.2 PDS XLHS sisend pordid

Alljärgneval seel (Sele 3.3) on välja toodud süsteemi pneumaatiline skeem. Skeemil välja toodud tähistused on järgnevad:

- 1 – kompressor;
- 2 – 5 μm eelfilter;
- 3 – 0,1 μm trassifilter;
- 4 – rõhuregulaator;
- 5 – monostabiilne 5/2 suunaventiil;
- 6 – monostabiilne 3 /2 suunaventiil;
- 7 – kiirväljalaskeklapp;
- 8 – elektriline spindel.



Sele 3.3 Elektrilise spindli pneumoskeem [7]

Suruõhuallikast (1) antakse suruõhu toide, mis liigub läbi eelfiltri (2) ja trassifiltri (3). Edasi jaotatakse pneumosüsteem kaheks:

- Instrumendihoidiku vabastamine/kinnitamine;
- Instrumendihoidiku koonuspesa puhastamine suruõhuga.

Tööriistavabastamise skeemil juhitakse suruõhk läbi manuaalselt seadistatava rõhuregulaatori (4). Juhtelemendiks kasutatakse monostabiilset 5 / 2 elektropneumaatilist suunaventiili (5), millega antakse pneumaatiline signaal edasi läbi kiirväljalaskeklapi (7) täiturile (8).

Süsteemi teise osa, milleks on instrumendihoidiku koonuspesa puhastamine, juhitakse pneumo signaal samuti läbi manuaalselt seadistatava rõhuregulaatori (4). Rõhuregulaatorist liigub signaal edasi juhtimiselemendile, milleks on elektropneumaatiline monostabiilne 3 / 2 suunaventiil (6). Signaali olemasolul puhastatakse õhupihusti abil suruõhujoaga instrumendihoidiku koonuspind, et tagada täpne hoidiku paigaldus.

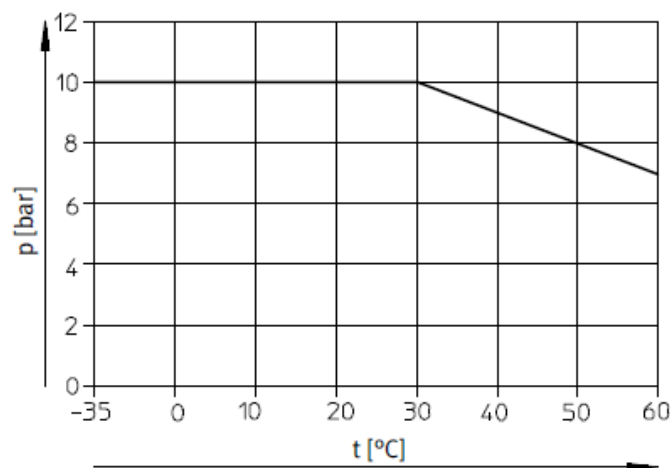
3.4 Pneumaatika komponendid

Eelpool välja toodud pneumoskeemi koostamiseks soetati vajalikud komponendid ettevõtte Festo tootevalikust. Soetatud komponentide hulka kuuluvad:

- Õhutorustik;
- Filter regulaator;
- Elektrilise juhtimisega suunaventiilid;
- Kiirväljalaske klapp;
- Ühenduskaablid;
- Liitmikud.

3.4.1 Õhutorustik

Pneumosüsteemis suruõhu edasikandmiseks kasutatakse õhutorustiku läbimõõduga 6,0 mm x 1,0 mm ning õhutorustiku läbimõõduga 4,0 mm x 0,75 mm. 6,0 mm läbimõõduga plastiktorustiku soetati 40 meetrit ning 4,0 läbimõõduga plastiktoru soetati 20 meetrit. Tegemist on sinise värvusega polüuretaan materjalist voolikuga, mis on väga elastne. Temperatuurist sõltuv töö rõhk jääb vahemikku -0,95 bar-i kuni 10 bar-i. Plastiktorustikku võib kasutada temperatuuri vahemikus -35 - +60 °C. Alljärgneval seel (Sele 3.4) on välja toodud töö rõhu p ja temperatuuri t funktsioonigraafik.



Sele 3.4 Töö rõhu ja temperatuuri funktsioonigraafik [16]

Ülaltoodud selet on näha kuidas temperatuuri tõus üle 30 °C hakkab vähendama tööõhku. Antud rõhulangu peab pneumosüsteemi projekteerimisel silmas pidama. Alljärgneval selet (Sele 3.5) on välja toodud plastiktorustiku illustratsioon.



Sele 3.5 Õhutorustik PUN-6X1-BL [15]

3.4.2 Õhu ettevalmistusplokk

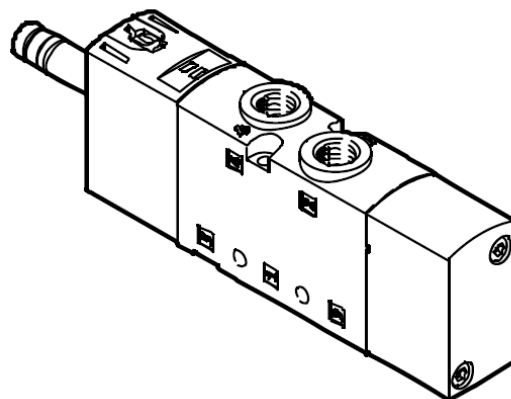
Õhu filtreerimiseks ja tööõhu reguleerimiseks valiti süsteemi õhu ettevalmistusplokk, mis koosneb filtrist ja rõhu regulaatorist. Õhu ettevalmistusploki filtreerimisvõime on 5 μm , mille järgneb peenfilter eraldusvõimega 0,1 μm . Tööõhk on seadistatav vahemikus 0,5 kuni 12,0 bar-i. Ülemäärase kondensaadi väljalaskmine toimub manuaalselt. Alljärgneval selet on kujutatud festo poolt pakutav õhu ettevalmistusplokk (Sele 3.6).



Sele 3.6 Festo õhuettevalmistusplokk [17]

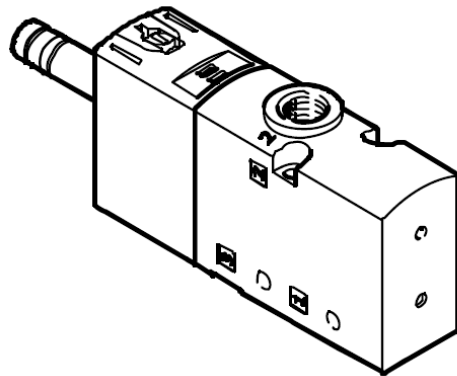
3.4.3 Elektrilise juhtimisega suunaventiilid

Süsteemi juhtelementidena kasutatakse elektrilise juhtimisega suunaventiile. Tööriista vabastamise ja fikseerimise süsteemi osas kasutatakse monostabiilset 5 / 2 suunaventiili. Suunaventiili tagastamine algasendisse toimub mehaanilise survevedru abil. Antud suunaventiili õhuvoolu ei ole võimalik reversseerida. Alljärgneval seel on välja toodud suunaventiil (Sele3.7).



Sele3.7 Elektrilise juhtimisega monostabiilne 5/2 suunaventiil [18]

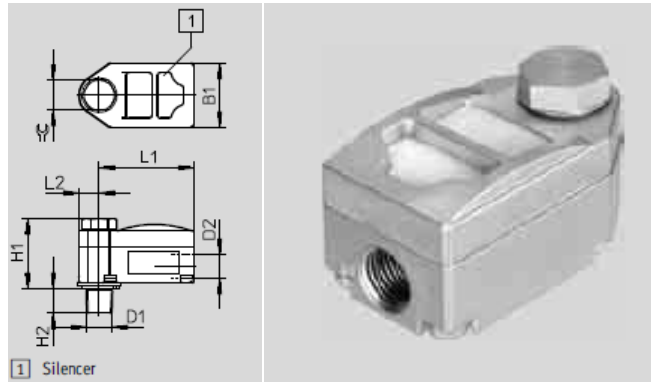
Tööriistahoidiku koonuspesa puhastamise pneumaatilise süsteemi juhtelemendiks kasutatakse monostabiilset 3 / 2 suunaventiili. Sarnaselt 5 / 2 suunaventiilile toimub antud suunaventiili tagastamine algasendisse mehaanilise survevedru toimel ning suunaventiilis ei ole võimalik õhuvoolusuunda reversseerida. Alljärgneval seel on näidatud elektrilise juhtimisega 3 / 2 suunaventiil (Sele 3.8).



Sele 3.8 Elektrilise juhtimisega monostabiilne 3/2 suunaventiil [18]

3.4.4 Kiirväljalaskeklapp

Kiirväljalaskeklapina kasutatakse Festo tootevalikust VBQF seeria klappe. Antud kiirväljalaskeklapi voolukiirus on 2500 l/min. Temperatuuri vahemik on -20 °C kuni +80 °C kraadini ning töö rõhu vahemik on 0,5 kuni 10,0 bar-ni. Antud kiirväljalaskeklapil on sisse ehitatud summuti. Alljärgnevalt seel on välja toodud kiirväljalaskeklapp tähistusega VBQF-U-G18-Q6 (Sele 3.9).



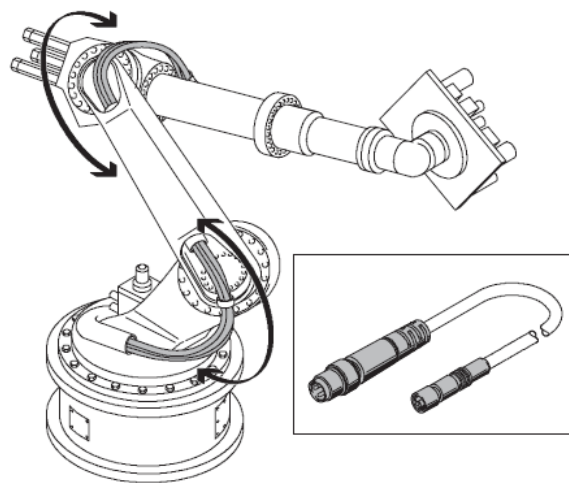
Sele 3.9 Kiirväljalaskeklapp VBQF-U-G18-Q6 [19]

3.4.5 Ühenduskaablid

Ühenduskaablina kasutatakse Festo tootevalikust NEBU seeria ühenduskaablit. NEBU seeria ühenduskaablid on mõeldud rakendamiseks robotsüsteemidel. Festo NEBU ühenduskaabel talub kõrgeid mehaanilisi koormusi, mis robotrakenduste puhul on peamiselt tingitud tõmbejõududest. Ühenduskaabel on 2,5 meetrit pikk ning kaabel on nelja-sooneline. Juhtmete värvitähistuseks on:

- Pruun;
- Sinine;
- Must;
- Valge.

Alljärgneval sellel on välja toodud Festo tootevalikust valitud NEBU seeria ühenduskaabel (Sele 3.10).



Sele 3.10 Festo NEBU ühenduskaablid [20]

3.4.6 Liitmikud

Liitmikutena kasutatakse kiirühendusega sirgeid, L – tüüpi ja T – tüüpi liitmikuid. Sirge liitmik on ühest otsast välispinnalt keermestatud ning teine pool oma kiirühenduse funktsiooni (Sele 3.11). T – tüüpi liitmikutel on kõikides sisend- ja väljundportides kiirühendused (Sele 3.12). L – tüüpi liitmikutel on üks sisend sisekeermega, väljund kiirühendusega (Sele 3.13).



Sele 3.11 Sirge keermega liitmik QST-6 [21]



Sele 3.12 T-tüüpi liitmik QST-6 [21]



Sele 3.13 L-tüüpi liitmik QSLF-1/8-6-B [21]

Eelpool kirjeldatud pneumaatiliste komponentide maksumus on kirjeldatud peatükis 6.4, Tabelis 6.4.

4. SÜSTEEMI ELEKTRIKOMPONENID

Käesoleva peatükk annab ülevaate robotsüsteemis kasutatava elektrilise spindli elektriühendustest ja süsteemis kasutatavatest elektrikomponentidest. Peatükk on jagatud kolmeks alapeatükiks:

- Elektrilise spindli PDS XLHS 110 elektriskeem;
- Elektrilise spindli esmane käivitamine;
- Süsteemi lisatud elektritarvikud.

4.1 Elektrilise spindli PDS XLHS 110 elektriskeem

Elektriline spindel ühendatakse sagedusmuunduriga, mis omakorda ühendatakse toiteallikaga. Elektrilise spindli ühendamiseks on kaks võimalust. Esimene võimalus on kasutada tähtühendust, mille puhul kasutatakse toitepinget 380 V. Teine võimalus elektrilise spindli käitamiseks on kasutada kolmnurk-tüüpi elektriühendust. Antud juhul kasutatakse toitepinget 220 V. Alljärgneval seel on välja toodud täht-tüüpi ning kolmnurk-tüüpi ühendusskeemid (Sele 4.1). Skeemidel kasutatud mootori faaside tähised ja tähendused on välja toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 4.1).

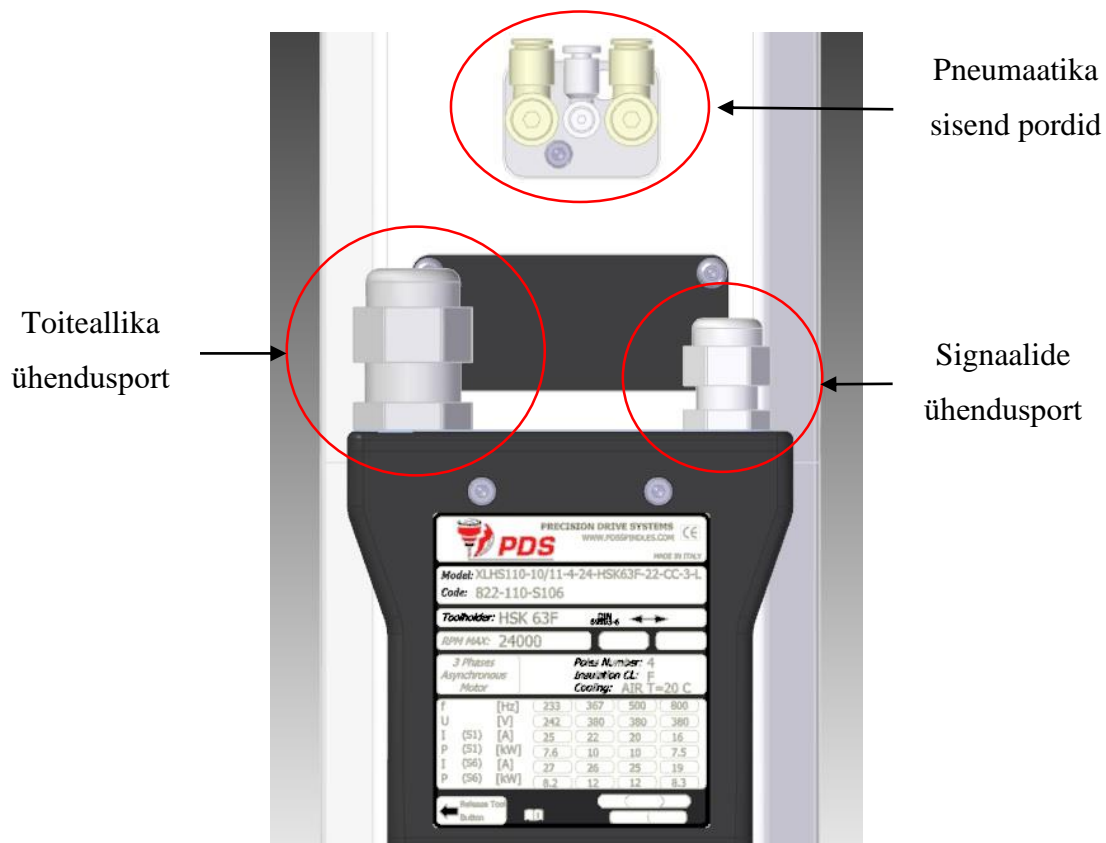


Sele 4.1 Elektrilise spindli ühendusskeemid [7]

Tabel 4.1 Elektrimootori faasi tähistused ja kirjeldus [7]

Tähis	Kirjeldus
U1	Elektrimootori U faas
V1	Elektrimootori V faas
W1	Elektrimootori W faas
GND	Elektrimootori maandus

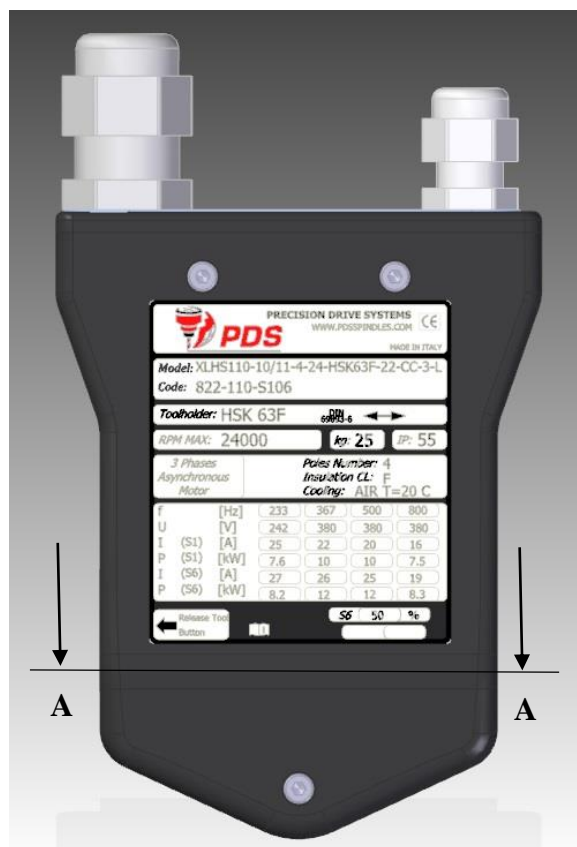
Elektrilise spindli PDS XLHS 110 on korpuse külge paigaldatud elektrikarp, millel on üks sisend toiteallikaga ühendamiseks. Teine sisend on signaalide juhtimiseks. Sisendite paiknemine spindli korpusel on nähtav alljärgneval seel (Sele 4.2). Elektrikarbi sees on ühendusterminal, kuhu ühendatakse toiteallika kaabel ning kaabel signaalide juhtimiseks.



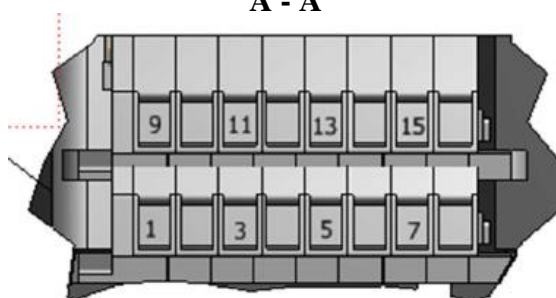
Sele 4.2 Elektrilise spindli ühenduspordid

Signaalide juhtimiseks on elektrikarbis eraldi ühendusterminal. Ühendusterminalis on kaheksa sisendit ja kaheksa väljundit. Alljärgneval seel (Sele 4.3) on tehtud spindli elektrikarbi löige

ning on näidatud sisendite ja väljundite paiknemine ühendusterminalis. Ühendusterminalis numbriliselt tähistatud sisendite ja väljundite kirjeldus on välja toodud tabelis (L6, 102). Lisaks on tabelis välja toodud kuhu on vastav sisend või väljund ühendatud ning kuidas signaalid liiguvad. Elektrikarbi sisendisse ühendatakse üks 0 V kaabel, mis jaguneb neljaks. Samuti ühendatakse elektrikarbi sisendisse üks +24 V kaabel, mis jaguneb neljaks.



A - A

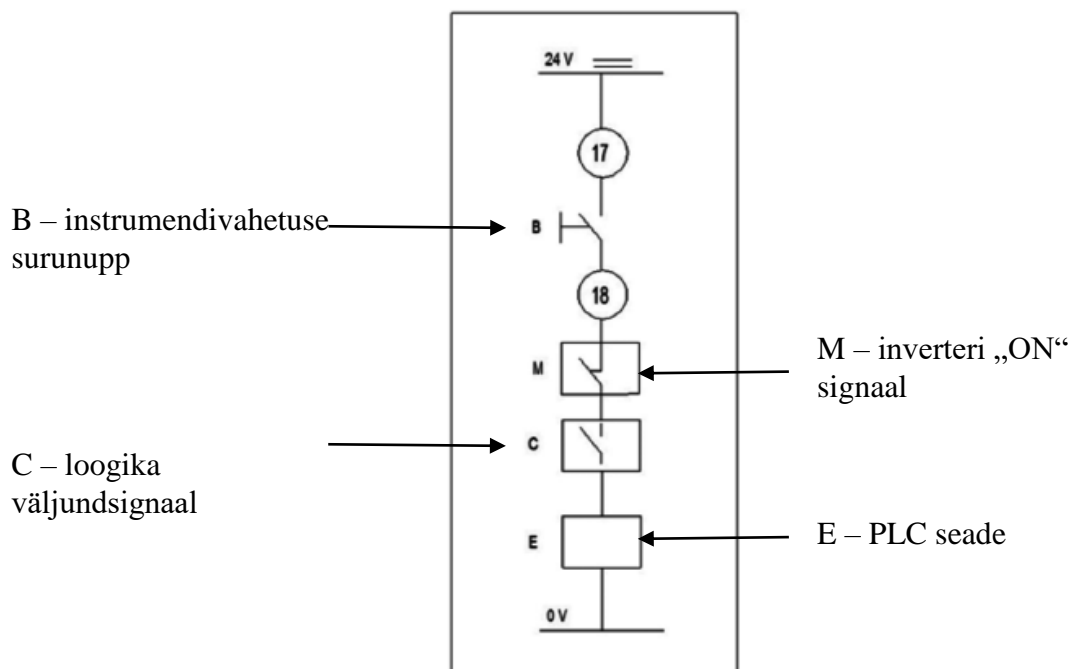


Sele 4.3 Juhtsignaalid mootorist ja ühendused.

Antud lahenduse puhul on neli diskreetset väljundsignaali, mis tähendab, et kontrollerisse läheb neli erinevat signaalikaablit. Lisaks läheb kaks väljundsignaali turvaahelasse, mis tähendab nelja erinevat signaalikaablit. Seega peab signaalikaablis olema minimaaleselt kaheksa soont, et oleks võimalik mootori olekuid kontrollida. Spindli elektriliste ühenduste kirjeldamiseks kasutatakse järgnevaid tähiseid:

- Väljund S1 – Instrumendihoidik kinnitatud;
- Väljund S2 – Instrumendihoidik vabastatud;
- Väljund S3 – Spindel peatatud;
- Väljund elektrilise ventilaatori jälgimiseks;
- Manuaalse instrumendivahetuse surunupp;
- Staatori termosond.

Manuaalne instrumendivahetus saab toimida ainult juhul kui spindel on seiskunud. See tähendab, et manuaalseks instrumendivahetuseks kasutatav surunupp ei tohi otse suunaventiili juhtida. Selle tarbeks on elektrilise monostabiilse 5 / 2 suunaventiili solenoid ühendatud turvaahelasse, mis ei lase lülitusel toimuda. Manuaalse instrumendivahetuse skeem on nähtav alljärgneval seel (Sele 4.4).



Sele 4.4 Manuaalse instrumendivahetuse skeem [7]

4.2 Elektrilise spindli esmane käivitamine

PDS XLHS 110 elektriline spindel on varustatud keraamiliste kuullaagritega. Laagritele on lisatud eriline määrdeõli, mis on mõeldud kiire pöörete sagedusega elektrilisele spindlile. Tehases on teostatud sisse töötamise tsükkel, et saavutada laagrite optimaalne määrimine ning laagriradade sisse töötamine [7].

Kui on möödunud kuus kuud tehase poolt teostatud sisse töötamise tsüklist, on vajalik korrata tootja poolt ette nähtud sisse töötamise tsükli. Sisse töötamise tsükkel on kohustuslik enne normaalkoormusega töötlemist. Alljärgnevas tabelis on välja toodud tootja poolt ette nähtud sisse töötamise tsükkel (Tabel 4.2) Antud tabelis on spindli pöörlemissagedus antud protsentuaalselt. Antud töös kasutatud elektrilise spindli maksimaalne pöörlemissagedus on 24 000 pööret minutis. Sisse töötamise tsükkel kestab 80 minutit.

Tabel 4.2 Spindli sisse töötamise tsükkel [7]

Spindli pöörlemissagedus, %	Tsükli aeg, min	Spindli pöörete arv, p/min
20	25	4 800
50	20	12 000
75	20	18 000
100	15	24 000

Igapäevasel spindli käivitamisel on tootja soovitus kasutada spindli soojenduseks spetsiaalset soojendustsükli ilma koormuseta. Soojendustsükkel tagab, et keraamilised laagrid saavutavad töötemperatuuri ning paisuvad ühtlaselt. Soovitusliku soojendustsükli jaoks kinnitatakse instrumendihoidja elektrilise spindli koonuspesasse. Soojendustsükli ajal töötlemist ei toimu. Alljärgnevas tabelis (Tabel 4.3) on välja toodud soojendustsükkel igapäevaseks käivitamiseks [7]. Soojendustsükkel kestab 11 minutit. Soovituslik on käivitada soojendustsükkel kui spindel on jahtunud keskkonna temperatuurini.

Tabel 4.3 Spindli igapäevane soojendustsükkel [7]

Spindli pöörlemissagedus, %	Tsükli aeg, min	Spindli pöörete arv, p/min
50	5	12 000
75	3	18 000
100	3	24 000

4.3 Süsteemi lisatud elektritarvikud

Elektrilise spindli PDS XLHS 110 süsteemi ühendamiseks koostatakse elektrikapp. Elektrikapp on lokaalne, ning teenindab ainult kiirfreesimise robotsüsteemi elektritarvikuid. Eesmärk on koondada kõik komponendid kompaktsesse elektrikilpi, et vältida robotmanipulaatori tööalas üleliigseid kaableid. Lisaks on elektrikapp lukustatav, mis tagab kõrvaliste isikute ohutuse kuna tegemist on avaliku ruumiga. Elektrikappi kuuluvad järgmised komponendid:

- Elektrikapp;
- Sagedusmuundur Delta VFD110B43A;
- Spindli pidurdustakisti BR1K0W050;
- 24 VDC toiteplokk;
- 16A kolmefaasiline kaitselüliti;
- Hädaseisaku lüliti;
- Fikseeritav lüliti;
- Surunupp;
- DIN liist;
- Kaablite ühendushülsid;
- Kaablikõri;
- ja kaabliside.

Ülaltoodud nimekirjast on sagedusmuundur ja spindli pidurdustakisti soetatud koos elektrilise spindliga. Ülejäänud komponendid soetatakse ettevõtte Elfa Distrelec AS-i tootevalikust. Järgnevad alapeatükid annavad täpsema ülevaate elektrikilpi kuuluvatest komponentidest. Informatsioon elektrikomponentide maksumuse kohta on leitav peatükis „5. Hinnakalkulatsioon“, täpsemalt peatükis 5.5.

4.3.1 Elektrikapp Rittal 15003173

Elektrikapp Rittal on valmistatud lehtmestallist. Elektrikapi gabariitmõõtmed on 760 x 600 x 350 mm, mis on valitud lähtudes asjaolust, et kõik komponendid mahuksid hõlpsasti kappi ära. Elektrikapil on spetsiaalsed avad kaablite jaoks ning omab turvalisuse astet IP 66. Elektrikapi

lehtmetailist pind on viimistletud halli värviga. Alljärgneval seel on illustratsioon Rittal elektrikapist (Sele 4.5).



Sele 4.5 Elektrikapp Rittal [22]

4.3.2 24 VDC toiteplokk MDR-100-24 Meanwell

24 VDC toiteploki lisamine elektrisüsteemi on vajalik, et saavutada 24 voldine pinge. Saavutatud pingega toimub signaalide juhtimine nagu instrumendihoidja vabastamine ja fikseerimine. Samuti vajavad süsteemi andurid 24 voldist toitepinget. Valitud 24 VDC toiteploki sisendpinge on vahemikus 85-264 VAC. Antud toiteploki väljundpinge on 24 volti ning voolutugevus on 4 A amprit. Toiteploki võimsus on 100 W ning toiteplokk on kergesti kinnitatav DIN liistule. Alljärgneval seel on välja toodud toiteplokk MDR-100-24 Meanwell (Sele 4.6).

4.3.4 Lülitid, kinnitustarvikud ja kaabliühendused

Lisaks kuuluvad elektrikappi erinevad lülitid. Kõige tähtsam lüliti peale automaatset kaitselüliti on hädaseisaku lüliti. Tegemist on ohutuslülitiga, mille vajutamisel katkestatakse vooluahel ning kogu robotfreesimise süsteem peatatakse. Hädaseisaku lüliti omab turvalisuse astet IP 65. Alljärgneval seel on välja toodud kasutatud hädaseisaku lüliti (Sele 4.8).



Sele 4.8 Hädaseisaku lüliti [25]

Järgmine lüliti, mis on lisatud elektrikappi on fikseeritava asendiga lüliti. Fikseeritava asendiga lüliti eesmärgiks on süsteemile käivitussignaali andmine. Lüliti maksimaalne pinge on 660 V ning voolutugevus 10 A. Lüliti omab turvalisuse astet IP 55. Süsteemi valitud fikseeritav lüliti on nähtav järgneval seel (Sele 4.9).



Sele 4.9 Fikseeritava asendiga lüliti [26]

Elektrikapi komponentide hulka kuulub veel standardtoode DIN liist. DIN liistule kinnitatakse kõik elektrilised komponendid. Lisaks on kaabliühenduste tarbeks vajalikud kaablihülsid, otsahülsid ja kaablikingad. Kaablikingasid kasutatakse nii toiteahela ühenduste puhul, kui ka

signaaliahela ühendusteks. Ühenduskaablite kompaktsemaks jaotamiseks ruumis kasutatakse kaablikõri ja kaablisidet.

Süsteemi üldise toiteallikaga ühendamiseks soetati 16 A jõupesa, mis kinnitatakse Rapidlab laboratooriumi seinale. Võrgutoite edasikandmiseks tarbijateni ühendatakse 16 jõupesasse samaväärse voolutugevuspiiriga jõupistik. 16 A jõupesa ja –pistik on nähtav alljärgneval seel (Sele 4.10).



Sele 4.10 16 A jõupesa ja jõupistik [27]

5. HINNAKALKULATSIOON

Antud peatükis tuuakse välja erinevate valdkondade komponentide maksumuse. Valdkonnad on jagatud iseseisvateks alapeatükkideks. Hinnakalkulatsioon jaguneb järgnevalt:

- Robotmanipulaator ABB IRB 6640 ja kontrolleri ABB IRC 5 Single Cabinet;
- Eklektiline spindel ja tarvikud;
- Kaabeldus;
- Pneumaatika komponendid;
- Kinnitusvahendid;
- Spindli kinnitusflantsi valmistamine;
- Süsteemi komponentide ja seadmete kogu maksumus.

Eesmärgiks on välja selgitada kiirfreesimise robotsüsteemi lõplik maksumus.

5.1 Robotmanipulaator ABB IRB 6640 ja kontrolleri ABB IRC 5 Single Cabinet

Robotmanipulaatori süsteem soetati TTÜ, Mehaanika- ja tööstustehnika instituudi Rapidlab laboratooriumisse 2012. aastal. Robotsüsteemi maksumus tugineb AS ABB hinnapakumisele. Robotsüsteemi maksumuse hulka kuuluvad:

- Manipulaator;
- Kontrolleri;
- Kaabeldus;
- Juhtimismoodul;
- Käitamismoodul;
- Robotware tarkvara.

Alljärgnevas tabelis (Tabel 5.1) on välja toodud kogu süsteemi maksumus vastavalt 2012. aasta septembris koostatud hinnapakumisele. Eraldi süsteemi osade maksumust välja ei ole toodud. Täielik hinnapakumine on nähtav Lisas 6 [103].

Tabel 5.1 Robotsüsteemi ABB IRB 6640 maksumus (L7, 103)

Nimetus	Hind, €	Kogus, kmpl	Hind KM, €
Robotmanipulaatori ABB IRB 6640 süsteem	35 225	1	42 270

5.2 Elektriline spindel PDS XLHS 110 ja tarvikud

Elektriline spindel valiti ettevõtte Precision Drive Systems ehk PDS tootevalikust. Lisaks valiti PDS-i tootevalikust elektrilise spindli tarvikud, milleks on sagedusmuundur, ühenduskaablid, tööriistahoidjad ja spindli pidurdus takisti. Elektrilise spindli ja tarvikute maksumus on välja toodud alljärgnevas tabelis (Tabel 5.2).

Tabel 5.2 Elektrilise spindli PDS XLHS 110 ja tarvikute maksumus (L9, 109)

Nimetus	Toote kood	Hind, €	Kogus	Kokku, €
Elektriline spindel PDS XLHS 110-8/12-4-24-ISO30-22-CC-3-L	822-110-S110	3210,00	1 tk	3210,00
Sagedusmuundur – Delta VFD110B43A	Delta 15/460B	1015,00	1 tk	1015,00
Ühenduskaablid – Power and Signals	CableAssy-S	16,00	5 m	80,00
Spindli pidurdustakisti – BR1K0W050	DelBrk 15/460	95,20	1 tk	95,20
Instrumendihoidja – SK (ISO) 30/ER32 Collet Chuck	TH-ISO30/ER32	125,00	3 tk	375,00
				4775,20

Ülaltoodud tabelist selgub, et elektrilise spindli ja tarvikute peale kulus kokku 4775,20 €

5.3 Kaabeldus

Kaabeldusena kasutatakse tootja Igus tooteid. Süsteemi juhtimiseks kasutatakse kahte erinevat kaabli tüüpi. Esiteks Chainflex PUR cable 4G4,0, twistable kaablit ning teisena Chainflex PVC

cable kaablit. Alljärgnevas tabelis on välja toodud soetatud kaablite kogused, hind ja maksumus kokku (Tabel 5.3).

Tabel 5.3 Igus Chainflex kaabelduse maksumus (L8, 107)

Nimetus	Toote kood	Hind, €	Kogus, m	Kokku, €	Kokku KM, €
Chainflex PUR cable 4 G 4.0, twistable	CF77.UL.40.04. D	5,15	15	77,25	92,70
Chainflex PVC cable (12G0,5)C	CF6.05.12	5,09	15	76,35	91,62
				153,60	184,32

Ülaltoodud tabelist on näha, et 30 m kaabelduse maksumuseks on kokku 153,60 €, millele lisandub käibemaks. Käibemaksuga on kaabelduse maksumus kokku 184,32 €.

5.4 Pneumaatikakomponendid

Pneumaatilised komponendid on valitud ettevõtte Festo tootevalikud. Festo esindaja Eestis on Festo Oy AB Eesti filiaal. Festo tootevalikust soetati järgnevad tooted nagu ühendusvoolikud, erinevad liitmikud, elektrilised jaotid, summutid ja regulaatorid hinnapakumise alusel. Tooted on nähtavad alljärgnevas tabelis (Tabel 5.4).

Tabel 5.4 Festo pneumaatika komponendid (L10, 112)

Nimetus	Toote kood	Hind, €	Kogus	Kokku, €	Kokku KM, €
Plastikvoolik PUN-6X1-BL	159664	0,83	40 m	33,20	39,84
Plastikvoolik PUN-4X0,75-BL	159662	0,57	20 m	11,40	13,68
Liitmik QS-1/8-6	153002	1,32	10 tk	13,20	15,84
T-liitmik QST-6	153129	3,15	10 tk	31,50	37,80
Elektriline suunaventiil VUVS-L20-M52-MD-G18-F7	575250	46,37	1 tk	46,37	55,64
Mähis VACS-C-C1-1A	8025335	6,01	2 tk	12,02	14,42
Pistikupesa MSSD-EB	151687	1,58	2 tk	3,16	3,79

Nimetus	Toote kood	Hind, €	Kogus	Kokku, €	Kokku KM, €
Elektriline suunaventiil VUVS-L20-M32C-MD-G18-F7	575260	40,42	1 tk	40,42	48,50
Kiirväljalaske klapp VBQF-U-G18-Q6	547532	21,81	1 tk	21,81	26,17
L-liitmik QSLF-1/8-6-B	153274	3,09	1 tk	3,09	3,71
Filter-regulaator MS4-LFR-1/8-D6-C-R-V-AD7-AS	526489	135,13	1 tk	135,13	162,16
Ühenduskaabel NEBU-M8G4-K-2.5-LE4	541342	7,58	1 tk	7,58	9,10
Liitmik QS-1/8-4	153001	1,26	2 tk	2,52	3,02
Summuti U-1/8	2307	4,08	3 tk	12,24	14,69
			Transport	16,00	19,20
				389,64	467,57

Tavatarne puhul kehtivad Festo Oy Ab Eesti filiaalis pakkide saatmine Euroopa pealogistikakeskusest Saksamaalt kliendi poolt määratud aadressile Eestis pakkidele kaaluga kuni 30 kg hinnaga 16 €. Ülaltoodud tabelist (Tabel 5.4) selgub, et erinevate pneumaatiliste komponentide peale kulus 389,64 €, millele lisandub käibemaks. Komponentide hind käibemaksuga on 467,57 €.

5.5 Elektrikomponendid

Antud peatükk annab ülevaate elektrikomponentide maksumusest. Elektrikomponendid soetati ettevõtte Elfa Distrelec AS-i tootevalikust. Süsteemi kuuluvate elektrikomponentide loetelu on välja toodud peatükis „4.3 Süsteemi lisatud elektritarvikud“. Elektrikomponentide maksumus on nähtav alljärgnevas tabelis (Tabel 5.5).

Tabel 5.5 Elfa Distreleci elektrikomponendid [22]

Nimetus	Toote kood	Hind, €	Kogus	Kokku, €	Kokku KM, €
Elektrikapp Rittal	15003173	235,00	1 tk	235,00	282,00
24 VDC toiteplokk Meanwell	MDR-100-24	51,90	1 tk	51,90	62,28
16 A kaitselüliti D GE RL G103	675073	22,08	1 tk	22,08	26,50
Hädaseisaku lüliti	17037944	6,25	1 tk	6,25	7,50
Fikseeritava asendiga lüliti	17037394	8,33	1 tk	8,33	10,00
Surunupp	17036749	4,12	1 tk	4,12	4,95
DIN liist	4600012	4,00	2 tk	8,00	9,60
Kaablihülsid	5401494	0,15	100 tk	15,00	18,00
Kaabliking	5400020	0,12	25 tk	3,00	3,60
16 A jõupesa	437974	10,90	1 tk	10,90	13,08
16 A jõupistik	437972	4,55	1 tk	4,55	5,46
Kaablikõri	500622116	0,25	50 m	12,50	15,00
Kaabliside	CAM16B	15,75	2 kmpl	31,50	37,80
				460,13	495,76

Ülaltoodud tabelist selgub, et elektrikomponentide peale kulus 460,13 eurot, millele lisandub käibemaks. Elektrikomponentide hind käibemaksuga on 495,76 eurot.

5.6 Spindli kinnitussõlme valmistamine

Kinnitusflantsi tähtsaimaks sisendiks on materjal, millest toode otseselt valmistatakse. Kinnitusflantsi materjaliks on alumiinium EN AW 7075-T6, mille ühe kilogrammi hind lähtudes Udde-Tooling OÜ-i hinnakirjale on 5,50 €/kg. Materjali hinnale lisandub tooriku eeltöötus, mis hinnanguliselt on 25 €/tk. Detaili näidistehnoloogia on koostatud Tallinna Tehnikakõrgkoolis asuva kolme-teljelise vertikaal CNC freespingi Haas Minimill põhjal. CNC freespingi tunnihinnaks on 60 €/h. Detaili töötlemiseks kahes paigalduses kulus kokku 23 minutit millele lisandub CAM programmeerimine ning abiajad, milleks arvestuslikult on 60 minutit. Alljärgnevas tabelis on välja toodud kulutused materjalile, CAM programmeerimisele ja lõiketöötuse operatsioonile (Tabel 5.6). Tabelis esitatud masinaajad on teisendatud tundideks.

Tabel 5.6 Kinnitusflantsi valmistamise maksumus

Kuluartikkel	Masinaaeg, h	Hind	Kokku, €	Kokku KM, h
Alumiinium EN AW 7075-T6 (170x130x45)	-	33,90 €/tk	33,90	40,68
CAM programmeerimine	1,00	60,00 €/h	60,00	72,00
CNC freesimise operatsioon	1,08	60,00 €/h	64,80	77,76
			158,70	190,44

Ülaltoodud tabelist selgub, et kinnitusflantsi valmistamiseks kulub 158,70 €, millele lisandub käibemaks. Kinnitusflantsi hind käibemaksuga on 190,44 €. Märkusena tuuakse välja, et sõlme kinnitusflants valmistatakse üksikkorras.

5.7 Süsteemi kogumaksumus

Käesoleva alapeatüki eesmärk on esitada kogu süsteemi seadmete ja komponentide maksumus, et anda täpne ülevaade kuluartiklite kohta. Kuluartiklite koondtabelist selgub kiirfreesimise robotsüsteemi arendusprojekti kogumaksumus. Alljärgnevas tabelis on esitatud kiirfreesimise robotsüsteemi arendusprojekti koondmaksumus (Tabel 5.7).

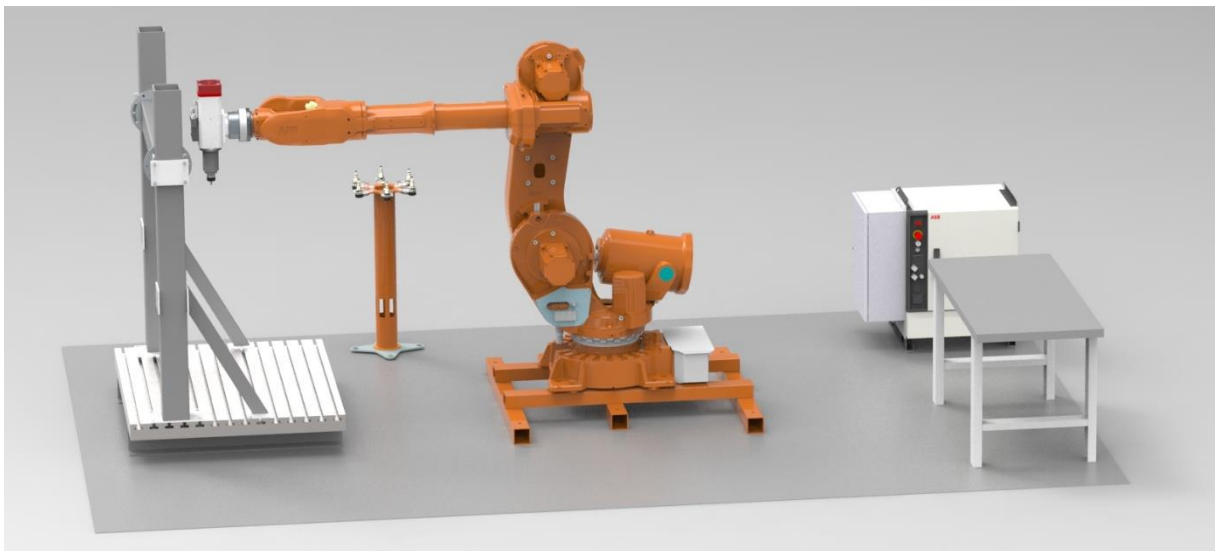
Tabel 5.7 Kiirfreesimise robotsüsteemi arendusprojekti kogumaksumus

Kuluartikkel	Hind, €	Hind KM, €
Robotmanipulaator ABB IRB 6640 ja lisaseadmed	35 225,00	42 270,00
Elektriline spindel PDS XLHS 110 ja tarvikud	4 775,20	4775,20
Kaabeldus	153,60	184,32
Pneumatika komponendid	389,64	467,57
Elektrikomponendid	460,13	495,76
Spindli kinnitussõlme valmistamine	158,70	190,44
	41 162,27	49 394,72

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö ülesanne sai täidetud – töö käigus arendati välja TTÜ Mehaanika- ja tööstustehnika instituudi Rabidlab laboratooriumisse kiirfreesimise robotsüsteem. Kiirfreesimise robotsüsteem asub 3800 mm x 6000 mm suuruse pinna peal. Robotsüsteemi osadeks on:

- Robotmanipulaatori ABB IRB 6640 180 – 2.55;
- Kontroller ABB IRC 5 Single Cabinet;
- Elektriline spindel PDS XLHS 110;
- Instrumendilaud ISO 30 instrumendihoidjale;
- Töölaud T-soontega;
- Abilaud.



Sele 7.1 Robotsüsteemi lõplik asetus

Magistritöö koosneb viiest põhiosast:

- Kiirfreesimise robotsüsteemi mudel ja seadmete asetus;
- Spindli kinnituse konstrueerimine;
- Süsteemi pneumaatika komponentide valik;

- Süsteemi elektrikomponendid;
- Hinnakalkulatsioon;

Esimene peatükk esitab süsteemi kuuluvate seadmete loetelu ja tehnilise spetsifikatsiooni. Lähtuvalt spetsifikatsioonist analüüsitakse seadmete funktsioone ja võrreldakse omavahelist tehnilist tasakaalu, et koostada terviklik süsteem.

Teises peatükis „Spindli kinnituse konstrueerimine“ arvutatakse esmalt, lähtuvalt maksimaalsest instrumendi läbimõõdust maksimaalsed võimalikud tekkivad löikejõud freesimisel. Arvutustest saadud tulemuste alusel konstrueeriti elektrilise spindli ja robotmanipulaatori vahele ühendav vaheflants. Konstrueerimisel lähtuti vaheflantsile esitatud nõuetest. Konstrueerimisele järgnes vaheflantsi tugevusanalüüs, mille käigus kontrolliti arvutusmudelil vaheflantsi staatilise koormuse all. Koormuseks kasutati arvutuslikult leitud maksimaalset võimalikku löikejõudu ning kolmekordset löikejõudu. Analüüsist selgus, et konstrueeritud detail vastas esitatud nõuetele. Lisaks näidatakse vaheflantsile soovituslik valmistamistehnoloogia CNC freespingis.

Kolmandas peatükis kirjeldatakse kuidas toimub elektrilise spindli PDS XLHS 110 jahutamine ning esitatakse nõuded kiirfreesimise robotsüsteemi õhu kvaliteedile. Lisaks tuuakse välja süsteemi terviklik pneumaatika skeem, kus selgitatakse instrumendihoidja kinnitamist ja vabastamist ning instrumendihoidja koonuspesa puhastamist. Viimasena kirjeldatakse lahti süsteemi lisatud pneumaatilised komponendid.

Neljas peatükk annab ülevaate süsteemi elektrilisest poolest. Antakse soovitusel, millist elektriühenduse skeemi kasutada ning millist toitepinget kasutatakse elektrilise spindli käivitamiseks ning millist toitepinget elektrilise spindli juhtimiseks. Samuti kirjeldatakse kuidas toimub elektrilise spindli esmane käivitus. Lisaks koostati kiirfreesimise robotsüsteemi tarbeks elektrikapp, kuhu paigaldada kõik süsteemi lisatud elektrikomponendid, et tagada tööohutus. Viimasena antakse ülevaade süsteemi lisatud elektrikomponentide funktsioonist.

Viies peatükk „Hinnakalkulatsioon“ kirjeldab süsteemi osade maksumust ja toob lõpuks välja tervikliku kiirfreesimise robotsüsteemi maksumuse.

Kokkuvõtteks võib öelda, et käesolev magistritöö oli edukas. Koostati terviklik kiirfreesimise robotsüsteem TTÜ Mehaanika- ja tööstustehnika instituudi Rabidlab laboratooriumisse. Töös esitatud ülesanded lahendati vastavalt ette seatud nõuetele ning toodi välja soovitud probleemsetes aspektides. Edaspidi jätkub kiirfreesimise robotsüsteemi arendamine simulatsioonikeskkonnas kasutades ABB RobotStudio tarkvara. Lisaks RobotStudios loodud programmide simuleerimisele, testitakse programme TTÜ Rabidlab laboratooriumis magistritöö käigus arendatud kiirfreesimise robotsüsteemi peal.

SUMMARY

The purpose of this Master's thesis is to develop a high-speed robotic milling system in Tallinn University of Technology (TUT). The high-speed robotic milling system is planned into the Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical and Industrial Engineering, into the Rapidlab Laboratory. The work area of the robotic milling system is planned to be 6000 mm x 3800 mm.

The high-speed robotic milling system gives the opportunity to use a very large work area, which is limited by the frame of the traditional metal cutting machine. Also the work- and subsidiary organs do not have to be inside the metal cutting machine. The auxiliaries can be separate entities, which are controlled through the system controller. Robotic arm has six axis which allow to machine very complex shape of surfaces in one installation. The aim of this high-speed robotic milling system is to machine soft materials with a hardness up to 160 HB. Materials such as wood, different plastics, aluminum and copper alloys are planned to be machined using the high-speed robotic milling system.

The thesis consists of five main sections:

- The initial model of high-speed robotic milling system and the position of equipment;
- The design of clamping element to the spindle;
- The choice of pneumatic components;
- The choice of electrical components;
- The cost of equipment and components;

The first chapter gives an overview about the basic data of the development of the high-speed robotic milling system. It is described which equipment has already been bought to the Rapidlab laboratory and which are being planned to be bought. Also the author gives an overview about the equipment's technical specifications. The purpose is to analyze different equipment which are developed into one complete system.

The second chapter describes the design of the clamping element to the spindle. Firstly, the author finds the maximum cutting forces that can be generated by the largest tool that can fit into the electric spindle. Secondly, the requirements are set for the clamping element and then

different CAD solutions are presented. The designed clamping element is analyzed by using Final Element Method (FEM) software AnSys 15. The geometry is calculated under static load and controlled for excessive stress and deformation. The geometry is suitable for working under maximum cutting force, with a threefold safety factor. In the end of the chapter, the author gives suggestions about machining the clamping element. Recommended time for CNC milling is 23 minutes.

The third chapter gives an overview about the pneumatic control of the high-speed robotic milling system. The chapter is divided into subchapters, more precisely the cooling system of the electric spindle and the requirements for air quality. In the end of the chapter, the author presents the complete pneumatic scheme for the robotic system. Additionally, the function of the pneumatic components are described.

The fourth chapter gives an overview about the possibilities of how to connect the electric spindle to the power network. This chapter is also divided into subchapters, which describe the movement of electric- and control signals in the system. Also the requirements for the first start of the electric spindle is described. In the end of the chapter, the author gives an overview about the electrical wall mounted case which contains all the electric components for the robotic system.

The final chapter gives an overview about the economic cost of the high-speed robotic milling system. The chapter is divided into subchapters which describe the cost of specific equipment. In the end of the chapter, the author presents the condensed table about all the equipment and components which were used in this development project of the high-speed robotic milling system.

In addition, the present Master's thesis is developmental and all support and graphic materials, such as construction drawings, the equipment biddings and simulation environment in ABB RobotStudio are brought out in the annex of the thesis.

In conclusion, the aim of this Master's thesis has been achieved – a high-speed robotic milling system was developed in TUT's Rapidlab laboratory. The robotic milling system lies under 23 square meters. The high-speed robotic milling system consist of:

- Robotic manipulator ABB IRB 6640 180 – 2.55;
- Industrial controller ABB IRC 5 Single Cabinet;
- Electric wall mounted case for electric components;
- Electric spindle PDS XLHS 110;
- Tool holder ISO 30;
- Worktable;
- Tool change table;
- Auxiliary table.

In summary, the Master's thesis can be considered to be successful. A development project for the complete high-speed robotic milling system was created. In the future, the development of the high-speed robotic milling system will continue using ABB RobotStudio simulation and programming software. Further on, the simulation programmes will be tested in TUT's Rabidlab laboratory.

KASUTATUD ALLIKAD

- [1] ABB Robotics kodulehekül *Robot Selector* [WWW]
<http://new.abb.com/products/robotics/robot-selector> (16.02.2016).
- [2] ABB Robotics kodulehekül *IRB seeria manipulaatorid* [WWW]
https://library.e.abb.com/public/454bd802ebbeb834c1257bf30029a1ab/ROB0001EN_F.pdf
(16.02.2016).
- [3] ABB Robotics kodulehekül *Kontroller IRC 5 Single Cabinet* [WWW]
https://library.e.abb.com/public/bedd1769ea1e4bb9c1257da10037e215/IRC5_IndustrialRobotController_ROB0295EN.pdf (17.02.2016).
- [4] Wikipedia.org kodulehekül *Programmable Logic Controller* [WWW]
https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller (17.02.2016).
- [5] Ettevõtte Precision Drive Systems kodulehekül *PDS* [WWW]
<http://www.pdsspindles.com/company> (9.03.2016).
- [6] Ettevõtte Precision Drive Systems kodulehekül *Automatic Tool Change XLHS Series*
[WWW] <http://www.pdsspindles.com/automatic-tool-change/xlerator-xlh-series> (9.03.2016).
- [7] PDS Publication, *Spindle Manual for XLH Series 110 and 90*, march 2015
- [8] H. Herranen, K. Karjust, J. Kers, J. Krustok, P. Kulu, H. Käerdi, A. Laansoo, H. Lend, T. Otto, P. Põdra, J. Riives, M. Saarna, F. Sergejev, T. Tiidemann, R. Veinthal,
Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn TTÜ kirjastus, 2012.
- [9] Ettevõtte Alumeco kodulehekül *Standard Products, EN AW-7075* [WWW]
<http://www.alumeco.com/Standard-products/Thick-plates/35x1520x3020mm-EN-AW-7075.aspx> (28.03.2016).
- [10] Ettevõtte Tysontools kodulehekül *Becker PCD/CBN Inserts & Tooling* [WWW]
<http://www.tysontool.com/BECKER-E-Cat-tech.pdf> (28.03.2016).
- [11] AB, Seco Tools *Catalogue & Technical Guide 2015, Solid End Mills* 1st ed. 2015

- [12] Ettevõtte Haimler kodulehekül *Instrumendihooldik ISO 30* [WWW]
http://www.haimler.biz/fileadmin/_processed_/csm_DIN-69871-SK30-SK40-SK50-Technische-Zeichnung_059c09d62c.jpg (03.05.2016).
- [13] Techniks USA kodulehekül *Instrumendihooldik ISO 30 Taper BT30* [WWW]
http://www.techniksusa.com/images2008/collet_chucks/ISO30_ER32_1.jpg (03.05.2016).
- [14] Compressed Air Best Practices *Air Quality Standards ISO 8573.1 & ISO 12500* [WWW]
<https://www.airbestpractices.com/system-assessments/air-treatment/n2/air-quality-standards-iso-85731-iso12500> (07.05.2016).
- [15] Festo plastiktorustik [WWW]
http://img.tarad.com/shop/a/allelectrotrade/img-lib/spd_20120419143544_b.jpg (07.05.2016).
- [16] Ettevõtte Festo kodulehekül *Plastic Tubing* [WWW]
https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ENGB/PDF/EN/OD-TUBING_EN.PDF
(07.05.2016).
- [17] Ettevõtte Festo kodulehekül *FRL Block* [WWW]
<https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/354872/MS%20Quick%20Order%20Guide%200-%20Nov%2025%20No%20Marks.pdf> (07.05.2016).
- [18] Ettevõtte Festo kodulehekül *Suunaventiilid* [WWW]
https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ENGB/PDF/EN/VTUS-G_EN.PDF
(07.05.2016).
- [19] Ettevõtte Festo kodulehekül *Quick Exhaust Vales* [WWW]
https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ENUS/PDF/US/VBQF_ENUS.PDF
(07.05.2016).
- [20] Ettevõtte Festo kodulehekül *Connecting Cables NEBU* [WWW]
https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/10298/NEBU-SIM_ENUS.pdf (07.05.2016).
- [21] Ettevõtte Festo kodulehekül *Push-in Fittings and Connectors* [WWW]
[https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/287475/Metric%20Poster%202013%20-%20FINAL%20Printer%20-%20July%2010%202013\(nocropmarks\).pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/287475/Metric%20Poster%202013%20-%20FINAL%20Printer%20-%20July%2010%202013(nocropmarks).pdf) (07.05.2016).

- [22] Ettevõtte Elfa Distrelec AS kodulehekül. *Wall Mounted Case* [WWW] https://www.elfadistrelec.ee/et/wall-mounted-case-600-760-350-mm-sheet-steel-ip-66-rittal-ae-1376-500/p/15003173?q=*&filter_Category3=Plastist+ja+metallist+kaitse%C3%BCmbrised&filter_Category4=Wall+Mounted+Metal+Cases&filter_k%C3%B5rgus~~mm=760&filter_Buy (10.05.2016).
- [23] Ettevõtte Simply Power Supply kodulehekül *DIN Rail Power Supply* [WWW] <https://www.simplypowersupply.com/DIN-Rail-Power-Supply/MDR-100-24-Meanwell-24Vdc-4A-DIN-Rail-Mount-Power-Supply.aspx> (10.05.2016).
- [24] Ettevõtte Harju Elekter AS kodulehekül *Rikkevoolu- ja kaitseülitid, kaitserleed* [WWW] <http://www.harjuelekter.com/et/product/16755> (10.05.2016).
- [25] E-pood Alibaba kodulehekül. *Push Button Switches* [WWW] https://www.alibaba.com/product-detail/GB2-BS542-CNGAD-40mm-GB2-series_257110094.html (10.05.2016).
- [26] Ettevõtte Aliexpress E-pood. *Electrical Equipment and Products* [WWW] http://www.aliexpress.com/store/product/Delixi-push-button-switch-LAY7-11X-3-Three-switch-LAY7-normally-open-normally-closed/1713080_32515417299.html (10.05.2016).
- [27] Ettevõtte ATD Powershop veebipood. *Industrial Sockets* [WWW] <http://www.atdpowershop.com/16a-400v-3pne-wall-mounted-socket-outlet-188-p.asp> (10.05.2016).
- [28] MatWeb - Online Materials Information Resource. *Aluminium 7075-T6 properties* [WWW] <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA7075T6> (10.05.2016).
- [29] Ettevõtte Haas Automation kodulehekül *Images/Haas MiniMill* [WWW] 05 2016. a. http://www.haascnc.com/images/whatsnew/MiniMill_front.jpg (12.05.2016).
- [30] P. Kulu, J. Kübarsepp, A. Laansoo, R. Veinthal, *Materjalitehnika II, Konstruktsioonimaterjalide tehnoloogia*, Tallinn TTÜ kirjastus, 2015.

[31] AB Sandvik Coromant, *Metal Cutting Technology – Technical Guide*, Sweden, Elanders 2010.

[32] R. Soots, *Pneumaatika ja pneumoseadmed*, Tallinn, TTK kirjastus 2007

[33] M.Purde, *Tolerantsid ja istud*, Tallinn, TTK kirjastus 2005.

[34] K.Karjust, J.Kers, I. Kiolein jt, *Uuenduslik tootmine*, Tallinn, TTÜ kirjastus 2011.

[35] Ettevõtte Dormer Tools kodulehekül, *tseentripuur Ø10,0* [WWW]

<http://selector.dormertools.com/web/eng/en-gb/mm/tool-recommendation/drills/cutting-data?matSelMode=mg&mg=7.2&standard=0&compstandard=2&machineRate=100&maxRevolution=50000&internalCoolant=True&availableCoolantType=wet-mist-dry-oil&psf=-1&op=dre&toolmaterials=0-1&selectedTools=3&d1=4&tol=H12&t=2&r=0&coolantType=wet&coolantSupply=ext&typeOfHole=blind&directionOfCut=right&shanks=0> (19.05.2016).

[36] Ettevõtte Dormer Tools kodulehekül, *peenestusfrees Ø6,0* [WWW]

<http://selector.dormertools.com/web/eti/et-ee/mm/tool-recommendation/cutters/cutting-data?matSelMode=mg&mg=1.4&standard=0&compstandard=8&machineRate=100&maxRevolution=50000&internalCoolant=True&availableCoolantType=wet-mist-dry-oil&psf=-1&op=mie&toolmaterials=1&selectedTools=1&d1=6.00&ap=10&ae=1&shortVersion=True&longVersion=True¢reCut=False&coolantType=wet&procedure=climb&shanks=0-3> (19.05.2016).

[37] Ettevõtte Dormer Tools kodulehekül, *faasifrees Ø10,0* [WWW]

<http://selector.dormertools.com/web/eng/en-gb/mm/tool-recommendation/cutters/recommendation?matSelMode=mg&mg=7.2&standard=0&compstandard=2&machineRate=100&maxRevolution=50000&internalCoolant=True&availableCoolantType=wet-mist-dry-oil&psf=-1&op=mip&d1=10.00&ap=1&a=90%C2%B0&shortVersion=True&longVersion=False¢reCut=True&coolantType=dry&procedure=climb> (19.05.2016).

[38] Ettevõtte Dormer Tools kodulehekül, *peenestusfrees Ø16,0* [WWW]

<http://selector.dormertools.com/web/eti/et-ee/mm/tool-recommendation/cutters/cutting->

[data?matSelMode=mg&mg=1.5&standard=0&compstandard=8&machineRate=100&maxRevolution=50000&internalCoolant=True&availableCoolantType=wet-mist-dry-oil&psf=-1&op=mie&toolmaterials=1&selectedTools=1&d1=16.00&ap=30&ae=2&shortVersion=True&longVersion=True¢reCut=False&coolantType=wet&procedure=climb&shanks=0-3](http://selector.dormertools.com/web/eti/et-ee/mm/tool-recommendation/cutters/cutting-data?matSelMode=mg&mg=1.5&standard=0&compstandard=8&machineRate=100&maxRevolution=50000&internalCoolant=True&availableCoolantType=wet-mist-dry-oil&psf=-1&op=mie&toolmaterials=1&selectedTools=1&d1=16.00&ap=30&ae=2&shortVersion=True&longVersion=True¢reCut=False&coolantType=wet&procedure=climb&shanks=0-3)
(19.05.2016).

[39] Ettevõtte Dormer Tools kodulehekül, *nurgaiimardusfrees R3,0* [WWW]
<http://selector.dormertools.com/web/eti/et-ee/mm/tool-recommendation/cutters/cutting-data?matSelMode=mg&mg=7.2&standard=0&compstandard=8&machineRate=100&maxRevolution=50000&internalCoolant=True&availableCoolantType=wet-mist-dry-oil&psf=-1&op=mik&toolmaterials=0&selectedTools=1&R=3.00&shortVersion=True&longVersion=False¢reCut=False&coolantType=wet&procedure=climb&shanks=0> (19.05.2016).

[40] Ettevõtte Dormer Tools kodulehekül, *spiraalpuur Ø8,4* [WWW]
<http://selector.dormertools.com/web/eti/et-ee/mm/tool-recommendation/drills/cutting-data?matSelMode=mg&mg=1.4&standard=0&compstandard=8&machineRate=100&maxRevolution=50000&internalCoolant=True&availableCoolantType=wet-mist-dry-oil&psf=-1&op=dra&toolmaterials=1&selectedTools=1&d1=266&tol=H10&t=45&l=0&r=0&coolantType=wet&coolantSupply=ext&typeOfHole=through&directionOfCut=right&shanks=0-2>
(19.05.2016).

[41] Ettevõtte Dormer Tools kodulehekül, *spiraalpuur Ø10,5* [WWW]
<http://selector.dormertools.com/web/eti/et-ee/mm/tool-recommendation/drills/cutting-data?matSelMode=mg&mg=1.4&standard=0&compstandard=8&machineRate=100&maxRevolution=50000&internalCoolant=True&availableCoolantType=wet-mist-dry-oil&psf=-1&op=dra&toolmaterials=1&selectedTools=2&d1=307&tol=H10&t=45&l=0&r=0&coolantType=wet&coolantSupply=ext&typeOfHole=through&directionOfCut=right&shanks=0-2>
(19.05.2016).

LISAD

Lisa 1 Süsteemi aetus

Lisa 2 PDS XLHS 110 spindlisõlme koostejoonis

Lisa 3 Kinnitusflantsi tööjoonis

Lisa 4 Kinnitusflantsi esimese paigalduse masinaajad

Nr.	Operatsiooni nimetus	Operatsiooni tüüp	Tööriist	Spindli pöörlemissagedus [p/min]	Ettenähe [mm/min]	Lõikekiirus Vc [m/min]	Töötusvaru (kõlg/põhi)	Lõikesügavus/-laius Ap/Ae [mm/mm]	Op masinaaeg	Kogu töötusaeg [min]
1	Tsentreerimine	Drill/ Counterbore	NC-tsentripuur A12210.0x120 [35]	1114	84,2 (fz-0,062)	35,0	0/0	2,0/x	47,3 3	0,79
2	Ø8,4 ava puurimine	Drill/ Counterbore	Ø8,4 spiraalpuur (HM) R4548.4 [40]	3183	509 (fz-0,08)	90,0	0/0	48,0/ x	30,1 7	1,29
3	Ø10,5 ava puurimine	Drill/ Counterbore	Ø10,5 spiraalpuur (HM) R51010.5 [41]	3183	509 (fz-0,08)	90,0	0/0	48,0/ x	29,1 7	1,79
4	Pesa Ø18,0 freesimine	Contour 2D	Ø6,0 peenestusfrees (HM) S7656.0 [36]	5835	1167 (fz- 0,05)	110, 0	0,5/0	10,8/ 1,0	38,0 0	2,43
5	Soone freesimine	2D High- Speed	Ø6,0 peenestusfrees (HM) S7656.0 [36]	5835	1167 (fz- 0,05)	110, 0	0,5/0	2,8/ 1,0	24,2 8	2,83
6	Soone freesimine, puhas	Contour 2D	Ø6,0 peenestusfrees (HM) S7656.0 [36]	5835	1167 (fz- 0,05)	110, 0	0,0/0	2,8/ 0,5	39,2 8	2,99

Nr.	Operatsiooni nimetus	Operatsiooni tüüp	Tööriist	Spindli pöörlemissagedus [1/min]	Ettenihe [mm/min]	Lõikekiirus Vc [m/min]	Töötlusvaru (kül/põhi)	Lõikesügavus/-laius Ap/Ae [mm/mm]	Op masinaaeg	Kogu töötusaeg [min]
7	Faaside freesimine	Contour 2D	Ø10,0 faasifrees (HM) S74010.0 [37]	4456	891 (fz-0,05)	140,0	0/0	0,3/0,3	43,20	4,20

Lisa 5 Kinnitusflantsi teise paigalduse masinaajad

Nr.	Operatsiooni nimetus	Operatsiooni tüüp	Tööriist	Spindli pöörlemissagedus [p/min]	Ettenihe [mm/min]	Lõikekiirus Vc [m/min]	Töötlusvaru (külg/põhi)	Lõikesügavus/-laius Ap/Ae [mm/mm]	Op masinaaeg	Kogu töötusaeg [min]
1	Astmete koorivtöötlus	2D Dynamic mill	Ø16,0 peenestusfrees (HM) S76516.0 [38]	3580	1074(fz-0,075)	180,0	0,5/0	30,0/2,0	7 min 4 s	7,07
2	Astmete puhastöötlus	Contour 2D	Ø16,0 peenestusfrees (HM) S76516.0 [38]	4973	1194 (fz-0,06)	250,0	0/0	0,5/0,5	38 s	7,55
3	Astme laupfreesimine (kooriv)	2D Dynamic mill	Ø16,0 peenestusfrees (HM) S76516.0 [38]	3580	1074(fz-0,075)/	180,0	0,5/0,5	10,0/2,0	6 min	8,19
4	Astme laupfreesimine (kooriv)	Contour 2D	Ø16,0 peenestusfrees (HM) S76516.0 [38]	4973	1194 (fz-0,06)	250,0	0/0	0,5/0,5	14 s	14,19
5	Pesa Ø15,0 freesimine	Pocket	Ø6,0 peenestusfrees (HM) S7656.0 [36]	110	584 (fz-0,03)	110,0	0/0	8,8/1,0	1 min 42 s	14,43

Nr.	Operatsiooni nimetus	Operatsiooni tüüp	Tööriist	Spindli pöörlemissagedus [p/min]	Ettenihe [mm/min]	Lõikekiirus Vc [m/min]	Töötlusvaru (kõlg/põhi)	Lõikestigavus/-laius Ap/Ae [mm/mm]	Op masinaaeg	Kogu töötusaeg [min]
6	Tihvti ava Ø10,0 freesimine	Pocket	Ø6,0 peenestusfreesis (HM) S7656.0 [36]	1591	160 (fz-0,03)	30,0	0/0	15,0/0,5	48 s	16,13
7	Faaside freesimine	Contour 2D	Ø10,0 faasifrees (HM) S74010.0 [37]	4456	891 (fz-0,05)	140,0	0/0	0,3/0,3	1 min 52 s	16,93
8	Raadiuse freesimine	Contour 2D	Nurgatümardu sfrees R3.0 (HSS) C7003.0 [39]	2652	319 (fz-0,03)	50,0	0/0	3,0/3,0	31 s	18,80

Lisa 6 Sisend- ja väljundsignaalide seosed ning kirjeldused

Pordi nr	Kirjeldus	0 V	+ 24 V	Signaal	Kuhu ühendatakse	Kirjeldus
1	0 V toiteallikas S1	0.1				
2	Väljund S1 – tõmbepoldi positsioon			OUT 1	Robot I/O	Instrumendihoidja lukustatud
3	+24 V DC alalisvoolu toiteallikas S1		24.1			
4	0 V toiteallikas S2	0.2				
5	Väljund S2 – Instrumendihoidja vabastamine			OUT 2	Robot I/O	Instrumendihoidja vabastatud
6	+24 V DC alalisvoolu toiteallikas S2		24.2			
7	Staatori termosond				Katkestusahel	Termokaitse NC
8	Staatori termosond			OUT 3	inverter	Termokaitse NC
9	0 V toiteallikas S3	0.3				
10	Väljund S3 – Spindel seiskunud			OUT 4		Spindel on seiskunud
11	+24 DC alalisvoolu toiteallikas S3		24.3			
12	Manuaalse instrumendivahetuse surunupp			OUT 5.1	Solenoidi juhtimine läbi kaitselüliti	Manuaalne instrumendi vahetus
13	Manuaalse instrumendivahetuse surunupp			OUT 5.2	Programmiline kontroll, spindel seiskunud	Manuaalne instrumendi vahetus
14	0 V elektrilise ventilaatori toiteallikas	0.4				
15	+24 V elektrilise ventilaatori toiteallikas		24.4			
16	Väljund – elektriline ventilaatori			OUT 6	Robot I/O	Ventilaatori olek

Lisa 7 Robotsüsteemi hinnapakumine



Roboti spetsifikatsioon



	<p>Ulatus: 2,55m</p> <p>Kandevõime: 180 kg</p> <p>Väändemoment otsal: 1324 Nm</p> <p><u>Keskkond</u> Relatiivne niiskus: Max 95 % Mõra tase Max 71 dB (A)</p> <p><u>Kaitseklass</u> Terve robot IP 67</p> <p><u>Võimekus</u> Positsiooni kordavus täpsus 0.07 mm Raja kordavus täpsus 0.7 mm</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Axis movements</th> <th>Working range</th> <th>Axis max speed</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>6640</td> <td>6640</td> </tr> <tr> <td>Axis 1 Rotation</td> <td>+170° to -170°</td> <td>100 - 110°/s</td> </tr> <tr> <td>Axis 2 Arm</td> <td>+85° to -65°</td> <td>90°/s</td> </tr> <tr> <td>Axis 3 Arm</td> <td>+70° to -180°</td> <td>90°/s</td> </tr> <tr> <td>Axis 4 Wrist</td> <td>+300° to -300°</td> <td>170 - 190°/s</td> </tr> <tr> <td>Axis 5 Bend</td> <td>+120° to -120°</td> <td>120 - 140°/s</td> </tr> <tr> <td>Axis 6 Turn</td> <td>+360° to -360°</td> <td>190 - 235°/s</td> </tr> </tbody> </table>	Axis movements	Working range	Axis max speed		6640	6640	Axis 1 Rotation	+170° to -170°	100 - 110°/s	Axis 2 Arm	+85° to -65°	90°/s	Axis 3 Arm	+70° to -180°	90°/s	Axis 4 Wrist	+300° to -300°	170 - 190°/s	Axis 5 Bend	+120° to -120°	120 - 140°/s	Axis 6 Turn	+360° to -360°	190 - 235°/s
Axis movements	Working range	Axis max speed																							
	6640	6640																							
Axis 1 Rotation	+170° to -170°	100 - 110°/s																							
Axis 2 Arm	+85° to -65°	90°/s																							
Axis 3 Arm	+70° to -180°	90°/s																							
Axis 4 Wrist	+300° to -300°	170 - 190°/s																							
Axis 5 Bend	+120° to -120°	120 - 140°/s																							
Axis 6 Turn	+360° to -360°	190 - 235°/s																							
<p>Uut tüüpi puuetundliku ekraaniga juhtpult:</p> 	<p>USB liides juhtpuldil – mudab varukoopiate tegemise ja programmide laadimise kiiremaks ja mugavamaks.</p>																								



ABB AS
 Aruküla tee 59
 75301 Jürü, Rae vald
 Harjumaa, ESTONIA
 Tel +372 680 1800
 Fax +372 680 1810
 www.abb.ee

Reg kood/ code 10095355
 KMKR/ VAT No EE100170148
 Konto/ account 1022009699011 SEB Pank
 SWIFT: EESNHE2X
 IBAN: EE33 1010 2200 9699 0011

Force Control

- FCB muudab roboti paindlikumaks ja sobivaks, et teostada lihvimis- ja lõikamisaplikatsioone ja teisi aplikatsioone, mis nõuavad täpse jõu kasutamist.
- Seade sisaldab Force Control/Torque sensorit ja vajalikke kaableid.
- Võimaldab roboti programmi loomisel kasutada "käega liigutamise" võimalust.
- Robot saab käsitleda tööobjekti inimesele sarnaselt. Teostada otsinguid mööda ettemääratud rada või proovida suruda detaili paika õige jõuga, kuniks see saavutab oma õige positsiooni.
- Robot saab teha ka standardse jõuga liigutusi.
- Machining Force Control GUI – graafiline kasutajaliides mis hõlbustab tööd Force Control'iga.

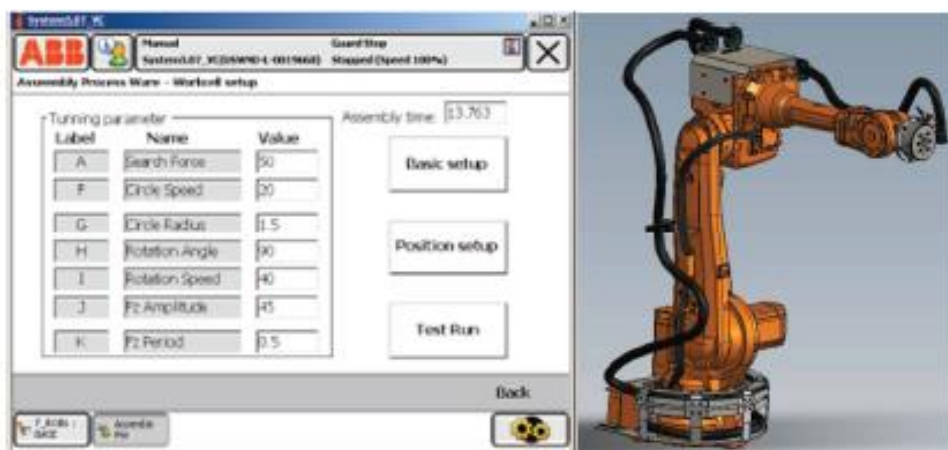


ABB AS
Aruküla tee 59
75301 Jün, Rae vald
Harjumaa, ESTONIA
Tel +372 680 1800
Fax +372 680 1810
www.abb.ee

Reg kood/ code 10095355
KMKR/ VAT No EE100170148
Konta/ account 1022009696011 SEB-Pank
SWIFT: EEUH2E2X
IBAN: EE83 1010 2200 9699 6011

Seadmete nimekiri

Tootekood	Nimi	Kogus
3HAC020536-012	IRB 6640-180/2.55	1
	MANIPULATOR	
435-71	IRB 6640-180/2.55	1
209-1	ABB orange standard	1
287-4	Standard	1
334-1	ABB	1
	BASIC	
700-3	Single cabinet	1
769-2	3x400V	1
752-1	Cable gland	1
742-1	Rotary switch	1
708-1	Max 45 C	1
438-1	Standard Warranty	1
	FLOOR CABLES	
210-2	7 m	1
	CONTROL MODULE	
701-1	FlexPendant 10 m	1
709-1	Single ch	1
716-1	Digital 24V 16In/16Out 2	2
731-1	Safety internal conn.	1
733-1	Panel on cabinet	1
735-1	Key switch, 3 modes	1
	DRIVE MODULE	
738-1	Prep. for Force Control	1
840-2	Profibus DP	1

	ROBOTWARE	
601-1	RW 5 Boot package	1
613-1	Collision Detection	1
661-2	Force Control base	1
877-1	Machining FC GUI	1

Force Control Power Pack for IRB6640-2.55m

Force Sensor
 Hose unit, upper arm
 Valve plate
 Hose unit, lower arm



ABB AS
 Aruküla tee 59
 75301 Jüri, Rae vald
 Harjumaa, ESTONIA
 Tel +372 680 1800
 Fax +372 680 1810
 www.abb.ee

Reg kood/ code 10095355
 KMKR/ VAT No EE100170148
 Konto/ account 1022009099011 SEB-Pank
 SWIFT: EEUH22X
 IBAN: EE83 1010 2200 9099 0011

Vorm IV – Pakkumuse maksumus

Riigihanke nimetus : robotsüsteemi ostmise

Pakkuja ABB AS poolt pakutav pakkumuse maksumus on:

Nr	Nimetus	Maksumus EUR
1.	Süsteemi maksumus ilma km-ta	35 225
2.	Käibemaks 20%	7 045
3.	Kogumaksumus koos käibemaksuga 20%	42 270

Maksetingimused:

1. HANKIJA kohustub tasuma Kauba eest neljateistkümne (14) päeva jooksul pärast Kauba kättesaamist, paigaldamist, katsetusi ja vastava üleandmis – vastuvõtuakti allkirjutamist ja TARNIJA poolt arve esitamist; TARNIJAL tekib õigus esitada arve pärast Kauba üleandmist ja tööde teostamist ning sellekohase kahepoolse üleandmise-vastuvõtmise akti allkirjastamist.

Pakkumuse maksumus sisaldab lisaks tehnilises kirjelduses toodule ka muid hankelepinguga seotud kulusid.



ABB AS
Anuküla tee 59
75301 Jui, Rae vald
Harjumaa, ESTONIA
Tel +372 680 1800
Fax +372 680 1810
www.abb.ee

Reg kood/ code 10090355
KMKR/ VAT No EE100170148
Konto/ account 1022009099011 SEB-Pank
SWIFT: EEUH2E2X
IBAN: EEB3 1010 2200 9099 0011

Lisa 8 Iigus kaabelduse hinnapakumine



e-chains@ ... chainflex@ ... systems

igildur@ ... drylin@ ... bearings

igus@ OÜ
Lõõtsa 4a
11415 Tallinn

www.igus.ee

Tel. : +372 667 5600

Fax : +372 667 5601

Martins Sarkans
Tallinna Tehnikaülikool

Ehitajate tee 5

Tallinn 19086

Tel.:+3725020251

Fax:0000

E-Mail: martins.sarkans@ttu.ee

Kuupäev / Date:

05.02.2016

Kliendi nr / Customer No.:

Klient / Customer Name:

igus kontaktisik / igus Contact

Andrei Visnevski

Person:

Tel:

+3726675600

Mobile:

+37258873933

Fax:

+3726675601

E-Mail:

AVisnevski@igus.de

Pakkumise nr 160205-2 (quotation no.):

Lugupeetud Martins Sarkans,

Äitäh päringu eest. Saadan Teile hinnapakumise soovitud toodetele.

Pos	Kood	Nimetus	Hind	Kogus	Ühik	Hind	Kokku
Pos	Code	Name	Price	Amount	Unit	Price	Total
1	CF77.UL.40.04.D	chainflex PUR cable 4 G 4,0, twistable	5,15	15	m	5,15	77,25
2	CFROBOT2.07.12.C	chainflex PUR cable (12G0,75)C, twistable	16,67	15	m	16,67	250,05
3	CF6.05.12	chainflex PVC cable (12G0,5)C	5,09	15	m	5,09	76,35

Hind käibemaksuta Ex Works Köln, Saksamaa. Sisaldab Iigus® standard pakkimist.

403,65

Käibemaks/ VAT

80,73

Hind kokku/ Price total EUR

484,38

Pakkumise tingimused (quotation conditions)

Tameaeg / Delivery Time

Kokkuleppel / upon request

Müügingimused / Sales Conditions

Pakkumise kehtivus 8 nädalat. Tellimuse esitamisel palun ära märkida pakkumise number. Pakkumisel kehtivad meie standard müügingimused, mille saadame Teile soovi korral. Kui Teil on mingeid küsimusi, siis vastame neile meeleldi. This quotation is valid for 8 weeks. Please refer to the quotation number above when ordering. This quotation is made subject to our standard terms and conditions of sale (available upon request). Please do not hesitate to contact me if you have any further questions.

Maksetingimused / Payment
Conditions

Alates 2003.a. kehtivad igus GmbH Köln üldtingimused. Vt. www.igus.eu
Tellimused alla 5000 €. Esimesed 3 tellimust ettemaks 100%.
Alates 4-st tellimusest 30p. jooksul (lisasoodustus 2% makstes 14p. jooksul).
Tellimused üle 5000 € - kokkuleppel

Orders less than 5000 €. First 3 orders 100% prepayment



e-chains® ... chainflex® ... systems

igidur® ... drylin® ... bearings

igus® OÜ
Lõõtsa 4a
11415 Tallinn

www.igus.ee

Tel. : +372 667 5600

Fax : +372 667 5601

Martins Sarkans
Tallinna Tehnikaülikool

Ehitajate tee 5

Tallinn 19086
Tel.: +3725020251
Fax: 0000

E-Mail: Martins.Sarkans@ttu.ee

Kuupäev / Date:

08.02.2016

Kliendi nr / Customer No.:

Klient / Customer Name:

igus kontaktisik / igus Contact Person:

Andrei Visnevski

Tel:

+3726675600

Mobile:

+37258873933

Fax:

+3726675601

E-Mail:

AVisnevski@igus.de

Pakkumise nr 160208-3 (quotation no):

Lugupeetud Martins Sarkans,

Aitäh päringu eest. Saadan Teile hinnapakkumise soovitud toodetele.

Pos	Kood	Nimetus	Hind	Kogus	Ühik	Hind	Kokku
Pos	Code	Name	Price	Amount	Unit	Price	Total
1	CF77.UL.40.04.D	chainflex PUR cable 4 G 4,0, twistable	5,15	15	m	5,15	77,25
2	CF6.05.12	chainflex PVC cable (12G0,5)C	5,09	15	m	5,09	76,35

Hind käibemaksuta Ex Works Köln, Saksamaa. Sisaldab igu ® standard pakkimist.

153,60

Käibemaks/ VAT

30,72

Hind kokku/ Price total EUR

184,32

Pakkumise tingimused (quotation conditions)

Tameaeg / Delivery Time

Kokkuleppel / upon request

Müügingimused / Sales Conditions

Pakkumise kehtivus 8 nädalat. Tellimuse esitamisel palun ära märkida pakkumise number. Pakkumisel kehtivad meie standard müügingimused, mille saadame Teile soovi korral. Kui Teil on mingeid küsimusi, siis vastame neile meeleldi. This quotation is valid for 8 weeks. Please refer to the quotation number above when ordering. This quotation is made subject to our standard terms and conditions of sale (available upon request). Please do not hesitate to contact me if you have any further questions.

Maksetingimused / Payment Conditions

Alates 2003.a. kehtivad igus GmbH Köln üldtingimused. Vt. www.igus.ee
Tellimused alla 5000 €. Esimesed 3 tellimust ettemaks 100%.
Alates 4-st tellimusest 30p. jooksul (lisasoodustus 2% makstes 14p. jooksul).
Tellimused üle 5000 € - kokkuleppel

Orders less than 5000 €. First 3 orders 100% prepayment

From the 4th payment - 14 days 2% deduction or 30 days net (igus standard

Lisa 9 Elektrilise spindli PDS XLHS 110 ja tarvikute hinnapakumine



PDS

MOTORSPINDELN
REPARATUR & SERVICE
FREQUENZUMRICHTER
MEHRSPINDEL-BOHRGETRIEBE

PDS GmbH | Tichelbrink 68 | DE-32584 Löhne

Kunde:

Tallinn University of Technology
Martinš Sarkans
Ehitajate street 5
EE 19086 Tallinn-ESTONIA
EE100224841

Angebot

12996

Datum:

30.11.2015

Zahlungsbed.:

Prepayment

Angebot gültig bis:

31.12.2015

Verkäufer:

Malte Schnepel

Seriennummer:

z.Hd.:

Martinš Sarkans

Artikel	Beschreibung	Menge	Stückpreis	Gesamt
822-110-S110	<p>XLHS110-8/12-4-24-ISO30-22-CC-3-L Power (S1): 8.0 kW Power (S8-50%): 9.5 kW Voltage: 380 V Current draw: 17.5 A Frequency: 800 Hz Speed: 24.000 rpm Tool adaption: ISO30 clamping by balls Weight: 23 kg Drawing: 882-110-S110</p> <p>Features: Cooling type: by electric fan Tool holder device: ISO30 clamping by balls T-Box with cable glands for power and signal connections Incl. push button at the t-box for manual tool change Automatic tool change by pneumatic cylinder Clamping function monitored by 2 sensors Incl. shaft-stop sensor Front bearing nose pressurization Cone clean blow off Dual angular ceramic contact bearings front & rear Extended Spindle Nose Configuration</p>	1	3.210,00	3.210,00

Warenwert
Mwst (0,0%)
Gesamt

PDS GmbH
Tichelbrink 68
D-32584 Löhne

Geschäftsführer:
Malte Schnepel
Alien Turk

Tel.: +49 (0)5731 / 744889-0
Fax: +49 (0)5731 / 744889-20
E-Mail: info@PDSspindel.de
www.PDSspindel.de

Ust.ID: DE814783053
St.Nr. 310 / 5770 / 1311
Handelsregister:
AG Bad Oeynhausen, HRB 10337

Stadtsparkasse Porta Westfalica
BLZ: 490 519 90
Konto Nr.: 16808
IBAN: DE 49 4905 1990 0000 016808
SWIFT-BC: WELADED1PWF



PDS

MOTORSPINDELN
REPARATUR & SERVICE
FREQUENZUMRICHTER
MEHRSPINDEL-BOHRGETRIEBE

PDS GmbH | Tichelbrink 68 | DE-32584 Löhne

Kunde:

Tallinn University of Technology
Martinš Sarkans
Ehitajate street 5
EE 19086 Tallinn-ESTONIA
EE100224841

Angebot

12996

Datum: 30.11.2015
Zahlungsbed.: Prepayment
Angebot gültig bis: 31.12.2015
Verkäufer: Malte Schnepel
Seriennummer:
z.Hd.: Martinš Sarkans

Artikel	Beschreibung	Menge	Stückpreis	Gesamt
Delta15/460B	Variable Frequency Drive – Delta VFD110B43A Input: 380-480 V, 50/60 Hz, 3-Phase, 25 A Output: 24 A (continuous), 0.1-400 Hz (max. 1.000 Hz), 11 kW FEATURES: High performance Vector controlled – sensorless Enclosure has NEMA 1 rating Conforms to UL, cUL and CE (with EMI filter) specs. Complete CNC interface	1	1.015,00	1.015,00
CableAssy-S	Connection Cable for Power and Signals Length: 5 m	1	80,00	80,00
DelBrk 15/460	Braking Resistor - BR1K0W050 (50 ohm, 1000 watt) for use on 15 HP, 460 V drives	1	95,20	95,20
TH-ISO30/ER3...	Tool Holder - SK (ISO) 30/ER 32 Collet Chuck (DIN) - SPZ.30ALB07032ERR -Balanced for 24000 rpm -Includes ball bearing lock nut - RH -Includes pull stud for clamping by Balls -Use spanner wrench: Spanner638850 -Use shaft wrench: ShaftWch36	3	125,00	375,00
delivery	ex works			0,00
delivery time	3-4 weeks upon receipt of order			0,00

Warenwert
Mwst (0,0%)
Gesamt

PDS GmbH
Tichelbrink 68
D-32584 Löhne

Geschäftsführer:
Malte Schnepel
Allen Turk

Tel.: +49 (0)5731 / 744889-0
Fax: +49 (0)5731 / 744889-20
E-Mail: info@PDSspindel.de
www.PDSspindel.de

UstID: DE814783053
St.Nr. 310 / 5770 / 1311
Handelsregister:
AG Bad Oeynhausen, HRB 10337

Stadtsparkasse Porta Westfalica
BLZ: 490 519 90
Konto Nr.: 16808
IBAN: DE 49 4905 1990 0000 016808
SWIFT-BC: WELADED1PWF



PDS

MOTORSPINDELN
REPARATUR & SERVICE
FREQUENZUMRICHTER
MEHRSPINDEL-BOHRGETRIEBE

PDS GmbH | Tichelbrink 68 | DE-32584 Löhne

Kunde:

Tallinn University of Technology
Martinš Sarkans
Ehitajate street 5
EE 19086 Tallinn-ESTONIA
EE100224841

Angebot

12996

Datum: 30.11.2015
Zahlungsbed.: Prepayment
Angebot gültig bis: 31.12.2015
Verkäufer: Malte Schnepel
Seriennummer:
z.Hd.: Martinš Sarkans

Artikel	Beschreibung	Menge	Stückpreis	Gesamt
Shipment	<p>Per UPS, DHL or TNT – at the most favourable and appropriate conditions for you. A shipment on your customer account or pick-up is possible. Please understand that we can't calculate the exact costs of delivery till we create the Invoice</p> <p>ATTENTION: Please inform us immediately – after receipt of the offer- about the desired shipping method! Thanks!</p>			0,00

Warenwert	€7.805,20
Mwst (0,0%)	€0,00
Gesamt	€7.805,20

PDS GmbH
Tichelbrink 68
D-32584 Löhne

Geschäftsführer:
Malte Schnepel
Allen Turk

Tel.: +49 (0)5731 / 744889-0
Fax: +49 (0)5731 / 744889-20
E-Mail: info@PDSspindeln.de
www.PDSspindeln.de

UstID: DE814783053
St.Nr. 310 / 5770 / 1311
Handelsregister:
AG Bad Oeynhausen, HRB 10337

Stadtsparkasse Porta Westfalica
BLZ: 490 519 90
Konto Nr.: 16808
IBAN: DE 49 4905 1990 0000 016808
SWIFT-BC: WELADED1PWF

Lisa 10 Pneumaatika komponentide hinnapakkumine

TTÜ Masinaehituse Instituut
Martins Sarkans tel:5020251
Ehitajate tee 5
12616 TALLINN
Estonia

FESTO

Küsimuste korral palun viidake arve numbrile			
Kliendi number 0018550000	Arve number 1420355664	Müügiesindaja	Müügiesindaja nr. 00184000
Maksetähtaeg 29-02-2016	Viite nr. 14203556648	Valuuta EUR	
Maksetingimus / Makseviis 7 PÄEVA NETO / Pangaülekanne			

Arve
1420355664

Kauplev
22-02-2016

Lehekülgede arv
1 / 3

Müüja
Mündel Harri
Sales engineer
Telefon 6661560
harri.muendel@festo.com

Reg.kood 10009108
KMKR EE100257494

Nordea Pank
swift: NDEAEE2X
iban: EE091700017000300418

Festo Oy AB Eesti filiaal

A.H. Tammsaare tee 118 B
12918 Tallinn
Telefon +372 666 15 60
Faks +372 666 15 61
info.ee@festo.com

Toode	Toote nr.	Ühiku hind	Kogus	Neto hind
Teie tellimuse number: Tellimuse number: Meie saatelehe number: Tarnetüüp:	Martins Sarkans 2180190840 1764176918 Package Service	12-02-2016	Martins Sarkans	
Pos 0010 PUN-6X1-BL PLASTIKVOOLIK	159664	0,83	40 M	33,20
Pos 0020 PUN-4X0,75-BL PLASTIKVOOLIK	159662	0,57	20 M	11,40
Pos 0030 QS-1/8-6 LIITMIK	153002	1,32	10 TK	13,20
Pos 0040 QST-6 T-LIITMIK	153129	3,15	10 TK	31,50
Pos 0050 VUVS-L20-M52-MD-G18-F7 ELJAOTI	575250	46,37	1 TK	46,37
Pos 0060 VACS-C-C1-1A MÄHIS	8025335	6,01	2 TK	12,02
Pos 0070 MSSD-EB PISTIKUPESA	151687	1,58	2 TK	3,16
Pos 0080 VUVS-L20-M32C-MD-G18-F7 ELJAOTI	575260	40,42	1 TK	40,42

... 2

Küsimuste korral palun viidake arve numbrile			
Kliendi number	Arve number	Müügiesindaja	Müügiesindaja nr.
0018550000	1420355664		00184000

Arve
1420355664

Toode	Toote nr.	Ühiku hind	Kogus	Neto hind
Pos 0090 VBQF-U-G18-Q6 KIIRTÜH.KLAPP	547532	21,81	1 TK	21,81
Pos 0100 QSLF-1/8-6-B L-LIITMIK	153274	3,09	1 TK	3,09
Pos 0110 FILTER-REG. . MS4-LFR-1/8-D6-C-R-V-AD7- AS (SETPOINT RÕHULÜLITI)	526489	135,13	1 TK	135,13
Pos 0120 NEBU-M8G4-K-2.5-LE4 Ühenduskaabel NEBU-M8G4-K-2.5-LE4	541342	7,58	1 TK	7,58
Pos 0130 QS-1/8-4 LIITMIK	153001	1,26	2 TK	2,52
Pos 0140 U-1/8 SUMMUTI	2307	4,08	3 TK	12,24
Kokku				373,64
Transport/käsitlus				16,00
Käibemaks 20,00 %				77,93
Kokku tasuda				467,57

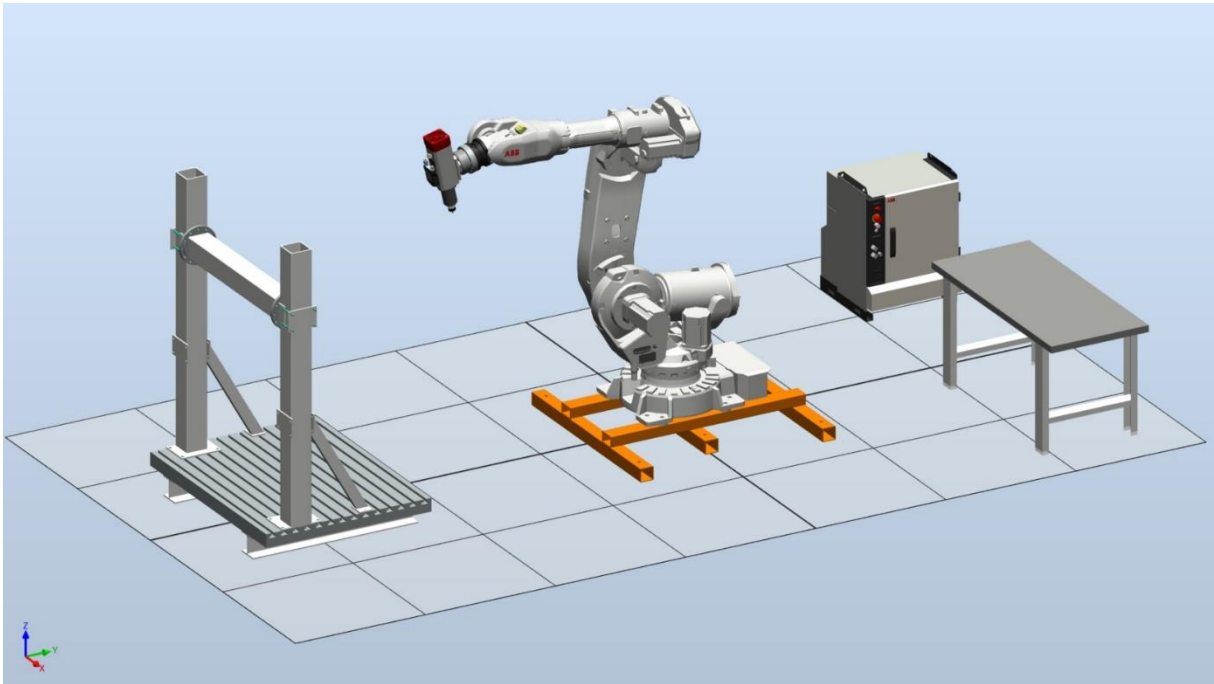
Kauplev
22-02-2016

Lehekülgede arv
2 / 3

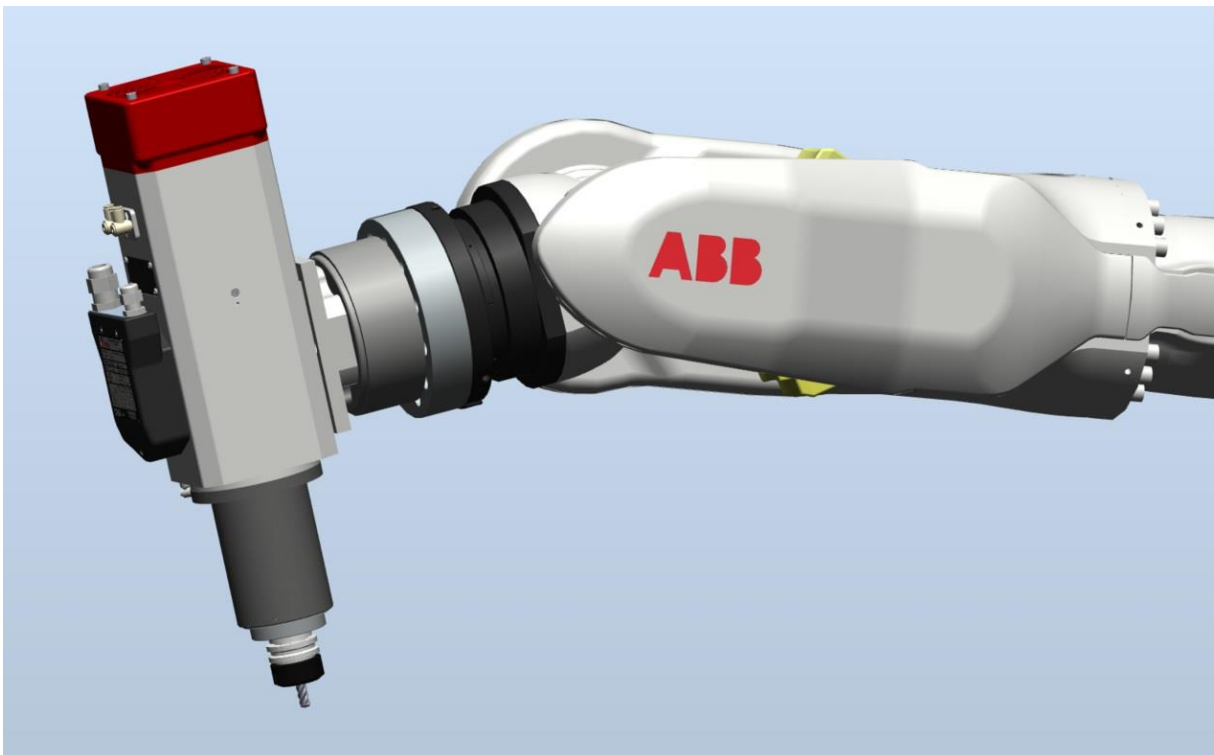
Festo Oy Ab Eesti filiaalis kehtivad järgmised paki käsitlus- ja tarneteenuste hinnad:
 - tavatarne Euroopa pealagistikakeskusest Saksamaalt kliendi poolt määratud aadressile Eestis
 pakkidele kaaluga kuni 30 kg 16.- EUR ning pakkidele kaaluga üle 30 kg 45.- EUR
 - kiirtarne (UPS Express) olenevalt paki kaalust alates 46.- EUR

... 3

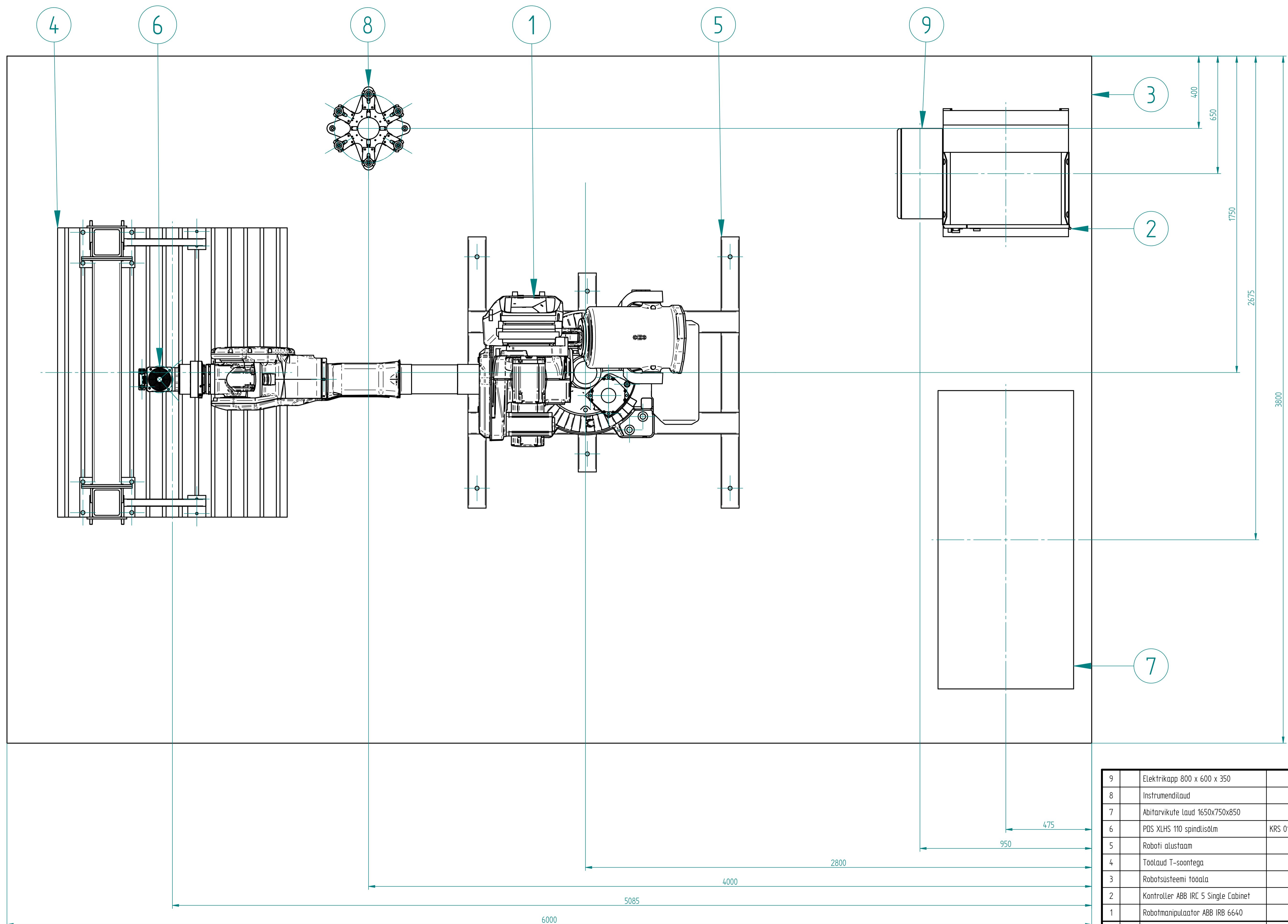
Lisa 11 Simulatsiooni keskkonna ülesehitus ABB RobotStudios



Sele 8.1 Kiirfreesimise robotsüsteemi mudel ABB RobotStudio simulatsiooni keskkonnas



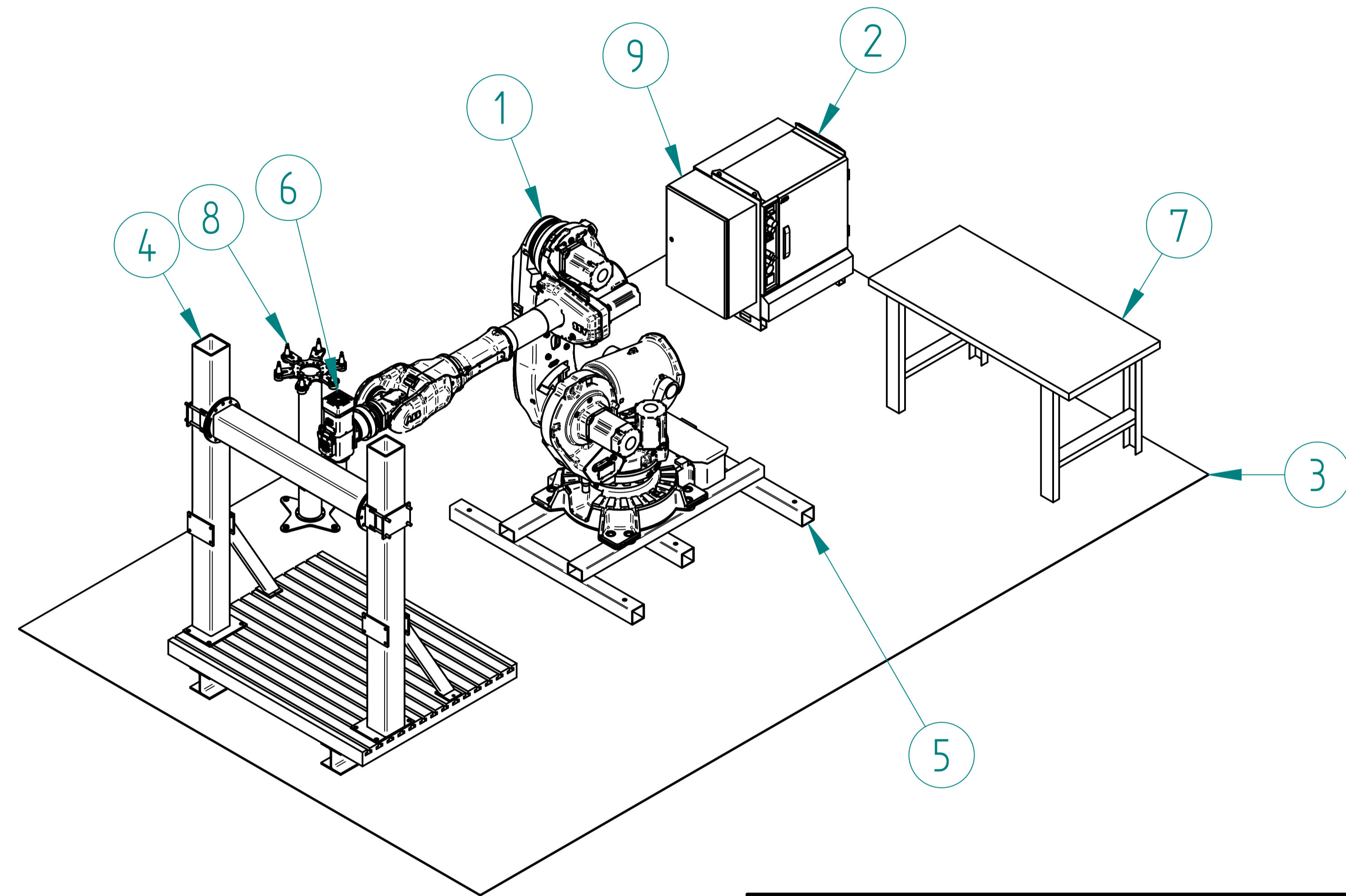
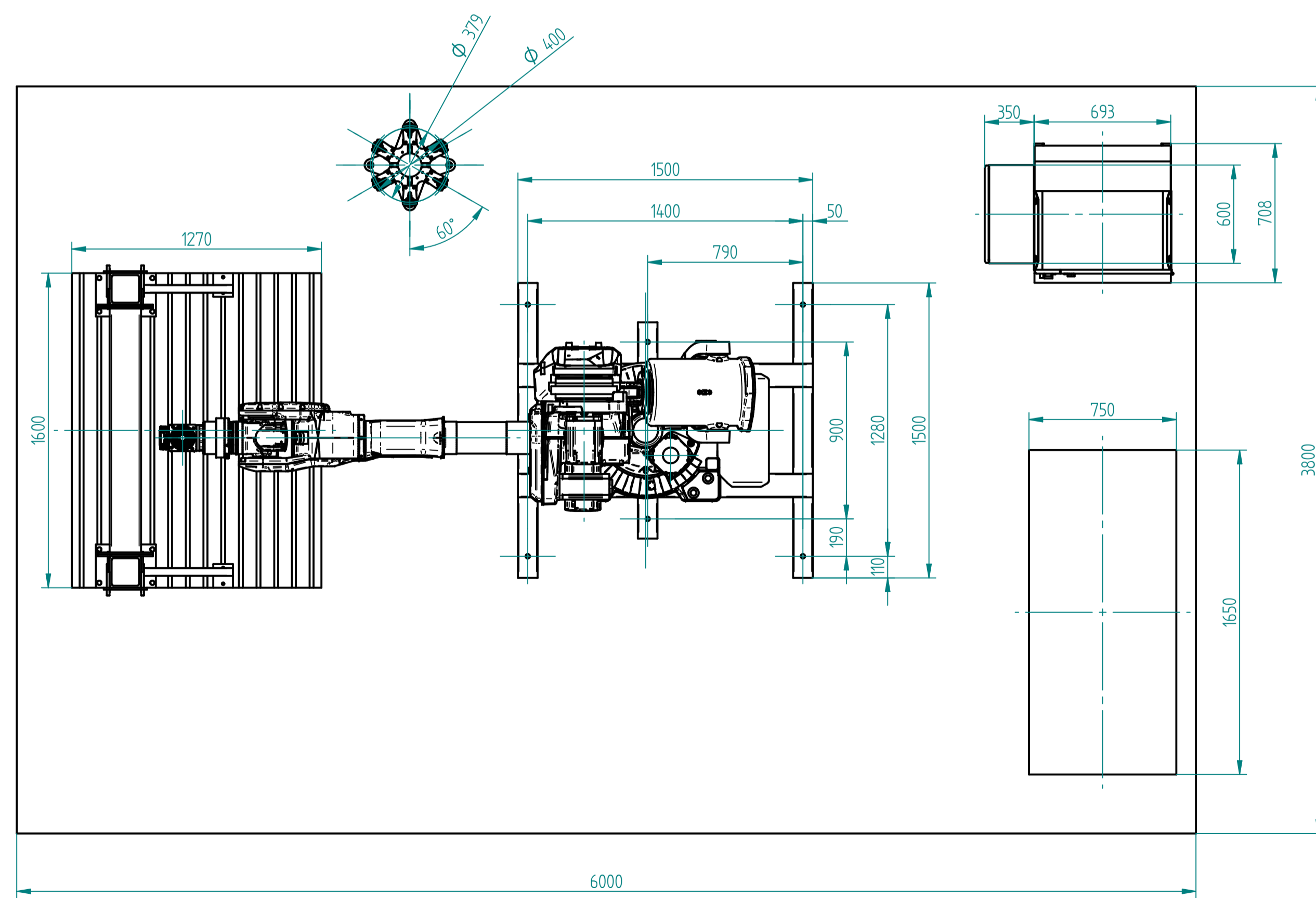
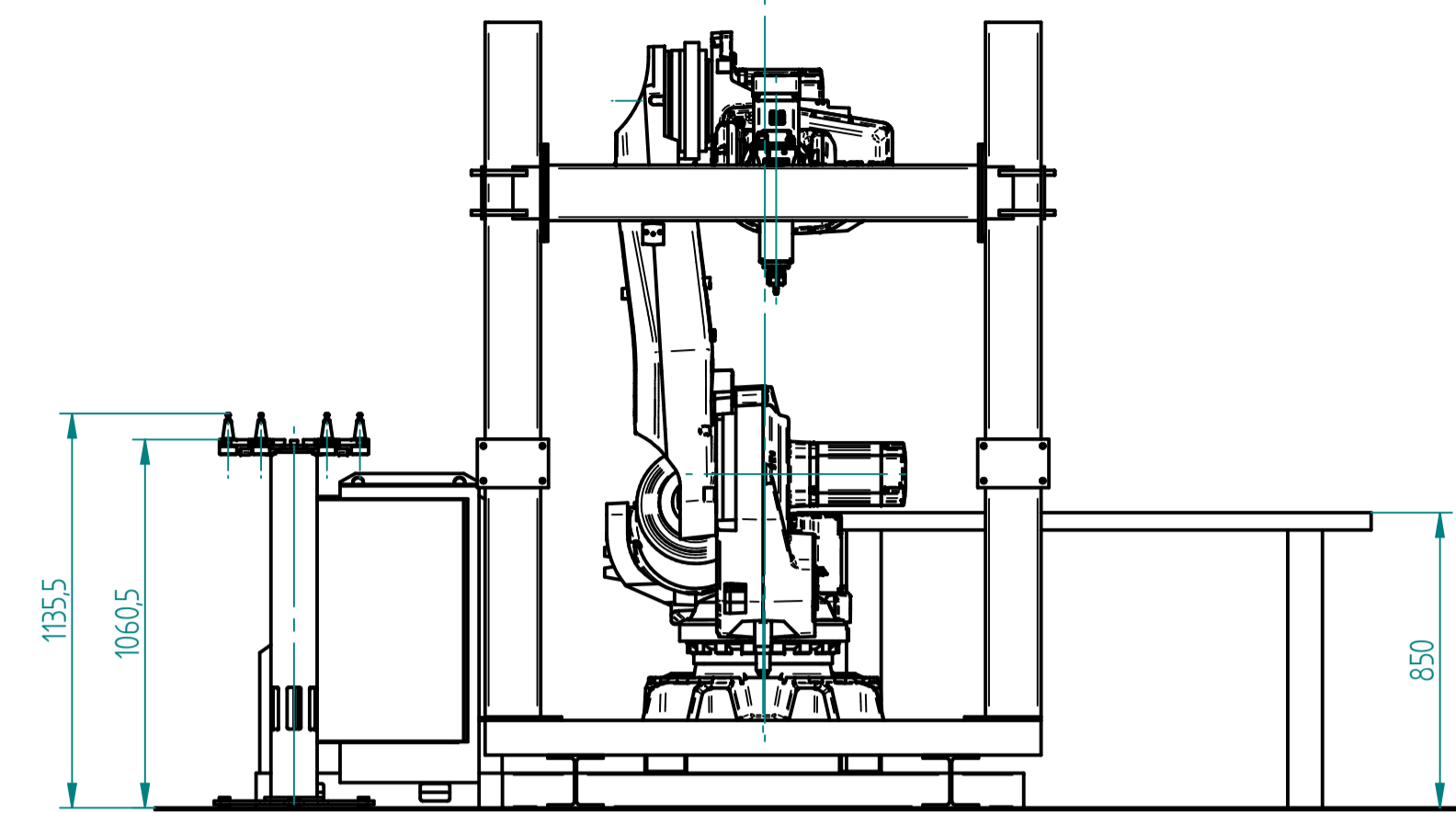
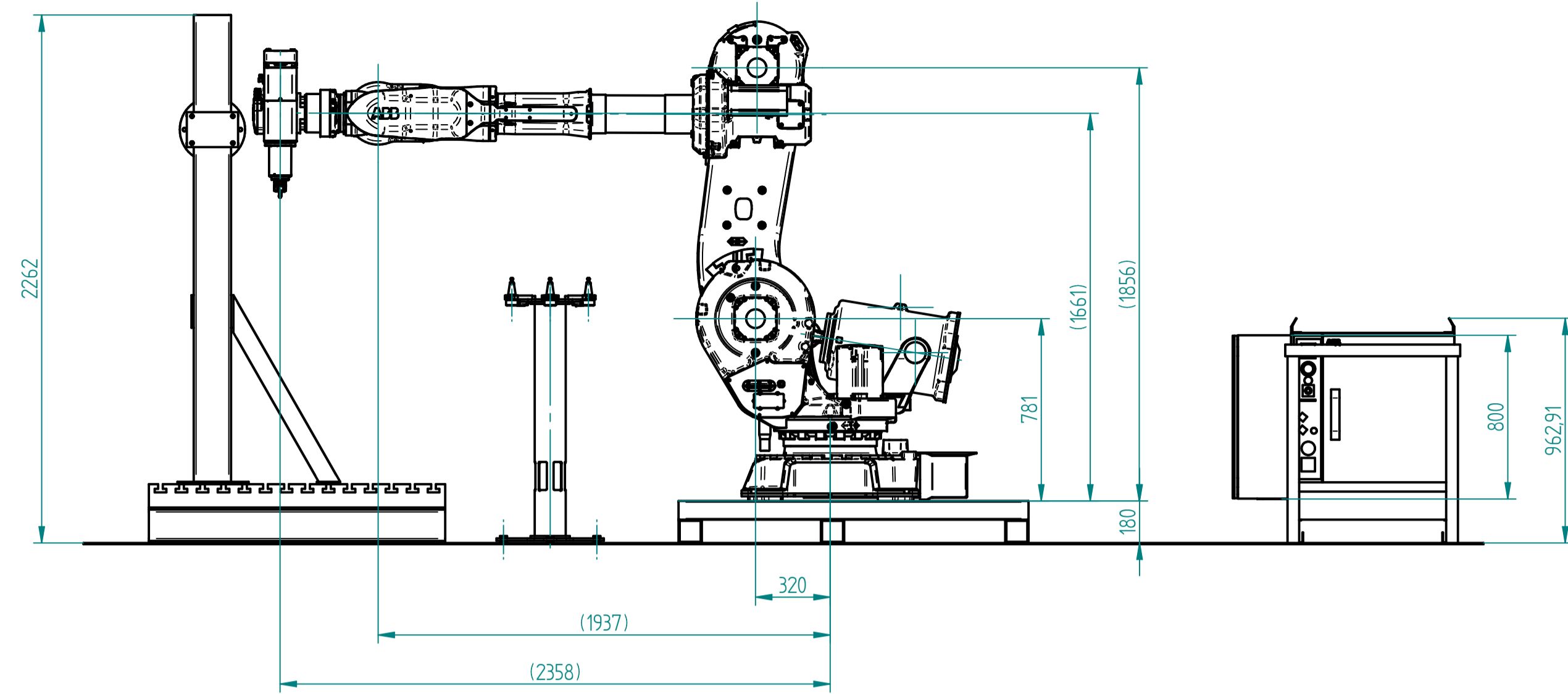
Sele 8.2 Spindli kinnitussõlm ABB RobotStudio simulatsiooni keskkonnas



9	Elektrikapp 800 x 600 x 350		1		
8	Instrumendilaud		1		
7	Abitarvikute laud 1650x750x850		1		
6	PDS XLHS 110 spindisõlm	KRS 01.01.00	1		
5	Roboti alustaam		1		
4	Toolaud T-soontega		1		
3	Robotsüsteemi tööala		1		
2	Kontroller ABB IRC 5 Single Cabinet		1		
1	Robotmanipulaator ABB IRB 6640		1		
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Markus

Materjal:		Markimata piirhalded:	Mass:	Moot:
			0,000 kg	120
Teostas:	Madis Maar	11.02.2016	Nimetus:	Faili nimetus:
Kontrollis:	Martins Sarkans		Kiirfreemise robotsüsteemi	Süsteemi asetus.dft
Kinnitas:			põrandaplaan	
Tallinna Tehnikaülikool		Leht:	Tähis:	Formaat:
Mehaanika- ja tootustehnika instituut		1	KRS 01.00.00	A1

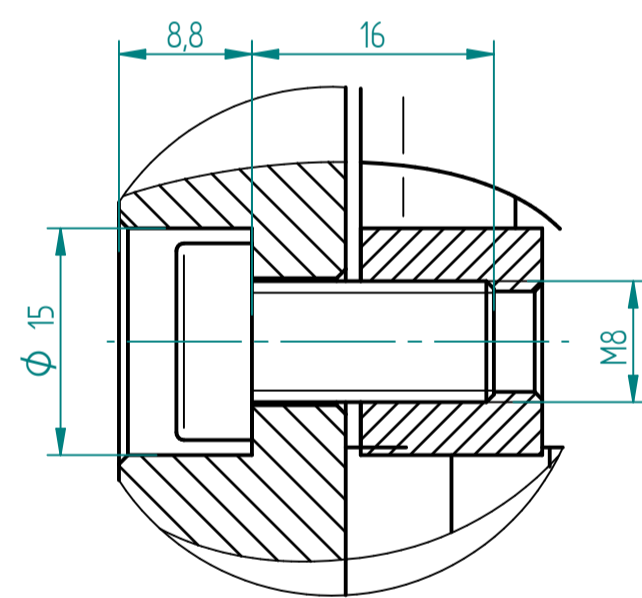
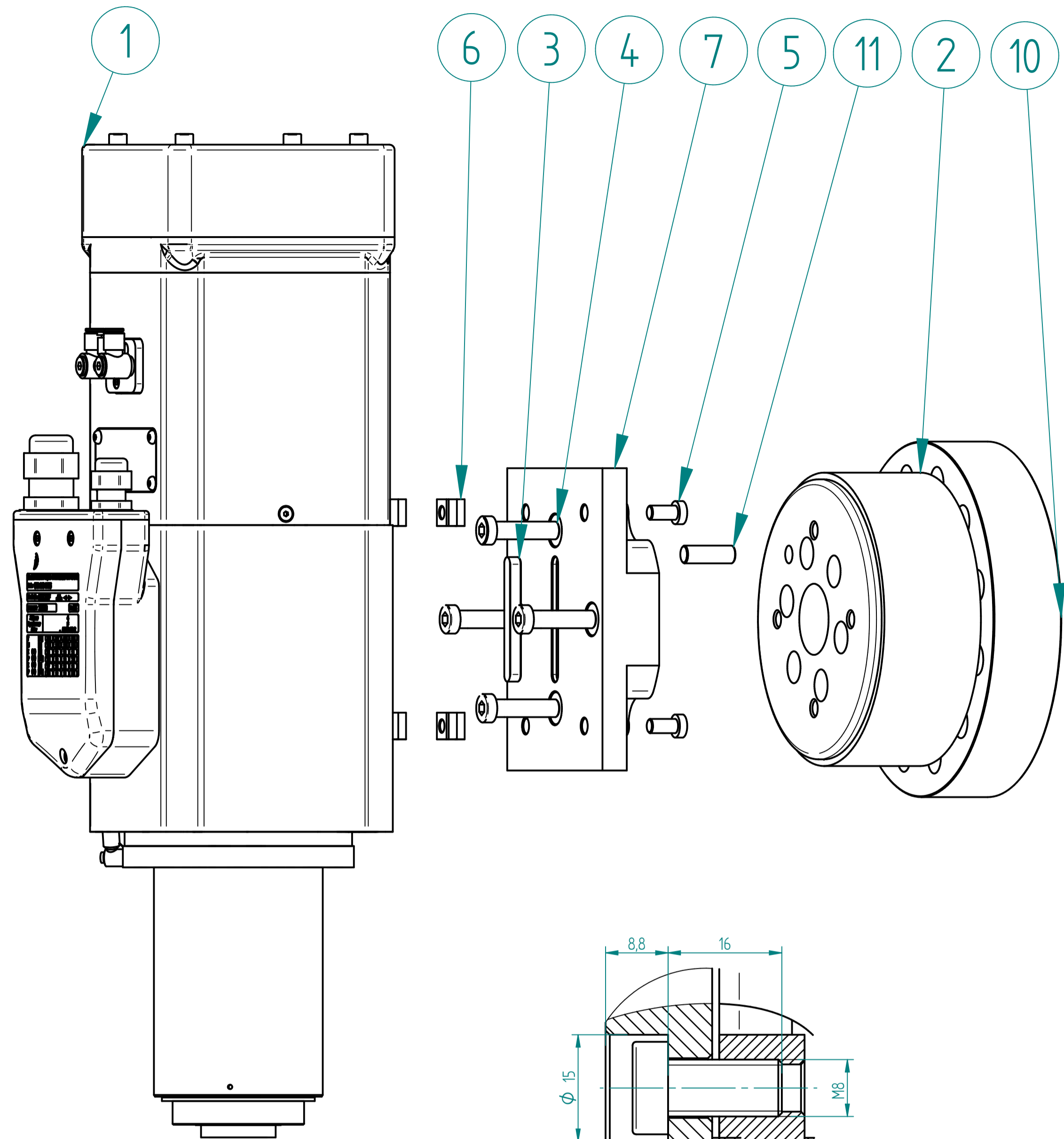
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



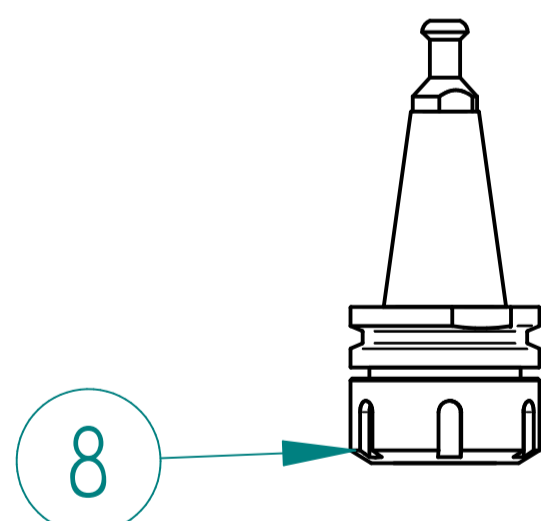
9	Elektrikapp 800 x 600 x 350		1		
8	Instrumendilaud		1		
7	Abitarvikute laud 1650x750x850		1		
6	PDS XLHS 110 spindisõlm	KRS 01.01.00	1		
5	Roboti alusteam		1		
4	Toolaud T-soontega		1		
3	Robotsüsteemi toola		1		
2	Kontroller ABB IRC 5 Single Cabinet		1		
1	Robotmanipulaator ABB IRB 6640		1		
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Markus

Materjal:		Markimata piirhalded:	Mass:	Moot:
			0,000 kg	120
Teostas:	Madis Maar	11.02.2016	Nimetus:	
Kontrollis:	Martins Sarkans		Kiirfreesimise robotsüsteemi	
Kinnitas:			põrandaplaan	
Tallinna Tehnikaülikool			Leht:	Tähis:
Mehaanika- ja tootustehnika instituut			2	KRS 01.00.00
			Formaat:	A1
			Faili nimetus:	
			Süsteemi asetis.dft	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



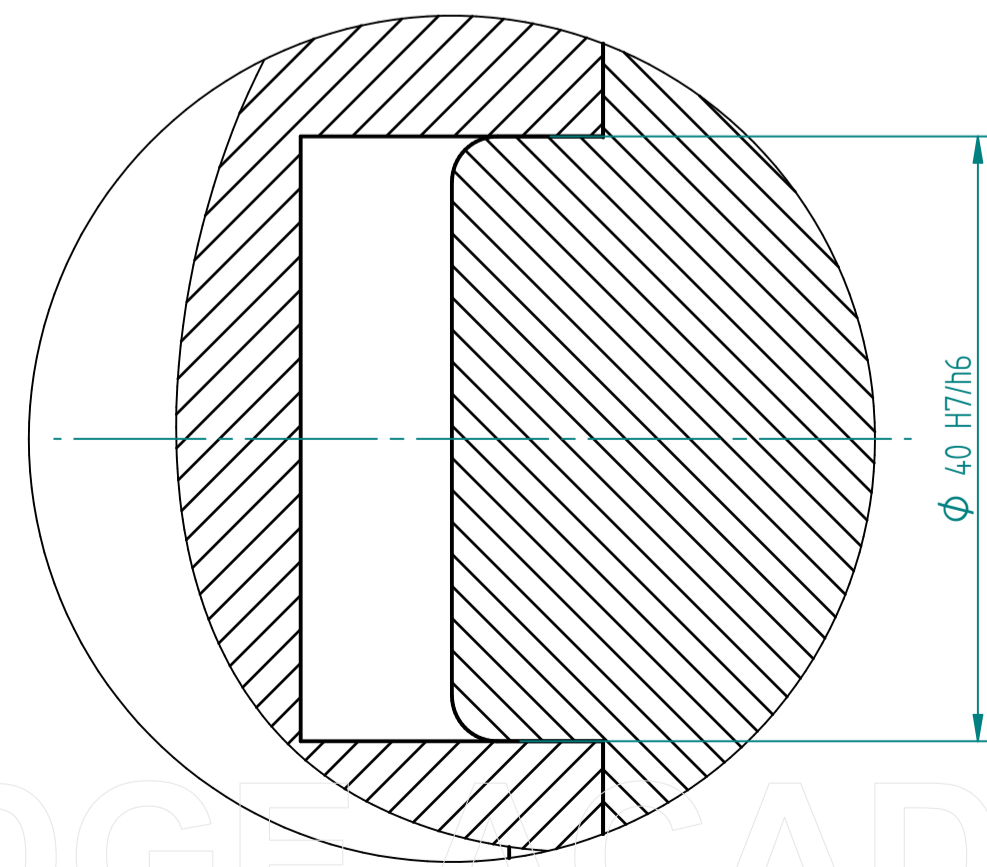
A
2:1



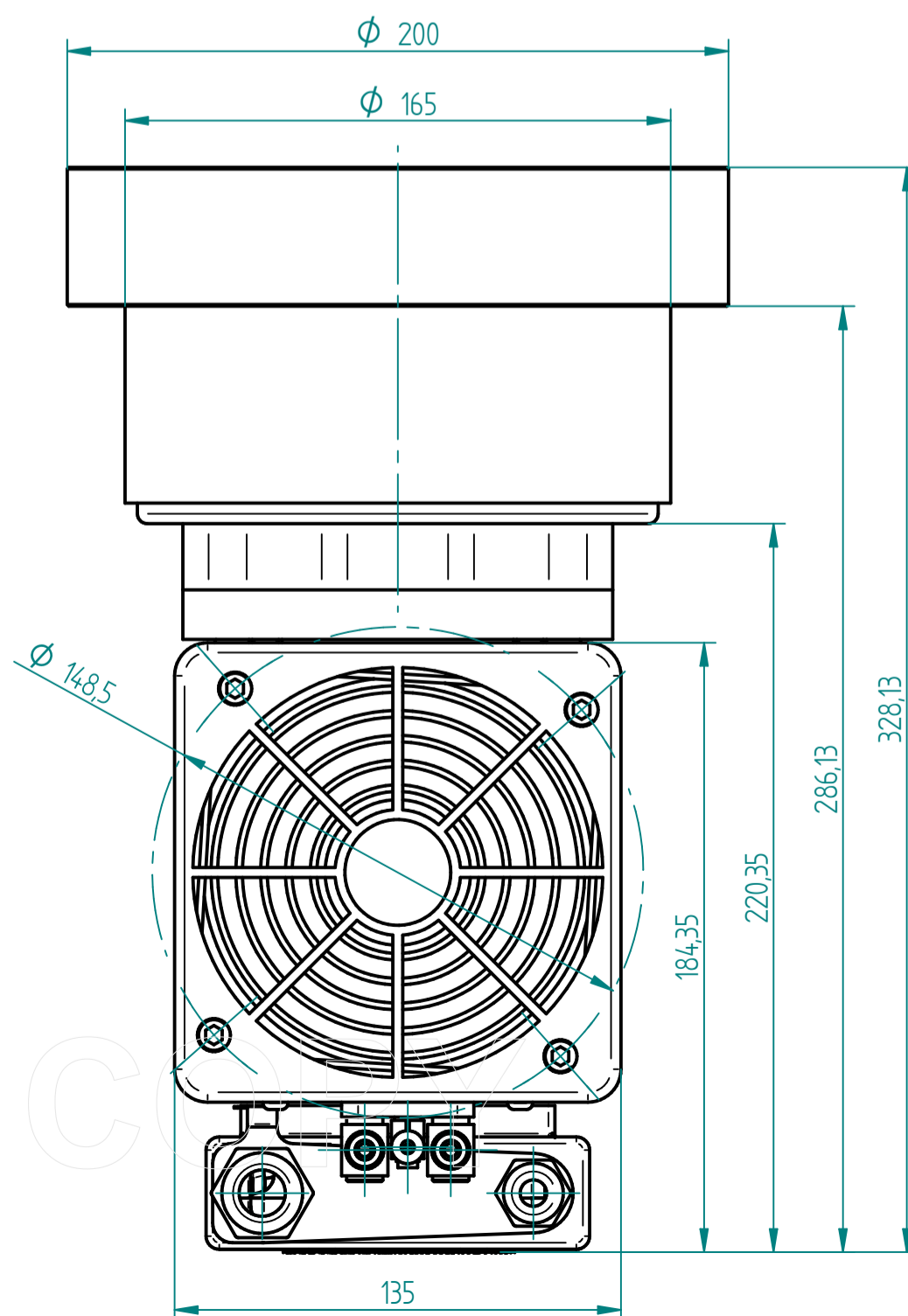
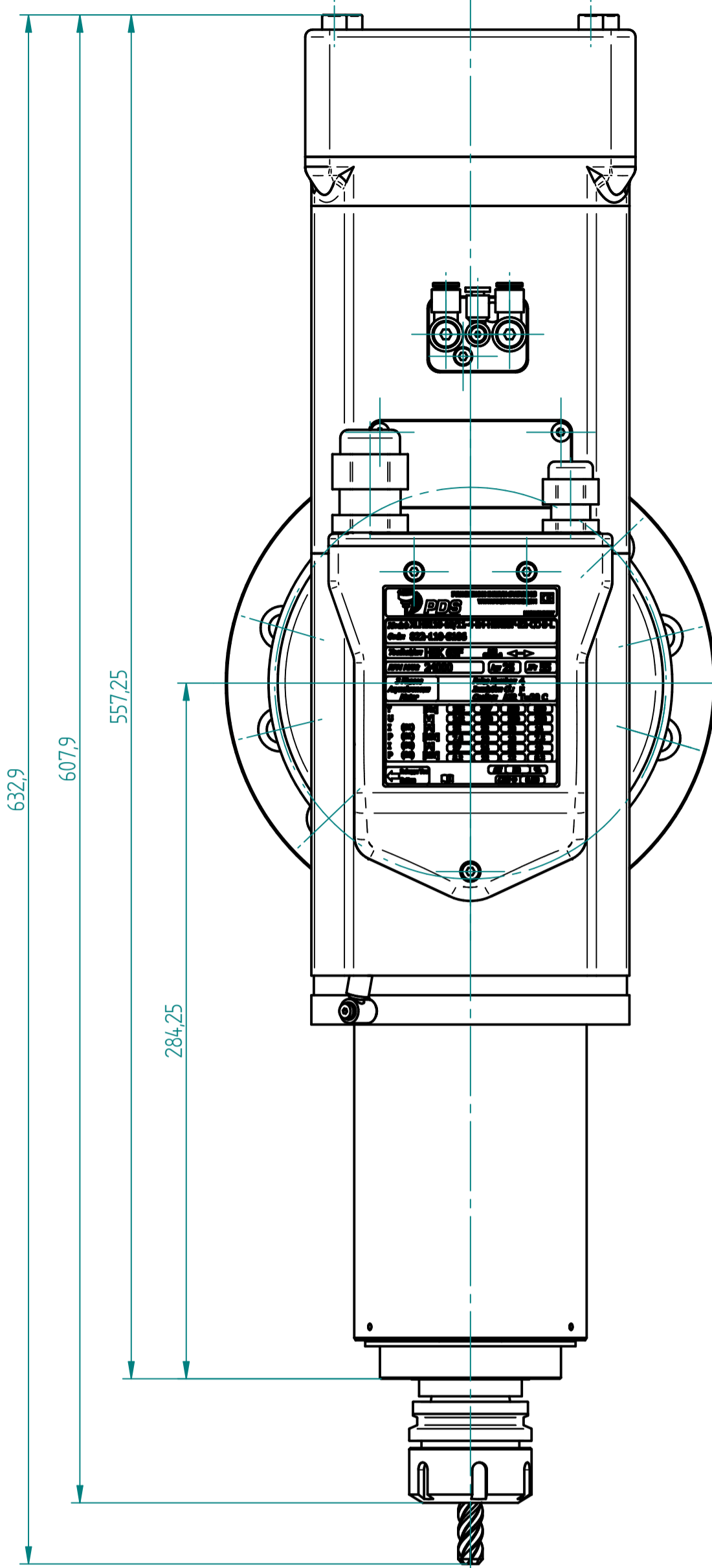
8



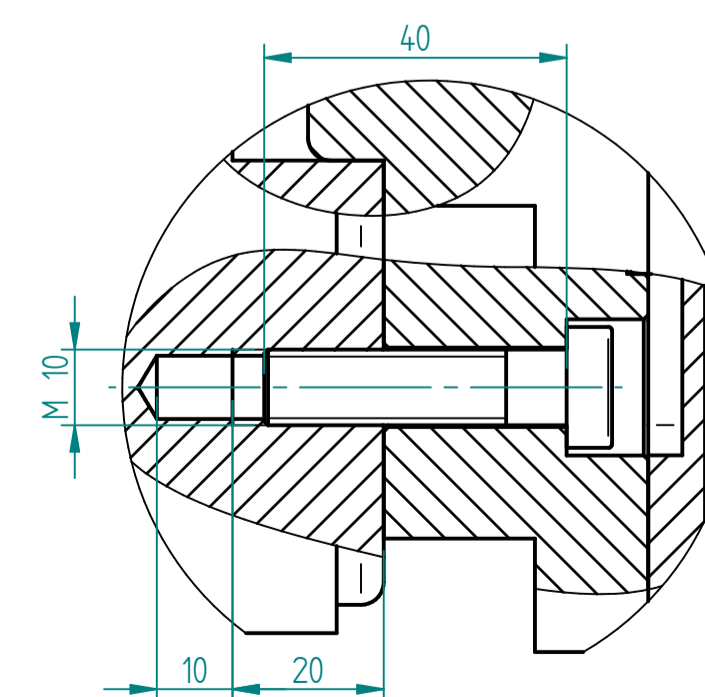
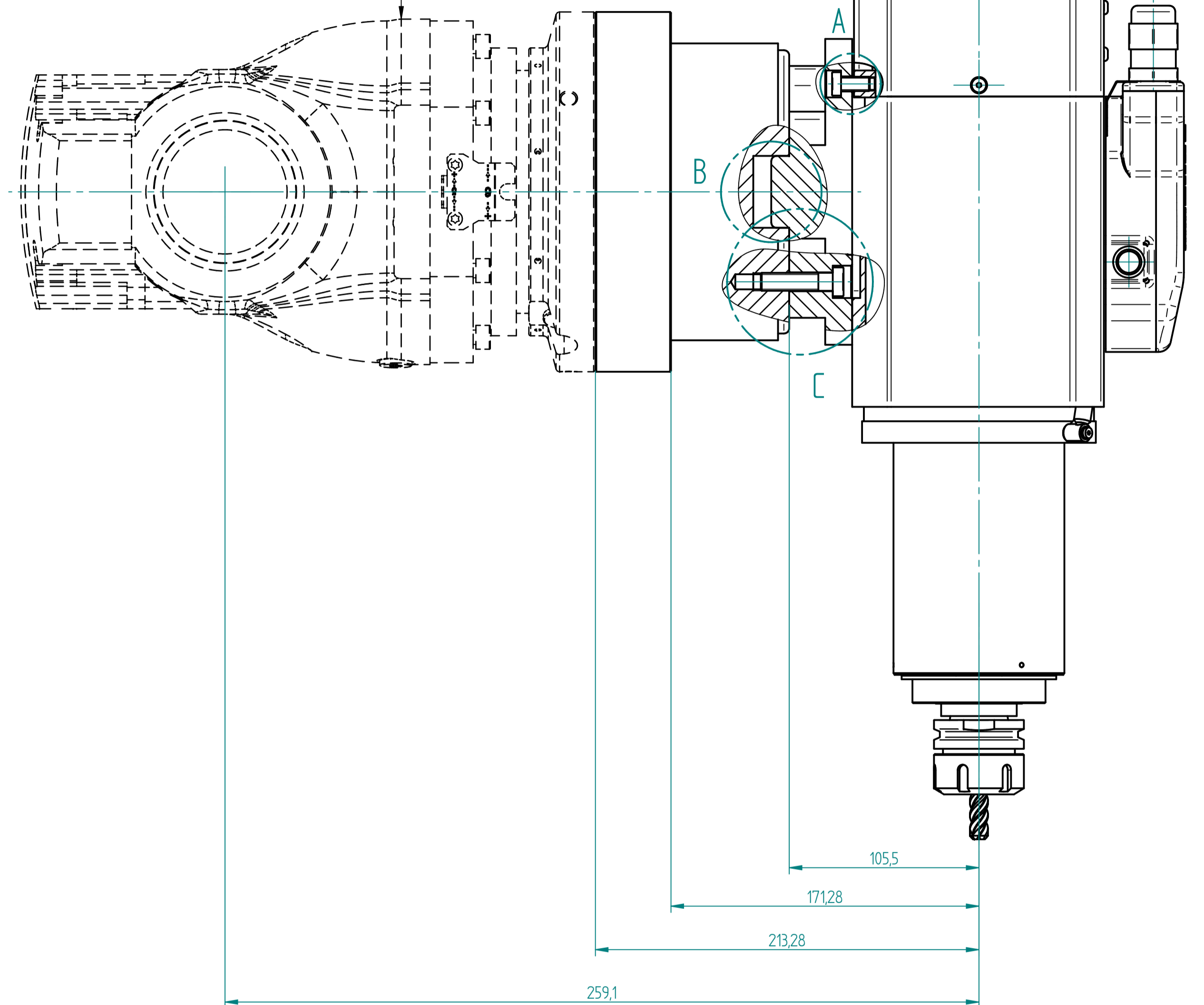
9



B
2:1



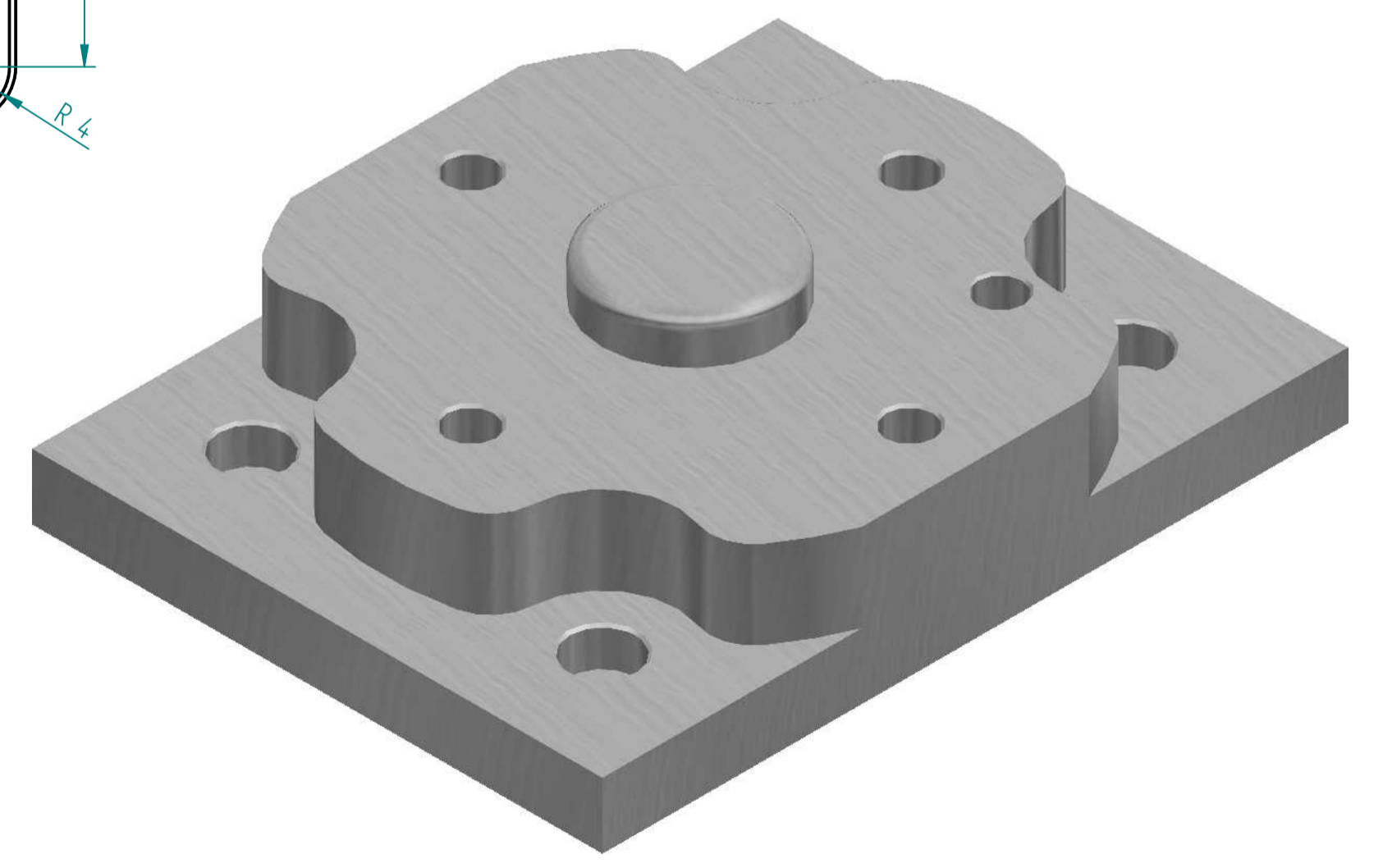
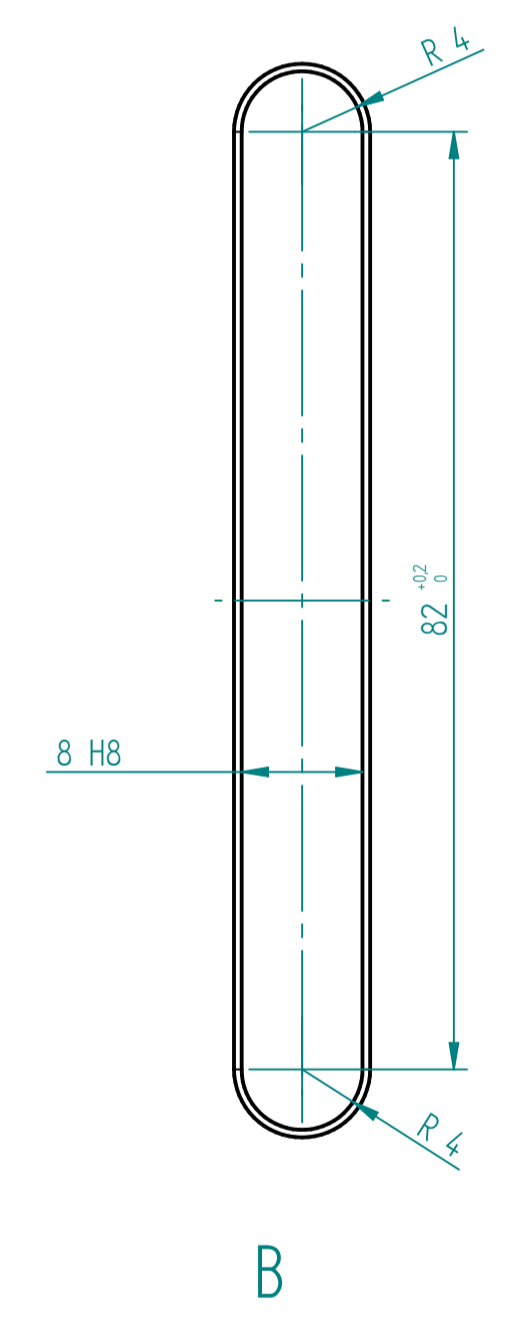
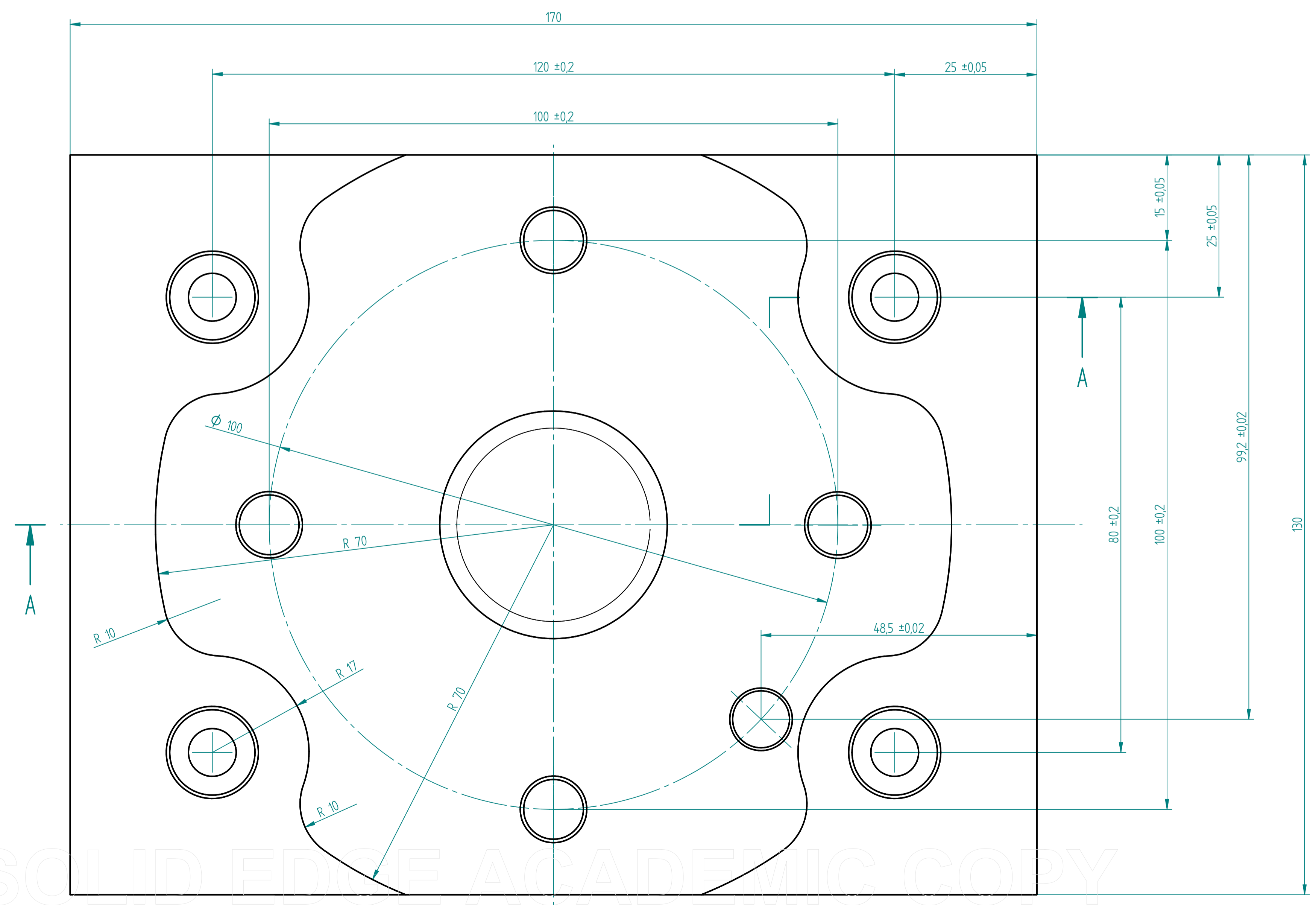
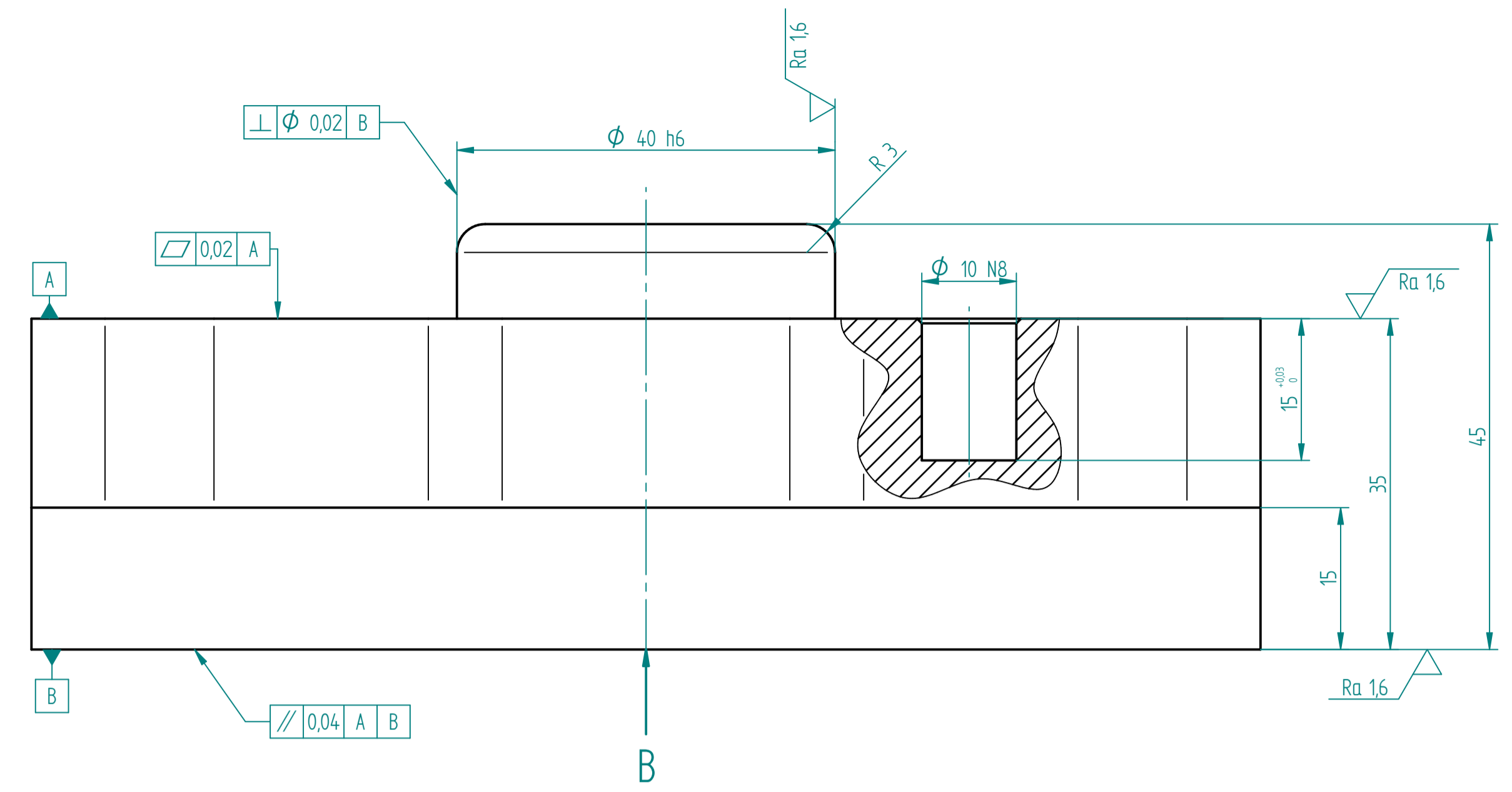
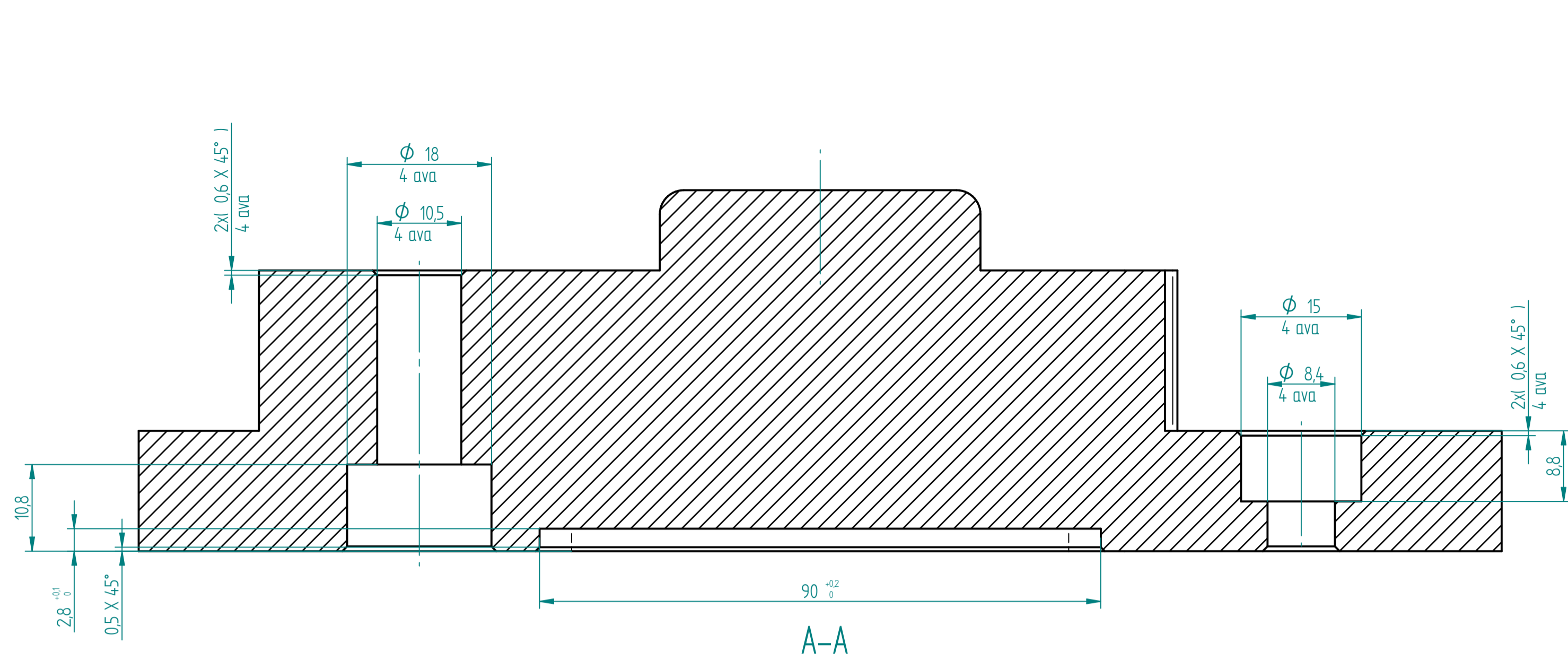
Märkus:
Robotmanipulaator ABB IRB 6640
5. ja 6. telg



C
1:1

11	Silindrihv ISO 2338 - 10 - h8 x 30 - St		1		
10	Vahetukk		1		
9	Sõrmfrees D10 HM		1		
8	Instrumendidaja ISO 30		1		
7	Kinnitusflants	KRS 01.01.01	1		
6	T-soone mutter M8 DIN 508		4		
5	Sisekuuskantpolt, madal pea M8x16 DIN 7984		4		
4	Sisekuuskantpolt, madal pea M10x40 DIN 7984		4		
3	Prismaлист DIN 6885 - A - 8 x 7 x 90		1		
2	Koormusandur		1		
1	Elektriline spindel PDS XLHS 110		1		
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus

Materjal:	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-1 m	Mass: 47 kg	Moot: 12
Teostas: Madis Maar 4.03.2016	Nimetus: PDS XLHS 110 spindlisõlm	Faili nimetus:	
Kontrollis: Martins Sarkans			
Kinnitas:			
Tallinna Tehnikaülikool Mehaanika- ja tootustehnika instituut	Leht: 1	Tähis: KRS 01.01.00	Formaat: A1



1:1

Markused:
 1. Märmatata faasid 0,5x45°
 2. Tähistamata pinnakaredus: $\sqrt{Ra\ 3,6}$

Materjal: Aluminum, EN AW 7075-T6	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-1 m	Mass: 1,632 kg	Moot: 21
Teostas: Madis Maar 19.04.2016	Nimetus: Kinnitusflants	Faili nimetus: Kinnitus_2.dft	
Kontrollis: Martins Sarkans			
Kinnitas:			
Tallinna Tehnikaülikool Mehaanika- ja toostustehnika instituut	Leht: 1	Tähis: KRS 01.01.01	Formaat: A1