



Marko Kelgo

HAARATSI PROJEKTEERIMINE TROSSI TRANSPORDIKS JA PAIGALDUSEKS TROSSKINNITUSELE

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Masinaehituse eriala

Tallinn 2021

Autori deklaratsioon ja lihtlitsents

Mina, Marko Kelgo,

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja Madis Moor.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Marko Kelgo

sünnikuupäev: 04.05.1987

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

HAARATSI PROJEKTEERIMINE TROSSI TRANSPORDIKS JA PAIGALDUSEKS TROSSKINNITUSELE

1. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
2. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas, kuupäev digiallkirjas.

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	6
1. LÄHTEÜLESANNE JA ETTEVÕTTE TUTVUSTUS.....	7
1.1 Lähteülesanne.....	7
1.2 Baasettevõtte tutvustus.....	7
2. PIIRANGUTE ANALÜÜS.....	8
2.1 Asendiplaan ja roboti liikumisele esitatud piirangud.....	8
2.2 Robotile esitatud nõuded ning valik.....	11
2.3 Universaalrobot KUKA KR10 R1100 spetsifikatsioon.....	12
2.4 Trossi poolt esitatud piirangud.....	13
2.5 Detailile esitatud nõuded.....	14
3. HAARATSI DISAIN.....	15
3.1 Haaratsi komponentide disain.....	15
3.2 Haaratsi tööpõhimõte.....	18
3.3 Haaratsi ja roboti kinnitus.....	20
3.4 Lineaarlaagrid.....	22
3.5 Haaratsis kasutatud materjalid ja mass.....	23
4. AUTOMATISEERIMINE.....	25
4.1 Silindrite valik.....	25
4.2 Andurite valik.....	28
4.3 Automatiseerimise tsükkel.....	29
4.4 Roboti liikumise simulatsioon.....	30
5. MAJANDUSLIK ANALÜÜS.....	32
5.1 Pressi tsükliaja muutus.....	32
5.2 Investeering haaratsi kasutamiseks.....	33
5.3 Investeeringu põhjendus.....	33
KOKKUVÕTE.....	34
SUMMARY.....	35
VIIDATUD ALLIKAD.....	36
LISADE LOETELU.....	38
Lisa 1. Pneumaatika- ja elektriskeem.....	39
Lisa 2. Ganti graafik haaratsi töötsüklile.....	40
Lisa 3. Koostejoonis 100.000.001.....	41
Lisa 4. Joonis 100.010.001.....	42
Lisa 5. Joonis 100.010.002.....	43
Lisa 6. Joonis 100.010.003.....	44

Lisa 7. Joonis 100.020.002.....	45
Lisa 8. Joonis 100.030.004.....	46

SISSEJUHATUS

Käesolevas töös käsitletakse robotiseerimise rakenduse leidmist masstootmises. Robotiseerimine ja tootmise efektiivsemaks muutmine on Eesti tööstuse jaoks oluline suund ning ettevõtted on alustanud robotiseerimise võimaluste otsimisega. Robotite areng on muutnud seadmed täpseks, kiireks, vastupidavaks ning universaalsemaks. Robotite hinnad on langenud ning muutunud kättesaadavaks ka väiksematele ettevõtetele. Lisaks on tööturule lisandunud uus generatsioon insenere kes on saanud baasteadmised universaalrobotite ja manipulaatorite kohta.

Töös käsitletakse AS Norma arendusprojekti trosskinnituse tootmiseks kasutades universaalrobotit. Lõputöös leitakse vastus robotiseerimise võimalikkuse ning võimaliku kokkuhoiu kohta. Analüüs on vajalik hindamaks majanduslikku mõju ettevõttele. Antud töö tulemust saab rakendada AS Norma arendusprojekti ning sarnastes detaili transpordiga seotud ülesannetes.

Töö edukaks teostamiseks on vajalik kaardistada tootmise ning seadmetega seotud piirangud. Piirangute analüüsi tulemusena on võimalik alustada roboti valikuga ja haaratsi disainiga. Haaratsi disainides lähtutakse roboti ning stantsimispressi piirangutest. Automatiseerimist analüüside leitakse sobivad komponendid haaratsile, kirjeldatakse planeeritud töötsükli ning simuleeritakse roboti liikumist koos haaratsiga. Majanduslikku analüüsi tehes võrreldakse protsessi muudatust ning sellega kaasnevaid kulusid. Leitakse kas investeering on põhjendatud või mitte.

Andmeid töö teostamiseks leitakse masinaehitusvaldkonna ettevõtete võrguväljaannetest. Lisaks kasutatakse AS Norma kogemust ning andmeid. Materjalide spetsifikatsioonid leitakse materjalitarnijate võrguväljaannetest.

Robotiseerimise valdkonnas on teostatud sarnaseid ülesandeid ning leitud, et robotiseerimine on majandusliku tasuvuse piiril [1]. Samuti on varasemates töodes käsitletud roboti kasutamist detailide transpordiks ning jõutud tulemusteni, mis näitavad efektiivsuse kasvu [2].

1. LÄHTEÜLESANNE JA ETTEVÖTTE TUTVUSTUS

1.1 Lähteülesanne

Lõputöös käsitletakse trossi transpordi probleemi lahendamist. Transpordi probleem on osa arendusprojektist millega hinnatakse võimalust muuta tootmishinda soodsamaks. Arendusprojekti idee on nähtaval Tabel 1. Hetkel on trossi koostamiseks vajalik eraldi koosteliin mille saaks asendada trossi paigaldusega rakises. Trossi transpordi jaoks on planeeritud universaalne robot, mille külge on vaja projekteerida haarats. Roboti ja haaratsi sobivuse hindamist teostatakse läbi majandusliku analüüsi.

Tabel 1 Arendusprojekti protsessi kirjeldus

Stantsimine	Transport	Vibrotöötlus	Trossitükeldus	Transport	Koostamine	Pinnakatmine
Stantsimine ja koostamine rakises						Pinnakatmine

1.2 Baasettevõtte tutvustus

AS NORMA tegutseb alates 1891.aastast ja kuulub globaalsesse autoohutussüsteeme tootvasse kontserni Autoliv. AS Norma klient on rahvusvaheline autotööstus. AS Norma kaubaks on TURVALISUS ja USALDUS. 1973. aastal alustas Norma autode ohutusrihmade tootmist. Lisaks autode turvasüsteemide tootmisele ja müügile on tänasest Normast kujunenud arvestatav turvavarustuse komponentide valmistaja rahvusvahelisele autotööstusele. Ettevõtte klientide tarbeks kasutatavad tehnoloogiad on lehtmetaili järjestikstantsimine, sh. silelõikestantsimine, plastmasside survevalu, galvaaniline katmine ja erinevad koostamisoperatsioonid. Ettevõttes valmistatud tooted päästavad igal aastal rohkem kui 25 000 inimese elu [3]. Kokku töötab AS Normas ligikaudu 1000 inimest.

2. PIIRANGUTE ANALÜÜS

Analüüsi eesmärk on saada ülevaade olemasolevatest seadmetest ja robotiseerimise piirangutest. Hinnangutes on lähtutud AS Normas olevatest seadmetest, valitud robotist, toodete spetsifikatsioonist ning stantsimisosakonna tootmisandmetest.

2.1 Asendiplaan ja roboti liikumisele esitatud piirangud

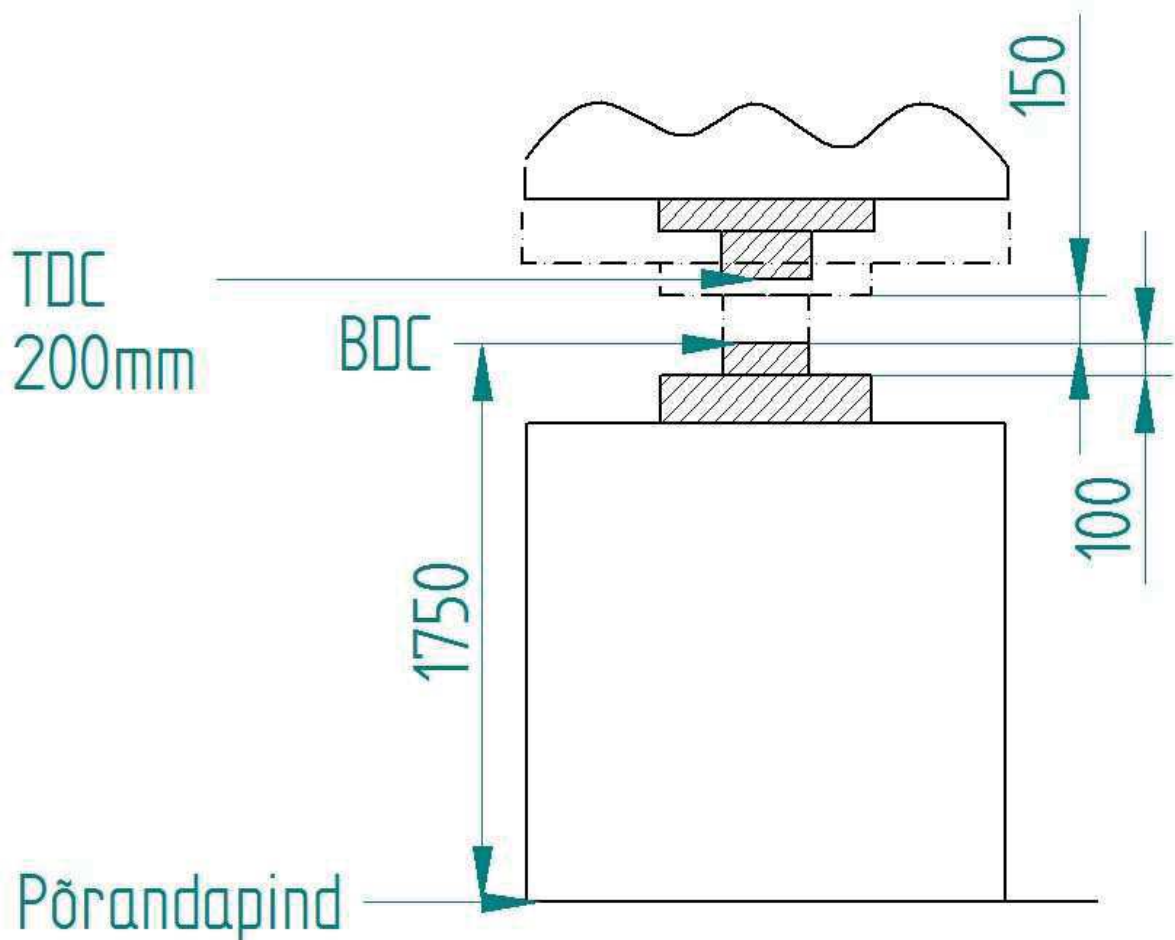
Seade mille juures robot hakkab töötama on Invernizzi T600 GNLM2 stantsimispress (Pilt 1). Pressi käitab üks operaator ning tööriistadena on kasutuses järjestikstantsid. Seadme ja protsessi poolsete piirangude on järgnevad:

- Töölaua kõrgus;
- Ülemise töölaua kõrgus BDC asendis;
- Vibratsioon töökohal;
- Min töölaua avanemiskõrgus BDC-TDC;
- Keskmise stantsimiskiirus sarnastel kinnitusedetailidel on 30-40 tsüklit/min.



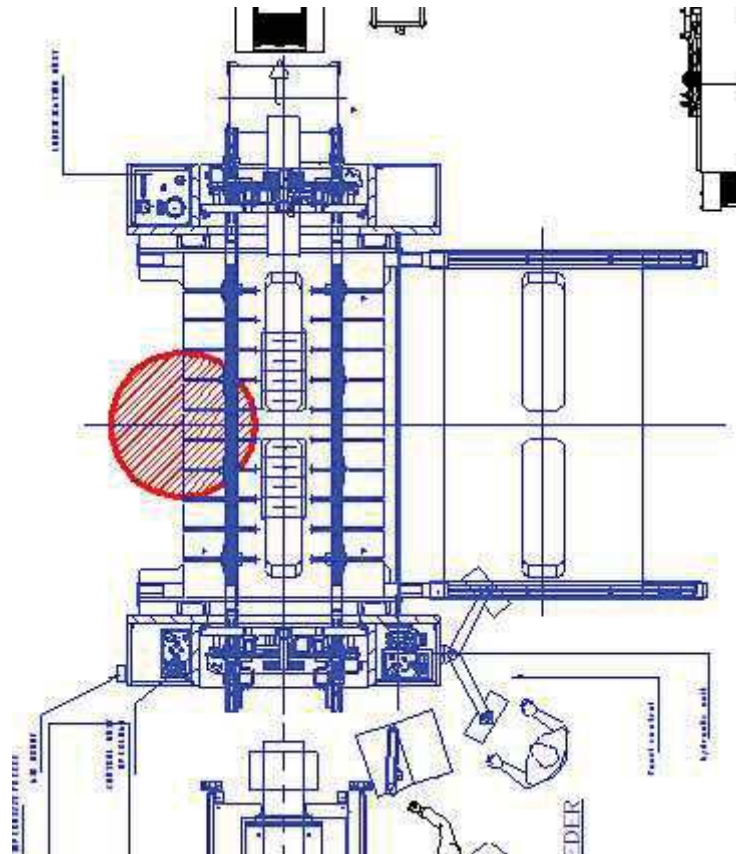
Pilt 1. Stantsimispress Invernizzi [4]

Järgneval skeemil on esitatud pressi ja rakise poolsed piirangud (Joonis 1). Rakise vahele jääb suletud asendis (BDC) 250 mm vaba ruumi. Rakise käigu pikkuseks on hetkel määratud 200 mm arvestades kogemust samal seadmel olevate rakistega. Kuna rakise töötasapind asub 1500 mm põrandapinnast, siis on vajalik roboti aluse projekteerimine.



Joonis 1. Pressi piirangud liikumisele

Lisaks pressi poolsetele piirangutele peab arvestama pressi asetusega tehases ning võimalusega tagada ohutu liikumine roboti või rakise seadistamiseks. Asendiplaanil (Joonis 2) on näidatud võimalik roboti paigaldus positsioon ning ohutsoon selle ümber. Ohutuse tagamiseks on vajalik paigaldada turvaaedik ümber roboti.



Joonis 2. Asendiplaan roboti ohualaga

2.2 Robotile esitatud nõuded ning valik

Roboti valikul lähtutakse järgnevatest nõuetest:

- Tööulatus;
- Tõstevõime;
- Paigaldustäpsus;
- Kaitstus välismõjurite vastu;
- Personali oskused.

Analüüsiks on valitud mudelid ettevõtetest ABB, Fanuc ja Kuka. Valiku põhjuseks on AS Norma emafirma Autoliv soovitus, kasutada ainult nimetatud ettevõtete toodangut uutes arendustes. Mudelite erinevusi on võrreldud järgnevas tabelis (Tabel 2).

Tabel 2. Roboti mudelite võrdlus

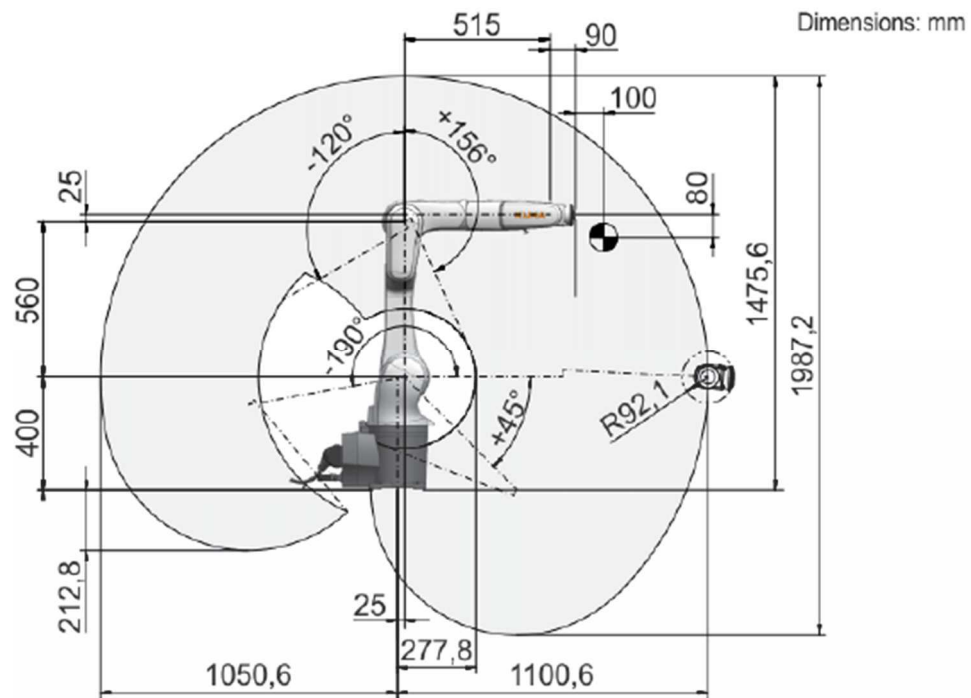
Ettevõtte	ABB	Fanuc	Kuka
Mudel	IRB 1300-10/1.15 [5]	CR-7iA/L [6]	KR10 R1100-2 [7]
Tööulatus, mm	1150	911	1001
Tõstevõime, kg	10	7	11,1
Paigaldustäpsus, mm	±0,023	±0,01	±0,02
IP-kaitseaste	IP40 (lisana IP67)	IP67	IP67
Personali oskused	Keskmine	Vähene	Väga hea

Võrreldes andmeid saab väita, et ABB roboti eeliseks on suurem tööulatus, aga kehvem paigaldustäpsus ja IP-kaitseaste. Fanuc roboti eeliseks on parim paigaldustäpsus, aga väiksem tööulatus ja tõstevõime. Parim valik nende robotite seast on Kuka KR10 R1100-2, mis on oma parameetritelt ABB ja Fanuc roboti vahel.

2.3 Universaalrobot KUKA KR10 R1100 spetsifikatsioon

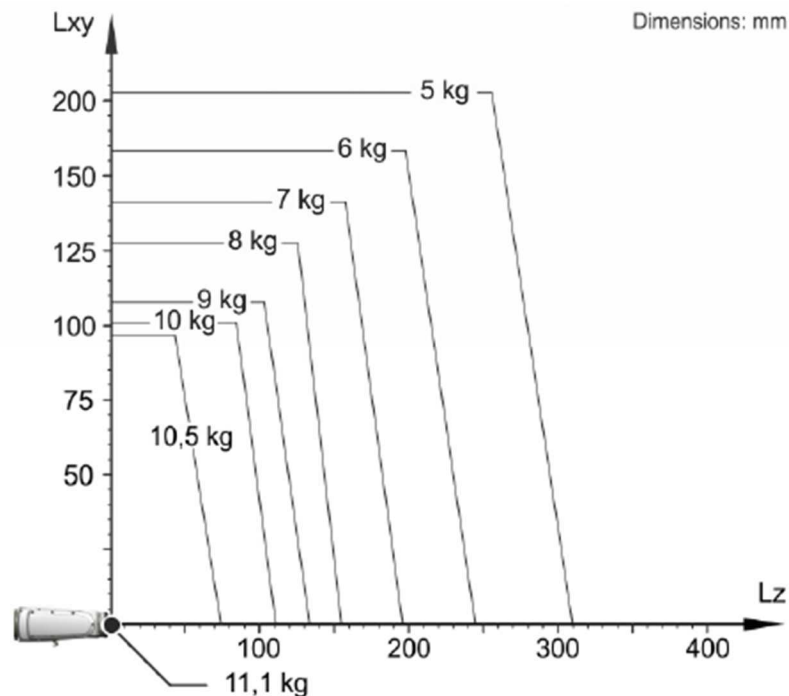
Valitud universaalrobot KUKA KR10 R1100 kuulub KUKA KR AGILUS tootegruppi mida iseloomustab tootja kui „kompaktset 6 teljelist robotit, mis on projekteeritud suurtele liikumiskiirustele. Erinevad versioonid, paigaldus võimalused, ulatused ja kandevõimed muudavad selle väikese roboti täpsuskunstnikuks.“ [8]

Roboti valimisel sai määravaks ka asjaolu, et AS Normas on sarnased robotid kasutusel ka teistes osakondades ning arendus- ja hoolduspersonalil on vajaliku teadmised KUKA roboti hooldamiseks(käitamiseks) olemas. Roboti paigaldustäpsus on piisav, et tagada stabiilne trossi paigaldus. Mudeli R1100 liikumisulatus on näidatud järgneval skeemil (Joonis 3).



Joonis 3. Kuka KR10 R1100 liikumisulatus [7]

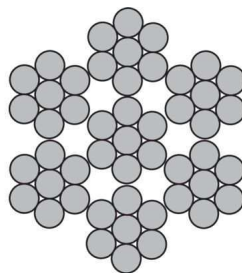
Seadme maksimaalne kandejõud on 10 kg kuid tootja poolne soovitus optimaalse liikumiskiiruse saavutamiseks on 5 kg. Roboti telje kandejõud sõltub koormuse kaugusest roboti alusest (Joonis 4).



Joonis 4. Kuka KR10 R1100 telgede kande võime [7]

2.4 Trossi poolt esitatud piirangud

Tootele on valitud tross 6x7WSC B aZ läbimõõduga 4 mm (Pilt 2), tolerantsiga +0,2 mm ning tõmbetugevusega 1960 MPa. Trossi kiudude struktuur peab vastama DIN EN 12385 standardile. Trossi materjal ning kvaliteet peab vastama DIN EN 10264 B standardile. Trossi painutamisel ei tohi tross saada vigastada.

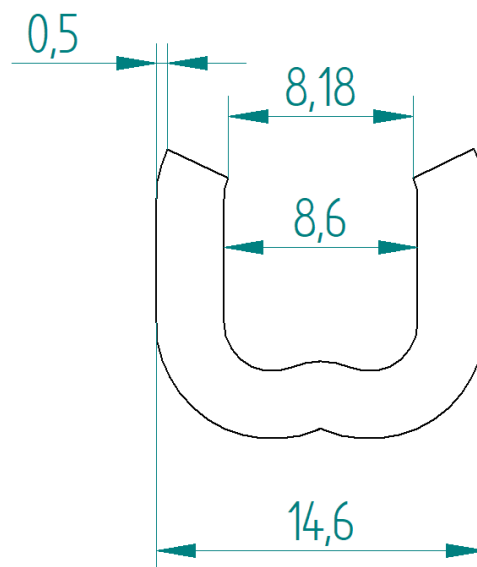


Pilt 2. Läbilõige trossist 6x7WSC [9]

2.5 Detailile esitatud nõuded

Käesolevas töös arvestatakse ainult detaili osaga kuhu paigaldatakse tross. Kinnitusosa mõõtmed on näidatud joonisel (Joonis 5).

Trossi mõlemad otsad peavad läbima kinnitusosa. Paigaldusruum trosside jaoks on 8,6 mm ning trossid tuleb sisestada otse, samal ajal ei tohi trossi kiud liikuda paigast. Trossi tuleb hoida haaratsiga kinni kuni on toimunud kokkupressimine ja trossid ei saa enam liikuda. Tükeldatud trossi pikkuseks on võetud näidisdetaili järgi 205 mm.



Joonis 5. Kinnitusosa mõõtmed

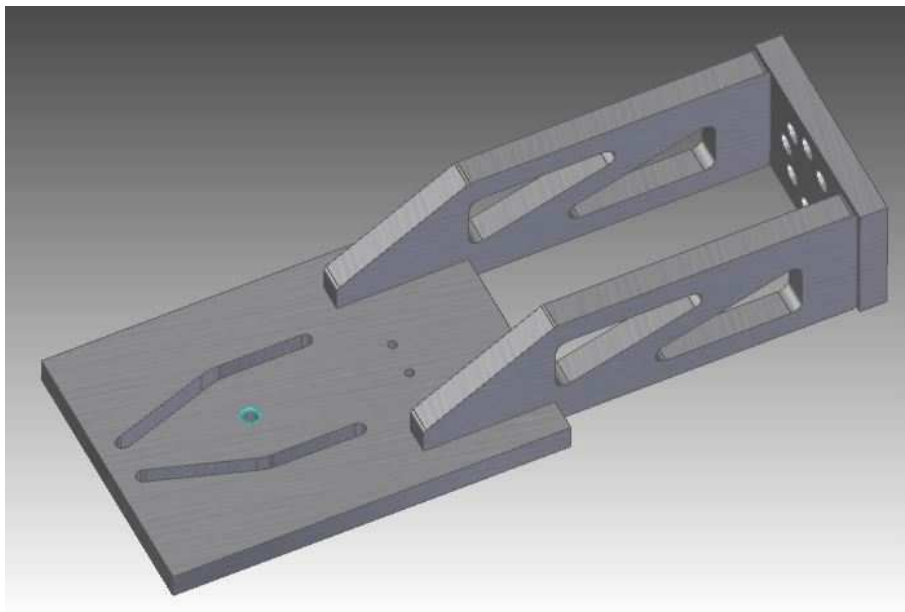
3. HAARATSI DISAIN

Haaratsi disaini peatükkis tutvustatakse haaratsi disaini ning tööpõhimõtet. Kirjeldatakse kinnitust robotiga ning haaratsis olevaid komponente.

3.1 Haaratsi komponentide disain

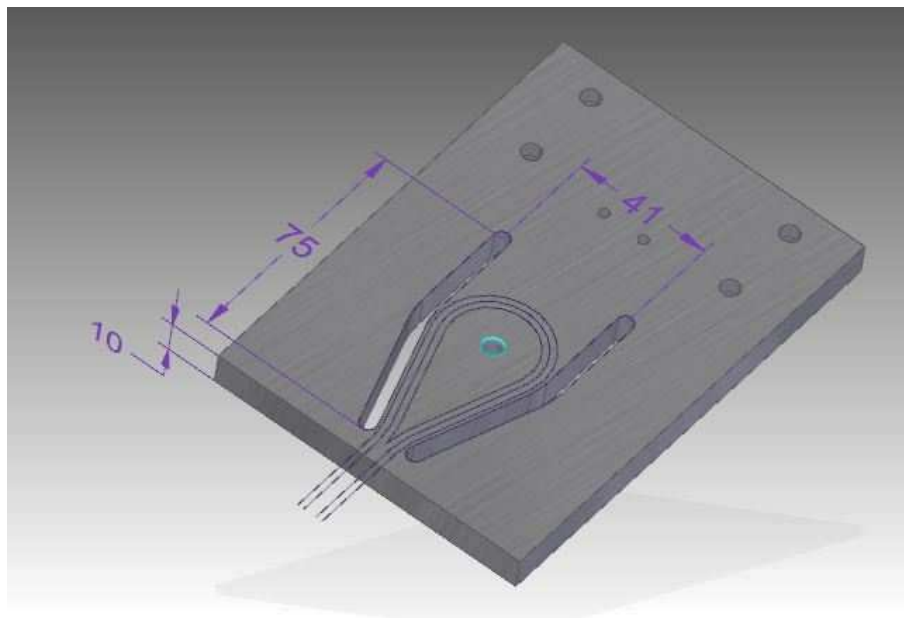
Haaratsi komponente disainides on olnud eesmärk luua kompaktne ning töökindel haarats trossi transpordiks. Tross peab püsima fikseeritud asendis kogu roboti liikumistsükli vältel. Aluseks on võetud kaks trossi asendit: sirge ja painutatud.

Haaratsi korpus koosneb alusplaadist, raami hoidjast ning roboti kinnitusest (Pilt 3). Korpuse materjalina on kasutatud 10 mm paksust alumiiniumit ning on omavahel kinnitatud M6 poltidega. Alumiiniumi kasutamine vähendab haaratsi massi 281,57g võrra.



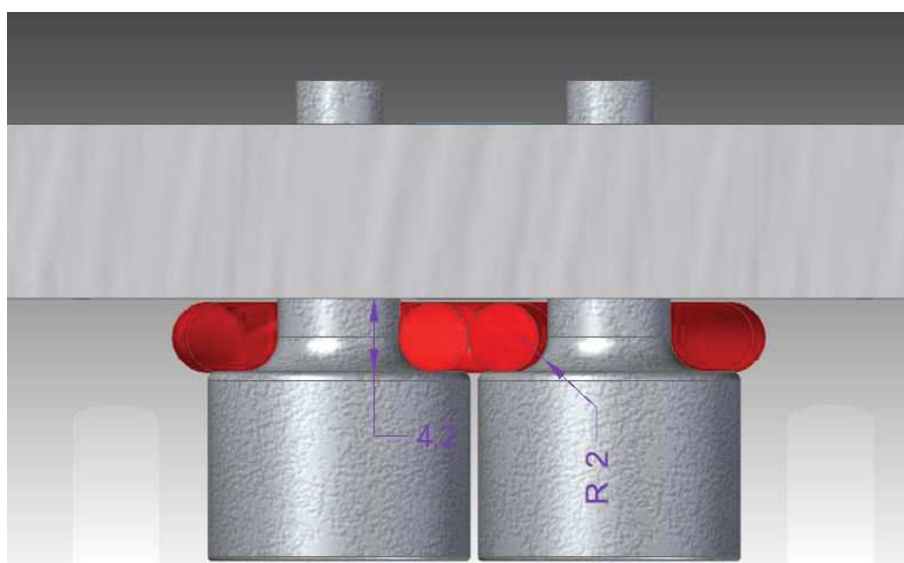
Pilt 3. Haaratsi korpuse mudel

Alusplaadi eesmärk on tagada liikuvate elementide kinnitus plaadile ning suunata juhikuid trossi painutamiseks (Pilt 4). Juhtsoont disainides võeti aluseks painutatud trossi kuju ning pikendati seda, tagamaks juhikute eemaldumist haaramispositsioonis. Alusplaadil on kinnitusavad silindrite ning laagrite kinnitamiseks.



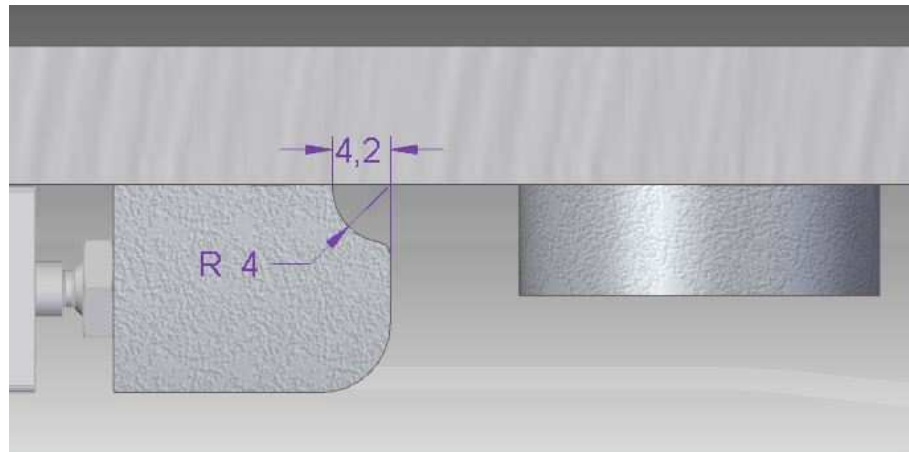
Pilt 4. Alusplaadi mudel

Juhikud on disainitud trossi suunamiseks paigaldusasendisse. Trossi suunamiseks on juhikule projekteeritud 2 mm raadius mis hoiab trossi juhiku sees. Juhtsoone lõppasendis suruvad kaks juhikut trossi otsad kokku ning tagavad paigaldusasendi. Materjalina on kasutatud terast kulumiskindluse suurendamiseks. Juhikud läbivad alusplaadi juhtsoone ning kinnituvad laagrikinnitusele M3 poldiga.



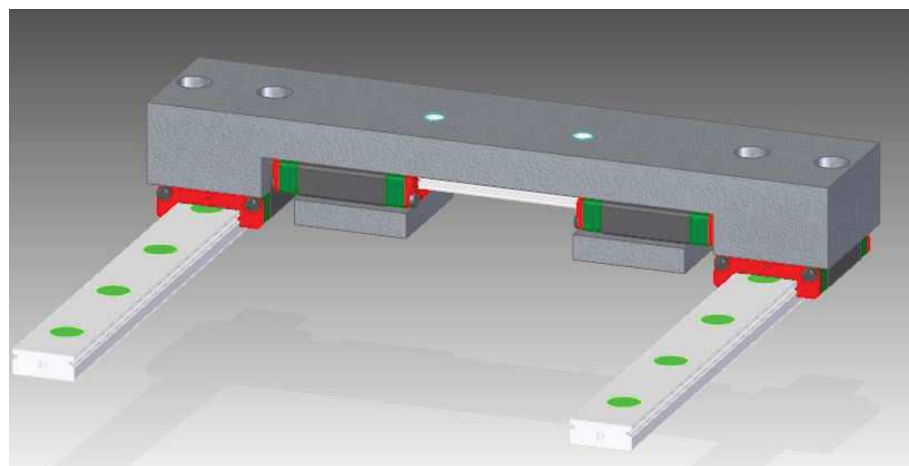
Pilt 5. Juhiku mudel

Haaratsi toe ja suruja eesmärk on fikseerida lõigatud tross ning tagada trossi asend roboti liikumise ajal. Materjalina on kasutatud terast. Tugi on fikseeritud jäigalt alusplaadile M8 poldiga. Surujale on disainitud raadius 4 mm soon mis tagab trossi paigutuse suruja, alusplaadi ning toe vahel. Suruja kinnitub silindri kolvivarre külge M5 kinnitusega.



Pilt 6. Haaratsi tugi ja suruja

Tagamaks juhikute sujuva piki- ja ristisuunalise liikumise on haaratsis kasutusel lineaarlaagrid. Lineaarlaagrite ühendamiseks juhikute ja alusplaadiga on disainitud laagrihoidja ja laagrikinnitus. Laagrihoidja kinnitub alusplaadil olevale lineaarlaagritele ning tagab pikisuunalise liikumise. Laagrihoidja küljes on kahe mooduliga lineaarlaager, mille küljes on laagrikinnitused, kuhu kinnituvad juhikud. Laagrihoidja ja laagrikinnitus on projekteeritud terasest.

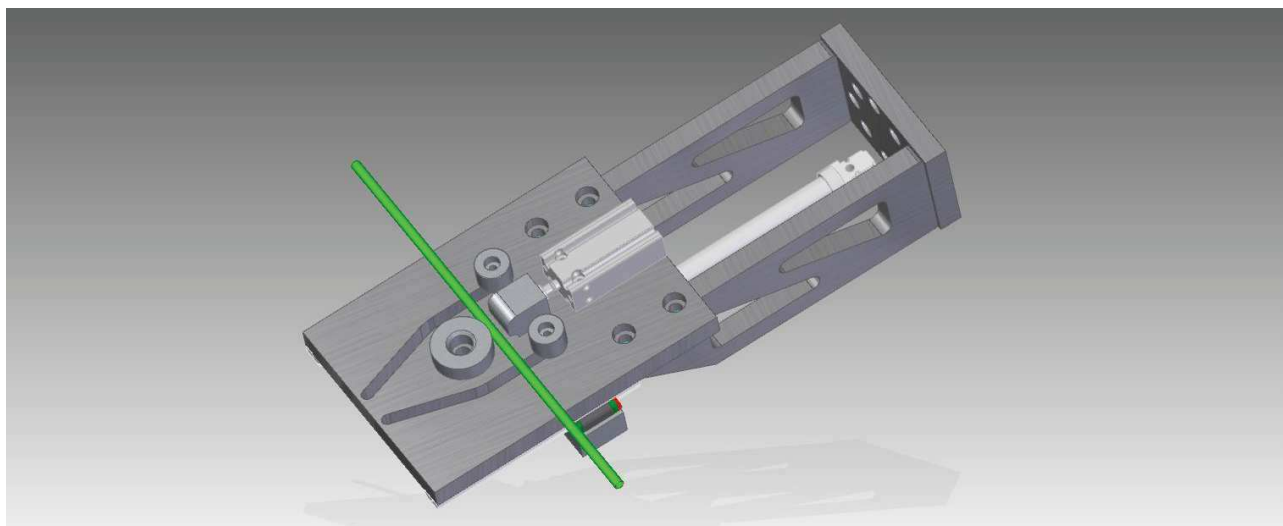


Pilt 7. Laagrihoidja ja laagrikinnitus

3.2 Haaratsi tööpõhimõte

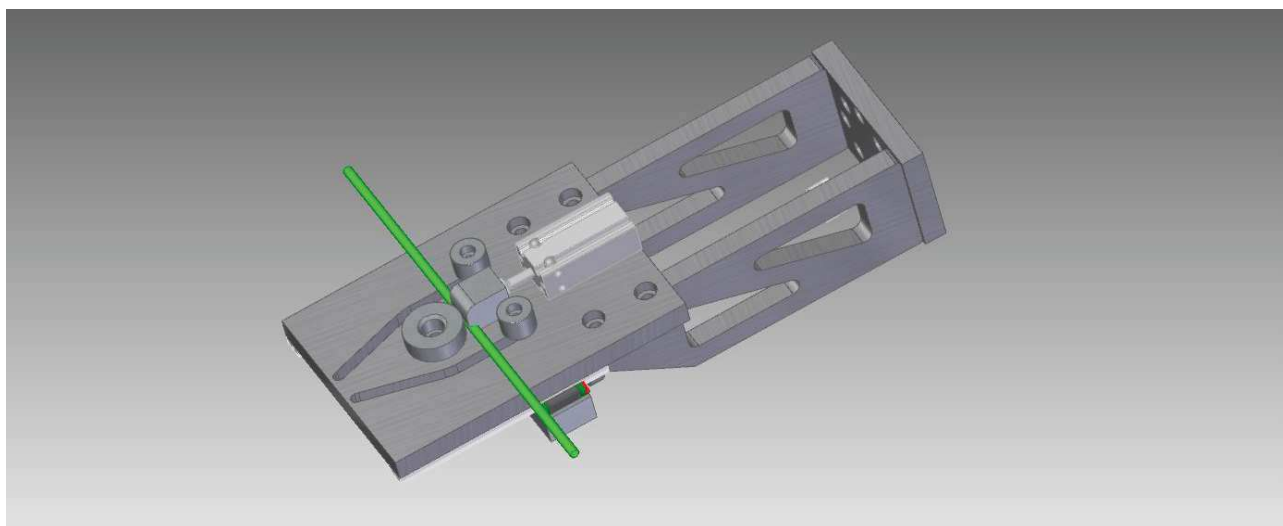
Haaratsi tööpõhimõtte alampeatükis kirjeldatakse haaratsi liikumisi ning tutvustatakse kuidas trossi painutamine on planeeritud.

Haarats liigub lõigatud trossi kohale. Induktiivandur I1 saab signaali trossi olemasolu kohta.



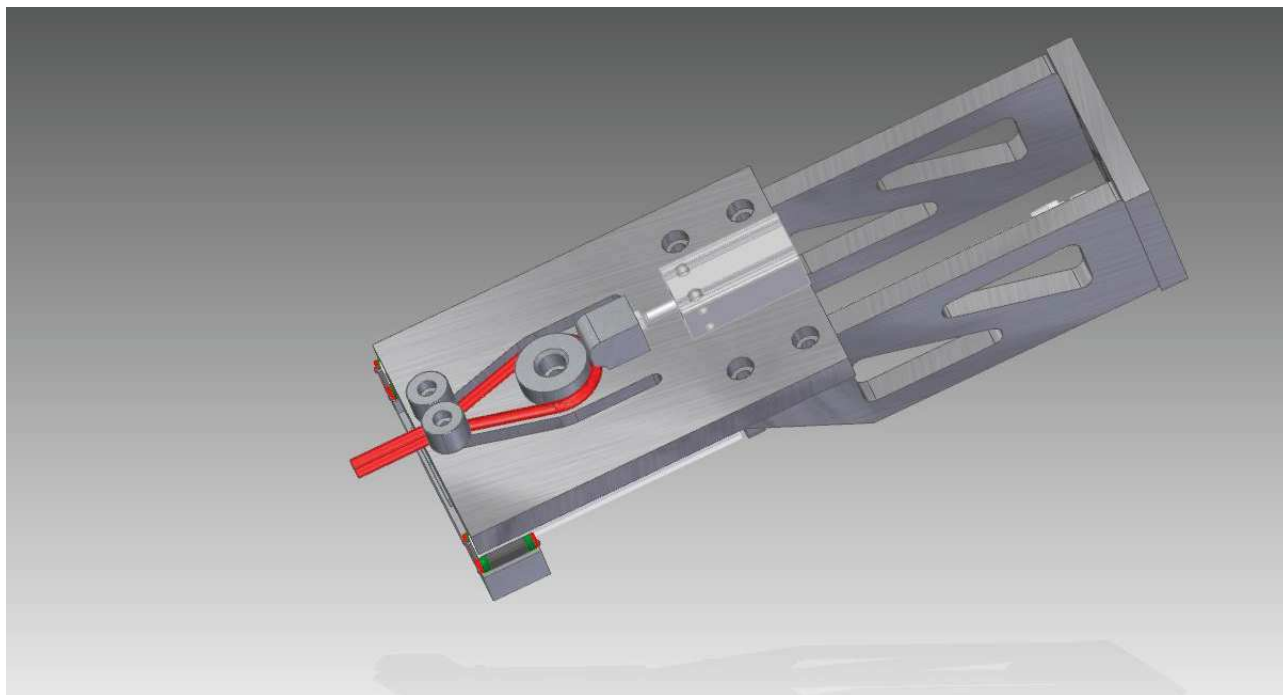
Pilt 8. Trossi haaramine

Silinder S1 liigub lõppasendisse ning surub trossi vastu tuge. Silindri lõppandur I2 saab signaali positsiooni kohta.



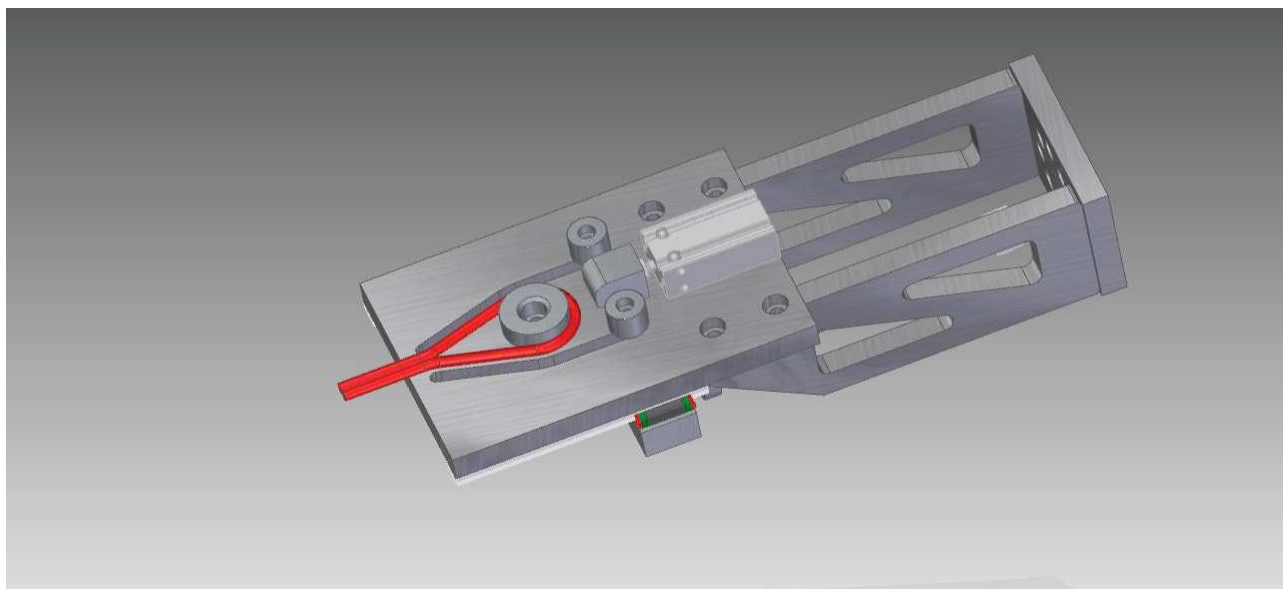
Pilt 9. Trossi surumine vastu tuge

Robot tõstab haaratsi üles ning silinder S2 liigub lõppasendisse. Liikumise ajal surutakse tross liugurite abil õigesse positsiooni. Silindri lõppandur I4 saab signaali positsiooni kohta. Samal ajal liigutab robot trossi sisestuspositsiooni.



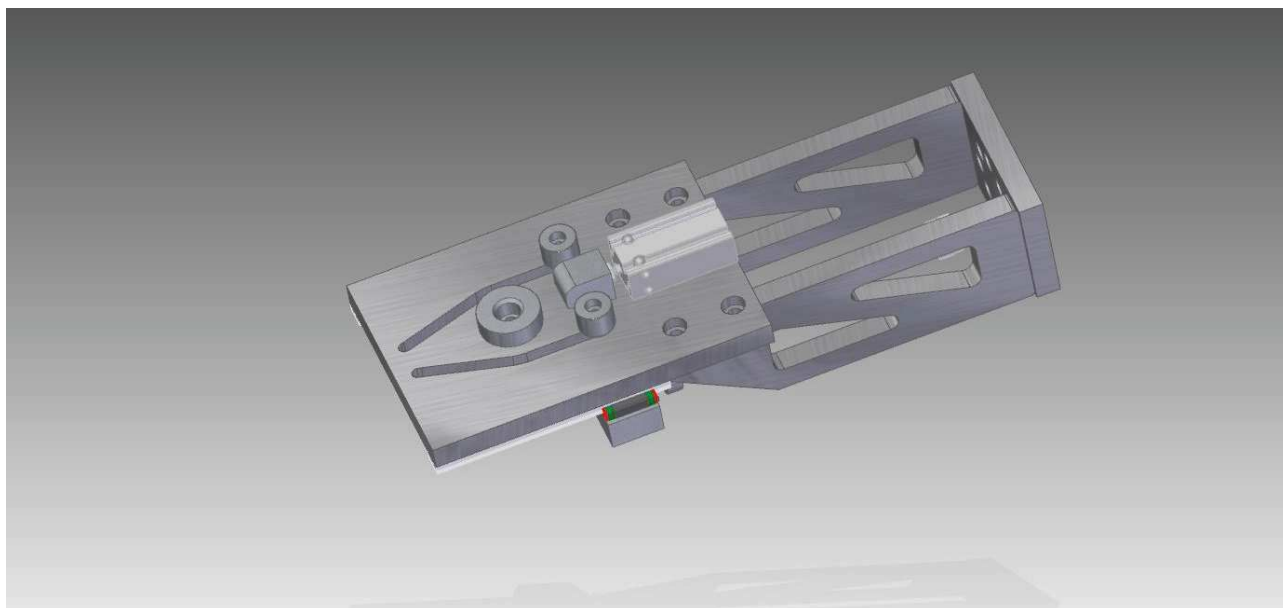
Pilt 10. Trossi painutamine

Tross sisestatakse detaili sisse ning hoitakse kuni press on saavutanud BDC positsiooni. Silindrid S1 ja S2 liiguvad algpositsiooni. Silindrite algpositsiooniandurid I3 ja I5 saavad signaali positsiooni kohta.



Pilt 11. Trossi vabastamine

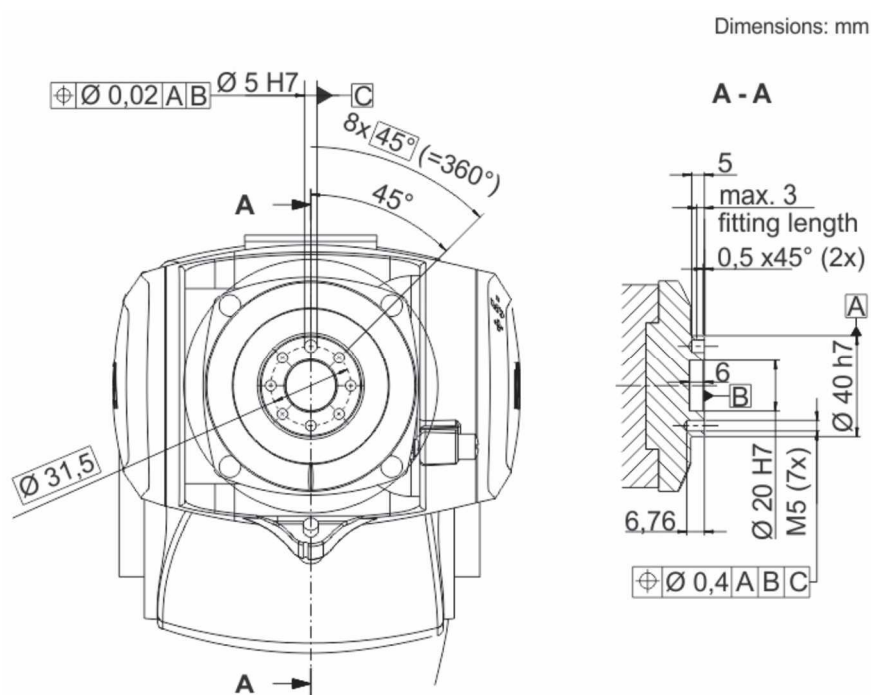
Robot liigutab haaratsi trossi vahelt välja ning liigub algpositsiooni.



Pilt 12. Haarats algpositsioonis

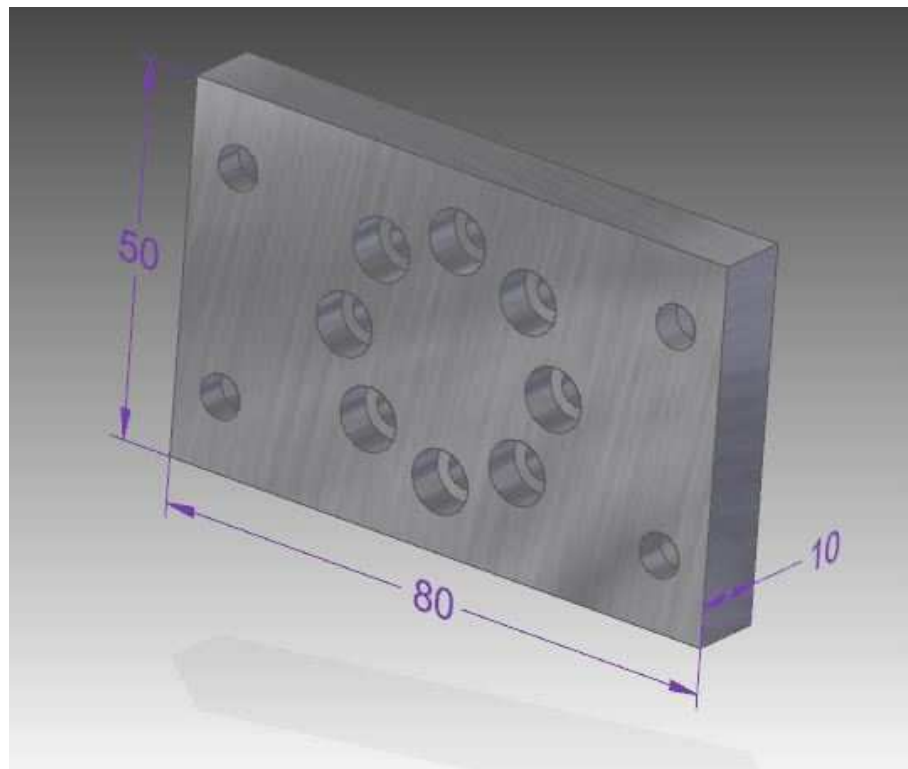
3.3 Haaratsi ja roboti kinnitus

Roboti kinnitusel on arvestatud Kuka poolse spetsifikatsiooniga (Joonis 6). Kinnitus peab tagama haaratsi stabiilse fikseerimise roboti flantsiga.



Joonis 6. Kuka KR10 R1100 kinnitusflants [7]

Haaratsipoolne hinnitus (Joonis 7) on projekteeritud haaratsi fikseerimiseks roboti flantsile. Haarats on kinnitatud roboti külge kaheksa M5 poldiga. Kinnitusplaadis on kasutatud alumiiniumit, mis vähendab kinnitusplaadi massi võrreldes terasega 27,6%. Kinnitusplaadile on projekteeritud 4 M6 poldi kinnitusava.



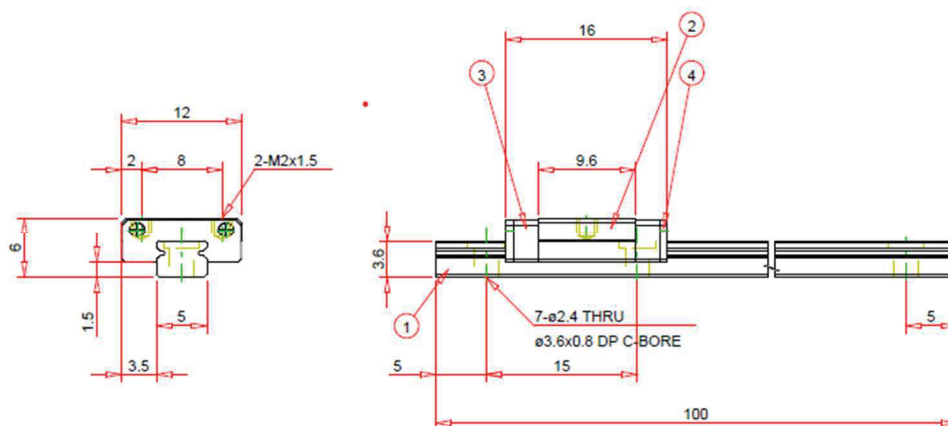
Joonis 7. Haaratsi kinnitusplaat

3.4 Lineaarlaagrid

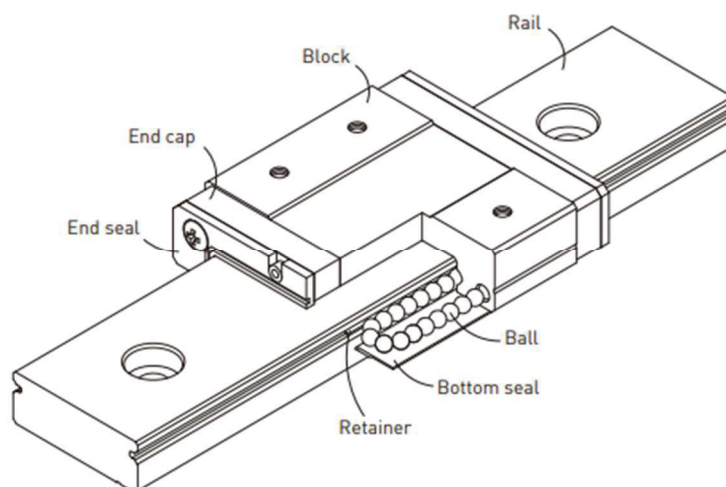
Valitud on HiWin kataloogist MG seeria lineaarlaagrid [10]. Vastavalt kliendi soovile on võimalik muuta siini pikkust ning moodulite arvu siinil. Tarnija iseloomustab MG seeria laagreid kui „kompaktsed ja väikese massiga laagrid mis sobivad väikestele seadmetele. Kõik laagris kasutatavad materjalid on roostevabast terasest. Laagri kuulipesa kuju tagab suure jäikuse, täpsuse ja talub jõude erinevatest suundadest [11]. Valitud laagrite mõõtmed ning kood on esitatud tabelis (Tabel 3). Laagri mõõtmed ning konstruktsioon on esitatud joonistel (Joonis 8 ja Joonis 9)

Tabel 3. Laagrite valik

Kood	Pikkus, mm	Laagri täpsus, mm	Moodulite arv, tk	Kogus, tk
MGW05C1R100ZFC	100	$\pm 0,04$	1	2
MGW05C2R73ZFC	73	$\pm 0,04$	2	1



Joonis 8. Laagri MGW05C1R100ZFC mõõtmed [12]



Joonis 9. MG seeria laagri konstruktsioon

3.5 Haaratsis kasutatud materjalid ja mass

Materjalidena on kasutatud alumiiniumsulamit Alumec 89 ning terast K110 ja S235.

Alumec 89 on alumiiniumsulam ettevõtte Uddeholm valikust [13]. Materjali eeliseks on kerge kaal, lihtne töödeldavus, suur pinnakõvadus ning vajadusel lihtne tõsta pinnakõvadust anodiseerides. Anodiseerimise käigus on võimalik saada pinnakõvadus kuni 65HRC.

K110 terase sulam ettevõtte Böhler valikust [14]. Teras eeliseks on hea kulumiskindlus tänu suuremale C ja Cr sisaldusele. Suurema kõvaduse ja kulumiskindluse saavutamiseks hea karastatavusega. K110 on kasutusel elementidel millele mõjuvad mehaanilised hõõrdejõud.

S235JR on odav ja laialdaselt kasutusel olev teras [15]. Teras S235JR on kasutusel ehituskonstruktsioonides ja masinaehituses, kui detailile ei esitata kõrgeid nõudmisi koormuse vastupidavusele. Antud projektis on S235JR kasutusel kinnitustes ja hoidjates.

Kõikide kasutatud materjalide füüsilikalised omadused on esitatud kokkuvõtvas tabelis (Tabel 4).

Tabel 4. Kasutatud materjalide füüsilikalised omadused [13, 14, 15]

Materjal	Alumec 89	K110	S235JR
Tarnija	Uddeholm	Böhler	Salzgitter Flachstahl
Tihedus, kg/m ³	2830	7670	7850
Elastsusmoodul, N/mm ²	71500	200000	210000
Tõmbetugevus, N/mm ²	590	860	235
Voolepiir, N/mm ²	550	420	510

Haaratsi projekteerimisel on nähtud ette, et oleks haarats oleks võimalikult väikese massiga. Komponentide massid koos materjali tähisega on esitatud tabelis (Tabel 5).

Tabel 5. Haaratsi komponentide massid

Nimetus	Tähis	Kogus, tk	Materjal	Mass kokku, g
Raami hoidja	100.010.001	2	Alumec 89	278
Roboti kinnitus	100.010.002	1	Alumec 89	98
Alusplaat	100.010.003	1	Alumec 89	366
Laagri hoidja	100.030.001	1	S235JR	155
Laagri hoidja kinnitus	100.030.002	1	S235JR	42
Laagri kinnitus	100.030.003	2	S235JR	20
Juhik	100.030.004	2	K110	30
Tugi	100.020.001	1	K110	27
Suruja	100.020.002	1	K110	32
Silindri hoidja	100.020.003	1	S235JR	115
			Kokku	1163

Materjali valiku ning komponentide disainiga täideti püstitatud eesmärgid. Haaratsi mass automaatika komponentideta on 1163 g ning gabariitmõõtmed 100x65x290 mm. Haaratsi disain tagab trossi fikseerimise ning kokkusurumise.

4. AUTOMATISEERIMINE

Automatiseerimise peatükis valitakse haaratsi jaoks vajalikud automaatikakomponendid ning kirjeldatakse töösükli.

4.1 Silindrite valik

Silindrite valikul on arvestatud silindrite mõõtmete, käigu, massi ning liikumiskiirusega. AS Norma poolt on määratud Festo pneumaatikakomponentide kasutamine. Trossi haaramise silindri käik on ettenähtud 5-10 mm, ühepoolse toimega. Silindril peab olema anduri kinnitamise võimalus. Võrdlus on teostatud SMC pneumosilindritega (Tabel 6).

Tabel 6. Trossi haaramise silindri võrdlus

Silindri mudel	DPDM-10-10-S-PA [16]	CDQSB12-10SM [17]
Tootja	Festo	SMC
Kolvi käik, mm	10	10
Kolvi läbimõõt, mm	10	12
Töösurve, bar	2-8	2,5-10
Teoreetiline jõud 6 bar juures, N	38	43
Mass 0 mm käigu juures, g	30,5	50
Positsioneerimis võimalus	Liikumisandur	Liikumisandur
Pneumoühendus	M5	M5
Kolvivarre ühendus	M5	M5
Gabariitmõõtmed, mm	24 x 15 x 57	25 x 25 x 32,5

Valitud silinder on DPDM-10-10-S-PA (Pilt 13). Lõppasendi saavutamiseks 6 bar rõhuga kulub silindri kolvil 0,084 s. Silindri eelisteks on väiksem mass ning kõrgus.



Pilt 13. Festo DPDM-10-10-S-PA silinder

Trossi painutamiseks on vaja valida kahepoolse toimega silinder mille kolvi käik on 75-80 mm. Silindril peab olema anduri kinnitamise võimalus. Võrdlus on tehtud Festo ja SMC tootevalikus olevate silindritega (Tabel 7) .

Tabel 7. Trossi painutamise silinder

Silindri mudel	DSNU-10-80-P-A [18]	C85N10-80 [19]
Tootja	Festo	SMC
Kolvi käik, mm	80	80
Kolvi läbimõõt, mm	10	10
Töösurve, bar	1,5-10	0,8-10
Teoreetiline jõud 6 bar juures, N	47,1	39,3
Mass 0 mm käigu juures, g	37,3	75
Positsioneerimis võimalus	Liikumisandur	Liikumisandur
Pneumoühendus	M5	M5
Kolvivarre ühendus	M4	M4
Gabariitmõõtmed, mm	15 x 15 x 161	15 x 15 x 154

Haaratsi jaoks on valitud silinder DSNU-10-80-P-A (Pilt 14). Eeliseks SMC silindriga on suurem jõud ning väiksem mass. Lõppasendi saavutamiseks kulub 0,116 s. Silindri mass kinnises asendis 37,3 g.



Pilt 14. Festo DSNU-10-80-P-A silinder

Kasutades liikumisaja arvutamise valemit (1) teostatakse kontrollarvutused:

$$t=s\div v, \quad (1)$$

kus, t - läbitud teepikkus, m;

v - liikumiskiirus, m/s.

Silindri DPDM-10-10-S-PA liikumis jaoks kuluva aja kontrollarvutus:

$$s= 0,01 \text{ m}$$

$$v= 0,130 \text{ m/s}$$

$$t= 0,077 \text{ s}$$

Silindri DSNU-10-80-P-A liikumis jaoks kuluva aja kontrollarvutus:

$$t= 0,08 \text{ m}$$

$$v= 0,720 \text{ m}$$

$$t= 0,111 \text{ s}$$

Kontrollarvutusega kinnitati silindrite liikumiseks kuluv aeg.

4.2 Andurite valik

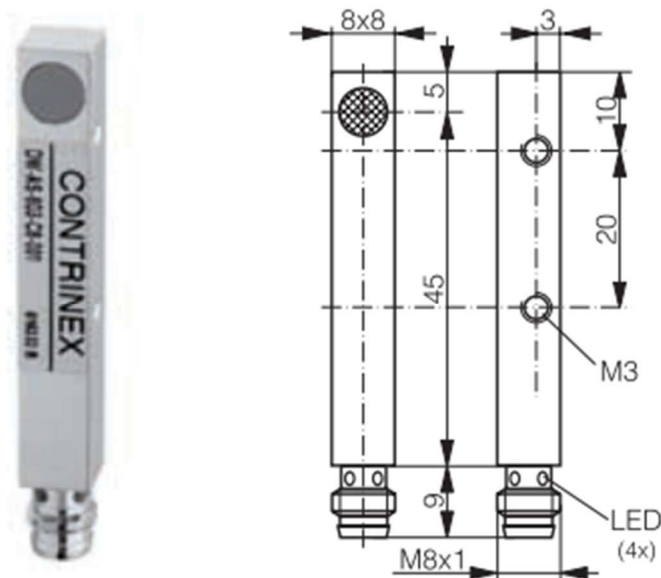
Andurite valikus on arvestatud sobivust valitud Festo silindritega (Tabel 8). Lisaks on haaratsis üks induktiivandur trossi tuvastamiseks (Joonis 10). Trossi tuvastamise anduri valikus on arvestatud:

- Gabariitmõõtmetega;
- Lülitusdistsantsiga;
- Kinnitustüübiga;
- IP-kaitseklassiga;
- Pistiku tüübiga.

Andurite valik on näidatud tabelis .

Tabel 8. Andurite valik

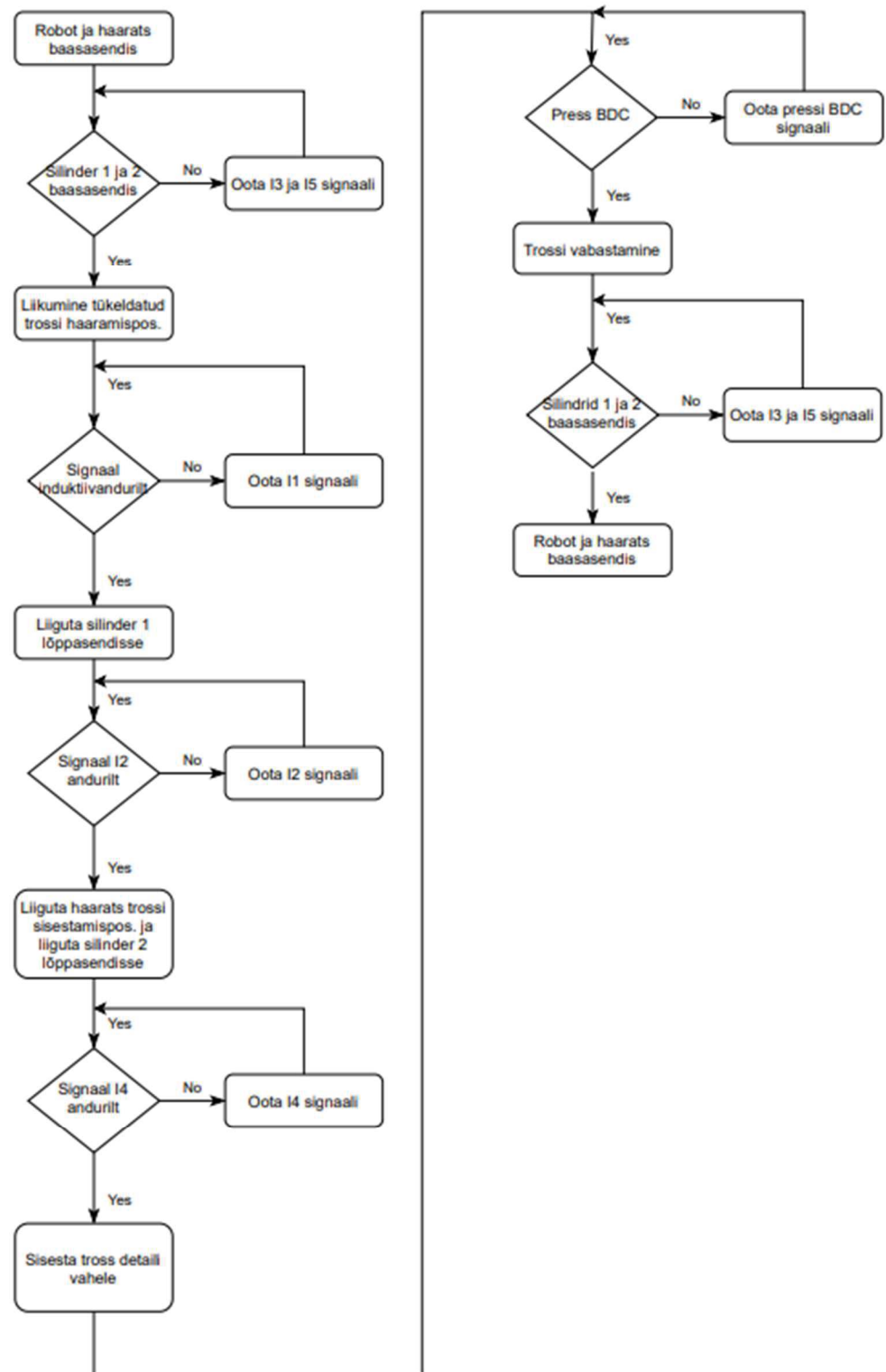
Anduri kood	Tootja	Anduri tüüp	Kogus, tk	Kinnitus
DW-AS-623-C8-001 [20]	CONTRINEX	NO	1	Eraldi poldiga
SME-8M-DS-24V-K-0.3-M8D [21]	FESTO	NO	2	Eraldi klambrile
SMT-10M-NS-24V-E-0,3-L-M8D [22]	FESTO	NO	2	Silindri soonele



Joonis 10. Andur DW-AS-623-C8-001

4.3 Automatiseerimise tsükkel

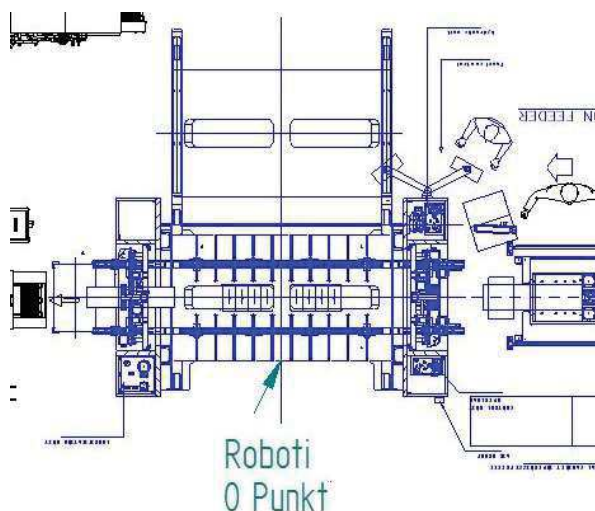
Automatiseerimise tsükkel on kujutatud voodiagrammina (Joonis 11).



Joonis 11. Töotsükli voodiagramm

4.4 Roboti liikumise simulatsioon

Simulatsiooni teostamiseks on kasutatud RoboDK tarkvara [23]. Tarkvara eelisteks on lihtne kasutajaliides, võimalus simuleerida kõiki laiemalt levinud roboteid ning lisada vabalt valitud tööriistu. Roboti liikumise simuleerimiseks määratakse programmi kordinaadid, mida roboti haarats peab läbima. 0 kordinaat (X0;Y0;Z0) on näidatud pressi töölaual (Joonis 12).



Joonis 12. Roboti 0-punkt stantsimispressi töölaual

Robot liigutab haaratsi läbi viie kordinaatpunkti mis on näidatud tabelis (Tabel 9). Kordinaatide määramisel on jälgitud, et haarats ei liiguks vastu stantsimispressi ja -rakist.

Tabel 9. Haaratsi liikumise kordinaadid

Samm	X- kordinaat	Y-Kordinaat	Z- Kordinaat
1	-310	210	150
2	-300	210	180
3	200	420	280
4	200	420	300

5. MAJANDUSLIK ANALÜÜS

Majandusliku analüüsi peatükis käsitletakse kui palju mõjutab haaratsi kasutamine detaili tootmishinda. Arvutatakse detaili hinna muutus stantsimisprotsessis ning implementeerimise jaoks vajalik investering.

5.1 Pressi tsükliaja muutus

Tsükliaja muutuse võrdluseks on võetud andmed stantsimisjaoskonnast. Tabelis (Tabel 10) on esitatud 5 sarnase rakise stantsimiskiirus ning sinna lisatud tööjõukulu. Tööjõukulude arvestamisel on arvestatud töölise brutopalgana 1800€ ning ettevõtte kulu kalendrikuus töötasule 2400€. Efektiivne tööaeg on arvestatud 7 tundi päevas ning tootmisefektiivsus 70%.

Tabel 10. Tööjõukulu arvestus

Rakise tähis	Stantsimiskiirus, tsükli/min	Pesade arv, tk	Detailide arv minutis, tk	Tööjõukulu, €/ttk
LS3713	40	2	56	5,28
LS3759	38	2	53,2	5,56
LS3762	42	2	58,8	5,10
LS3800	33	1	23,1	12,81
LS3733	27	1	18,9	15,66

Planeeritava rakise ja haaratsi kasutamisega muutuks tsükliage 25% ning tööjõukulu tuhande tüki kohta muutub vastavalt (Tabel 11).

Tabel 11. Tööjõukulu muutus

	Ilma haaratsita	Haaratsiga	Erinevus
Tootmiskogus, milj	1,7	1,7	0
Stantsimiskiirus, tsükli/min	40	30	10
Detaille minutis, tk	28	21	-7
Tööjõukulu €/ttk	10,57	14,09	3,52
Aastane tööjõukulu, €	179690	239530	-59840

5.2 Investeering haaratsi kasutamiseks.

Investeeringu jaoks on kogutud andmed AS Norma varasematest projektidest. Komponentide loetelu haaratsi implementeerimiseks on esitletud koondtabelis (Tabel 12). Projekteerimisele on arvestatud 50 töötundi. Haaratsi koostamise, roboti paigaldamise ning programmeerimise kulu ei arvestata ja teostatakse AS Norma inseneride poolt.

Tabel 12. Haaratsi implementeerimise kulud

Artikkel	Kulu, €
Projekteerimine	1000
Kuka KR10-R1100	24000
Haaratsi detailid	3000
Silindrid	400
Andurid	150
Laagrid	300
Kulumaterjalid	500
KOKKU	31850

5.3 Investeeringu põhjendus

Investeeringu põhjenduseks on analüüsitud arendusprojekti tööjõukulusid enne ja pärast roboti ning haaratsi paigaldamist. Ettevõtte tööjõukuluks ühe töötaja kohta on arvestatud 2400€ kuus. Arvestatud on aastast tootmiskogust 1,7 miljonit detaili (Tabel 13).

Tabel 13. Tööjõukulude võrdlus protsessides

Protsess	Stantsimine	Vibrotöötlus	Trossitükeldus	Koostamine	Kokku
Olemasolev voog, €	179690	11576	6749	47269	245284
Arendusprojekt, €	239530	0	0	0	239530
Erinevus, €	-59840	11576	6749	47269	5754

Investeeringu tasuvus on hinnatud tootmisprotsesside tööjõukulu baasil. Lisades tugipersonali kulu, muutub oodatav tasuvus suuremaks.

KOKKUVÕTE

Lõputöö käigus projekteeriti trossi painutamiseks ja transpordiks kõigile piirangutele sobiv haarats. Teostati piirangute analüüs robotile, stantsimispressile, protsessile ning trossile. Täidetud on haaratsi kaalule ning painutamisliikumistele esitatud nõuded. Lisaks simuleeriti roboti liikumist kasutades RoboDK tarkvara ning kinnitati tsükliaja võimalikkus.

Haaratsit disainides teostati võrdlused erinevate tootjate komponentidega ning valiti sobivaim variant. Disaini käigus valiti materjalid mis tagaksid hea töökindluse, samas tagaks haaratsile väikese massi. Mudeldamise käigus leiti lahendus trossi juhtimiseks kasutades lineaarlaagreid. Laagrite kinnitus tagab juhtelementide vaba liikumise pikki- ja ristisuunas.

Majanduslikus analüüsis hinnati, et haaratsi kasutamine vähendab stantsimiskiirust 25% ning toob ettevõttele tööjõu lisakulu 59840€. Samas leiti, et haaratsi ja roboti kasutamine võimaldab eemaldada 3 protsessi ning vähendada tööjõukulusid 65 594€ võrra. Hinnangu andmisel ei võetud arvesse protsessides olevate abimaterjalide, energia ning tugipersonali kulu.

Töö käigus arendatud haaratsit on võimalik võtta kasutusse erinevates trosskinnituse projektides. Haaratsit on lihtne muuta sobivaks teise läbimõõtuga trossi jaoks. Lisaks aitab olemasolev arendusprojekt tutvuda stantsimispresside robotiseerimise võimalustega Eesti tööstuses.

SUMMARY

The following thesis „The Design of Gripper for Wire Transportation and Installation to Wirebracket“. The aim of the thesis was to design robotic gripper for development project. Main goal was to analyse influence to stamping process and labor costs.

Thesis included analyze of restrictions from process, layout, stamped part and stamping press.

During analyze several universal robots and automation components were compared.

Design of gripper included material selection for best performance and weight balance. Description of workprocess was developed and components designed to meet restrictions from processing time and wire properties.

After design and process development, simulation of robot movement was performed with RoboDK software. Simulation program allowed to use universal robot that was chosen with attachment of designed gripper. Simulation showed cycle time, that was desired.

Economical calculations were performed to check feasibility of development project. From calculations of stamping process the robotic movement added extra labor cost. Influence from eliminating further processes made development project feasible from labor cost view.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] E.-H. Matsina, „Poolautomaatse ümarlihvpingi robotiseerimise tasuvusanalüüs,“ 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://dspace.tktk.ee/handle/20.500.12863/2092>. [Kasutatud 10 05 2021].
- [2] J. Tann, „Manipulaatori rakendamine tootmisüksusesse,“ 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://dspace.tktk.ee/handle/20.500.12863/2084>. [Kasutatud 10 05 2021].
- [3] CV Keskus, „Norma AS,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.cvkeskus.ee/norma-as-toopakumised-4487>. [Kasutatud 10 05 2021].
- [4] Invernizzi Presse di Invernizzi Maggi Laura & C. s.n.c, „5.jpg,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.invernizzi.com/img/slides_2013A/5.jpg. [Kasutatud 08 05 2021].
- [5] ABB, „ROBOTICS IRB1300,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107991A0383_pdf&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch. [Kasutatud 08 05 2021].
- [6] FANUC Europe Corporation, „CR-7iA/L,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robots/robots-datasheets-en/collaborative%20robots/datasheet-cr7ia%20l%20english.pdf?la=en>. [Kasutatud 08 05 2021].
- [7] KUKA Deutschland GmbH, „KR 10 R1100-2,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.kuka.com/event/media?itemId=DF85BA6B4B1E4D8EBFBB5EA22E9ADD44>. [Kasutatud 08 05 2021].
- [8] KUKA Deutschland GmbH, „KR AGILUS,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/kr-agilus>. [Kasutatud 08 05 2021].
- [9] Certex Hebeteknik GmbH, „Steel Wire Rope 6x7-WSC,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.certex.de/en/products/ropes/steel-wire-ropes/general-purpose-ropes/steel-wire-rope-6x7-wsc-p55118?categoryId=490663#>. [Kasutatud 07 05 2021].
- [10] HIWIN Technologies Corp, „Linear Guideway,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.hiwin.com/pdf/linear_guideways.pdf. [Kasutatud 08 05 2021].
- [11] HIWIN Corporation, „Item # MGW5C1R100ZFC, MG Series - Non-interchangeable Type,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://motioncontrolsystems.hiwin.com/configurator/mg-series-assembly>. [Kasutatud 08 05 2021].
- [12] Hiwin Technologies Corp., „MGW5C1R100ZFC,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://motioncontrolsystems.hiwin.com/item/mg-series-assembly/mg-series-assembly/mgw5c1r100zfc-2?pageFrom=pc&configToken=dTJhhkBLimFDnqqI49xleWObfTjaCF2OHJ4LLrNhWQcS4_XtS_iGF2Ddh9oNS5NyuBj0UvDHJ_chd9EvR0g%2c%2c. [Kasutatud 08 05 2021].

- [13] Uddeholm, „Alumec 89,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.uddeholm.com/app/uploads/sites/43/2017/09/alumec-89-eng_p_1910-e7.pdf. [Kasutatud 08 05 2021].
- [14] voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG, „K110DE,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.boehler-edelstahl.com/app/uploads/sites/92/2020/12/productdb/api/k110de.pdf>. [Kasutatud 08 05 2021].
- [15] Salzgitter Flachstahl GmbH, „S235JR,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationssysteme/produktinformationen/warmgewalzte_produkte/eng/S235JR.pdf. [Kasutatud 08 05 2021].
- [16] Festo AG & Co. KG, „compact cylinder DPDM-10-10-S-PA,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.festo.com/cat/et_ee/xDKI.asp?PartNo=4832117&mode=extApp&xR=DKI3WebDataSheetV1. [Kasutatud 09 05 2021].
- [17] SMC Corporation, „C(D)QS, Compact Cylinder, Single Acting, Single Rod CDQSB12-10SM,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://smc-static-resources-prd.s3.eu-central-1.amazonaws.com/products/datasheet/gen/DS_CDQSB12-10SM_et_EE.pdf. [Kasutatud 09 05 2021].
- [18] Festo AG & Co. KG, „standards-based cylinder DSNU-10-80-P-A,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.festo.com/cat/et_ee/xDKI.asp. [Kasutatud 09 05 2021].
- [19] SMC Corporation, „C(D)85, ISO Standard Cylinder,C85N10-80,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://smc-static-resources-prd.s3.eu-central-1.amazonaws.com/products/datasheet/gen/DS_C85N10-80_et_EE.pdf. [Kasutatud 08 05 2021].
- [20] Distrelec Schweiz AG, „DW-AS-623-C8-001 - Inductive Sensor 2mm PNP, Make Contact (NO), Contrinex,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elfadistrelec.ee/et/inductive-sensor-2mm-pnp-make-contact-no-contrinex-dw-as-623-c8-001/p/13757825?q=&pos=118&origPos=118&origPageSize=50&track=true>. [Kasutatud 08 05 2021].
- [21] Festo AG & Co. KG, „Proximity sensor SMT-10M-NS-24V-E-0,3-L-M8D,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.festo.com/us/en/a/download-document/datasheet/543861>. [Kasutatud 08 05 2021].
- [22] Festo AG & Co. KG, „Proximity sensor SMT-10M-NS-24V-E-0,3-L-M8D spetsifikatsioon,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.festo.com/us/en/a/download-document/datasheet/551379>. [Kasutatud 09 05 2021].
- [23] RoboDK Inc., „Simulate Robot Applications,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://robodk.com/>. [Kasutatud 08 05 2021].

LISADE LOETELU

Lisa 1. Pneumaatika- ja elektriskeem.

Lisa 2. Ganti graafik haaratsi töötsüklile.

Lisa 3. Koostejoonis 100.000.001

Lisa 4. Joonis 100.010.001

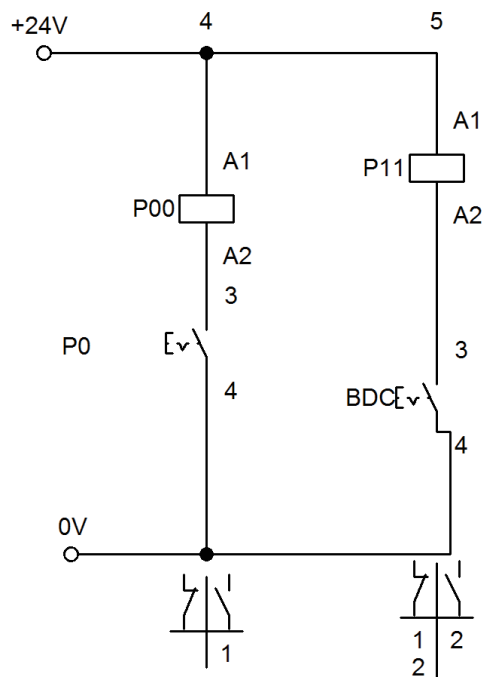
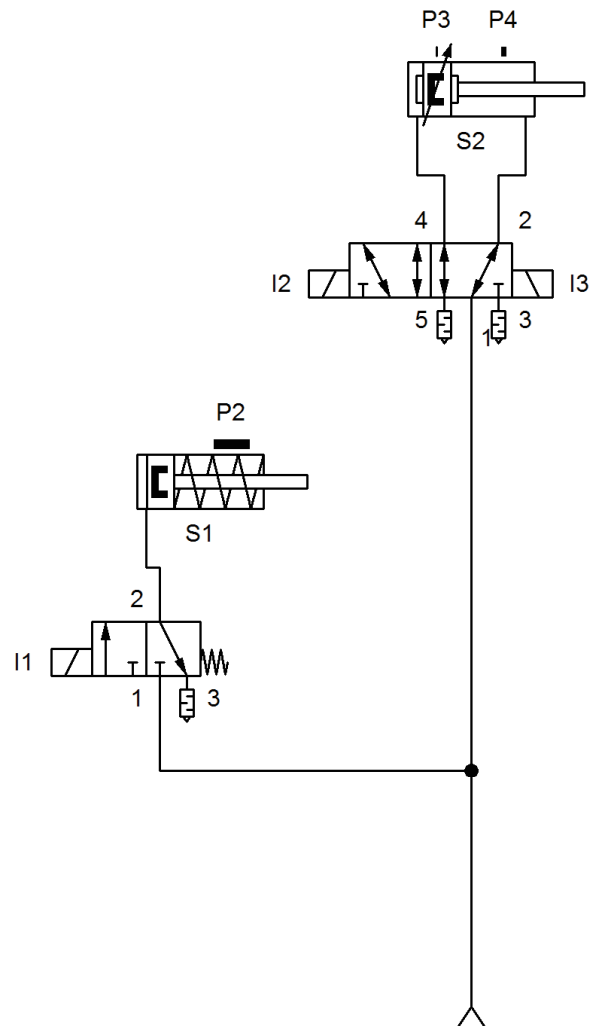
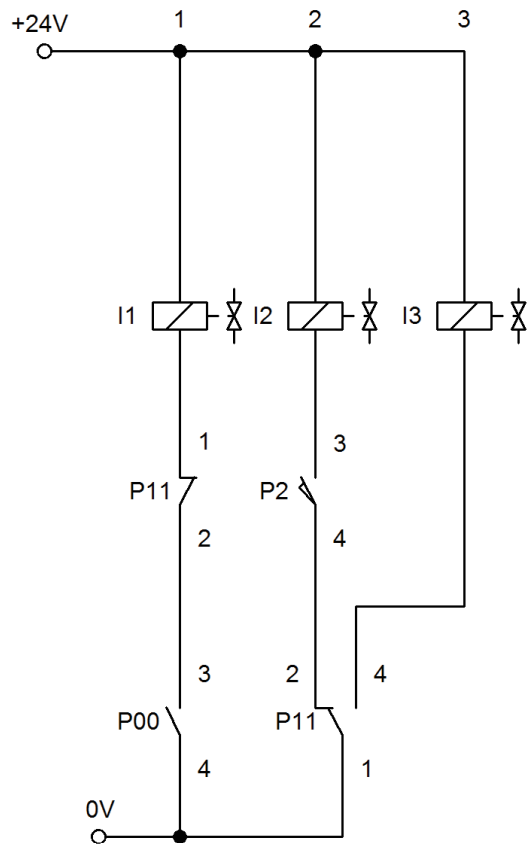
Lisa 5. Joonis 100.010.002

Lisa 6. Joonis 100.010.003

Lisa 7. Joonis 100.020.002

Lisa 8. Joonis 100.030.004

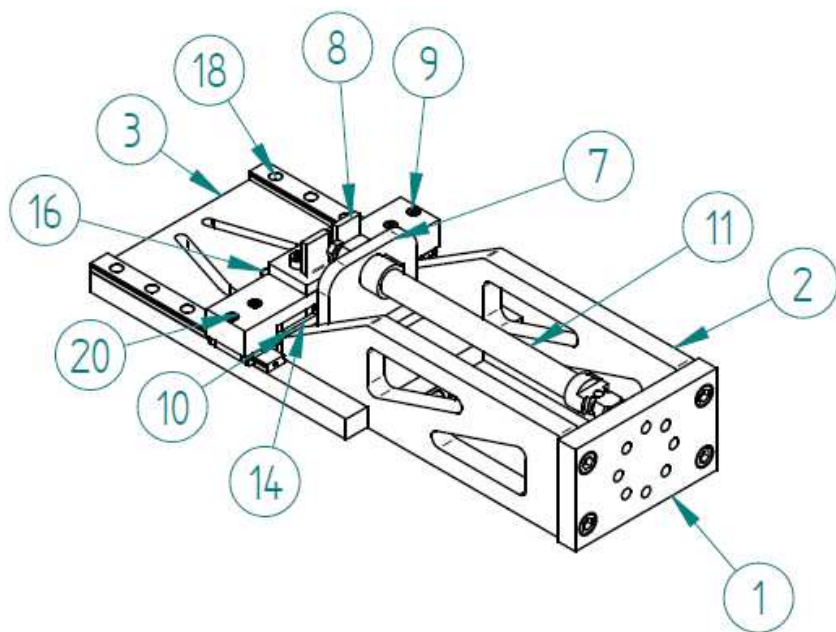
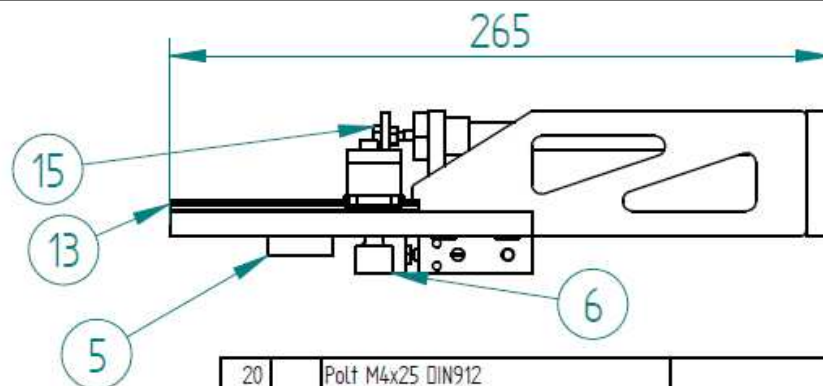
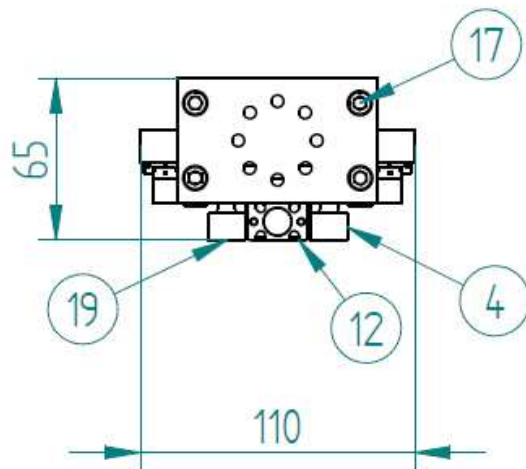
Lisa 1. Pneumaatika- ja elektriskeem



100

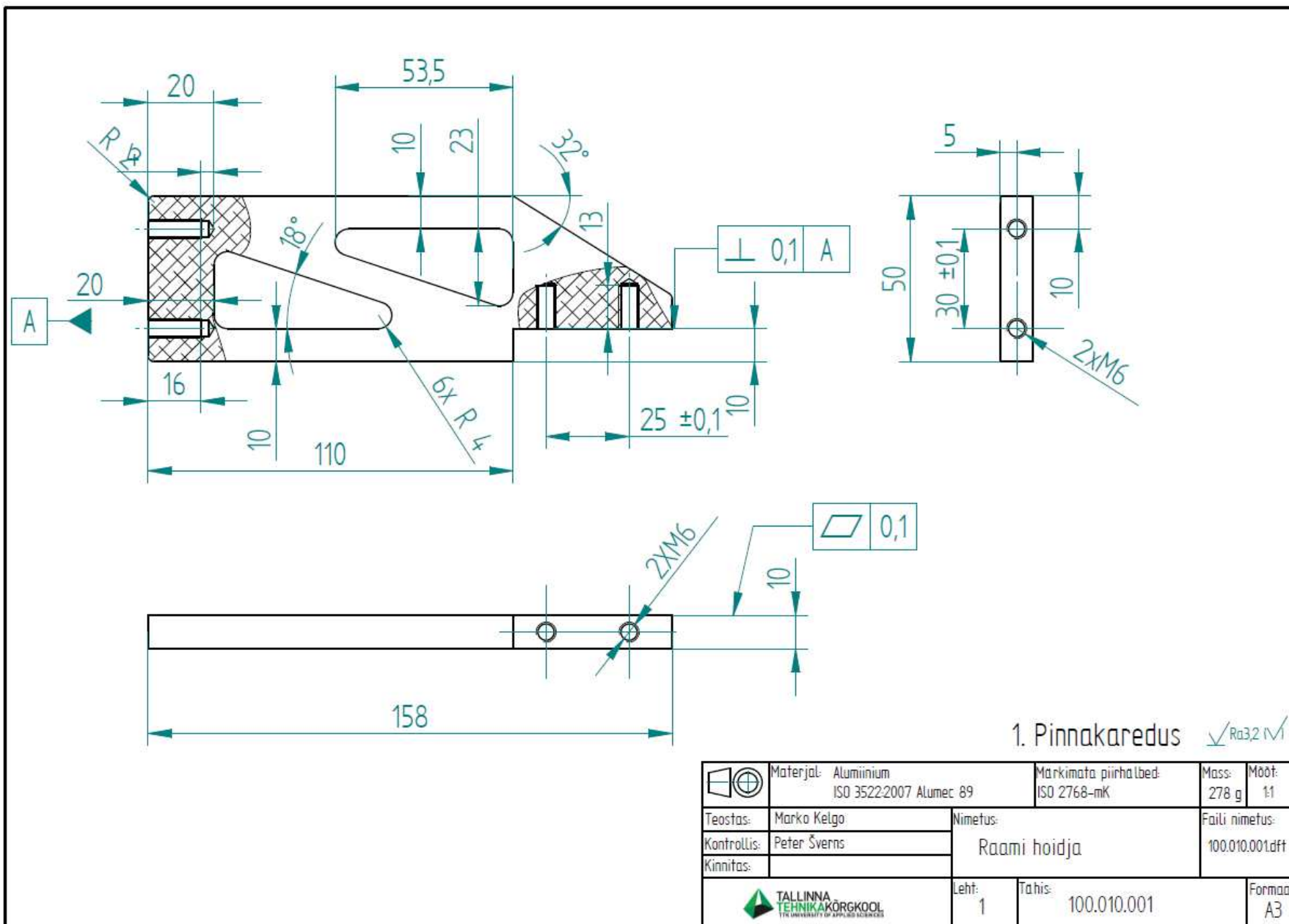
[illegible]

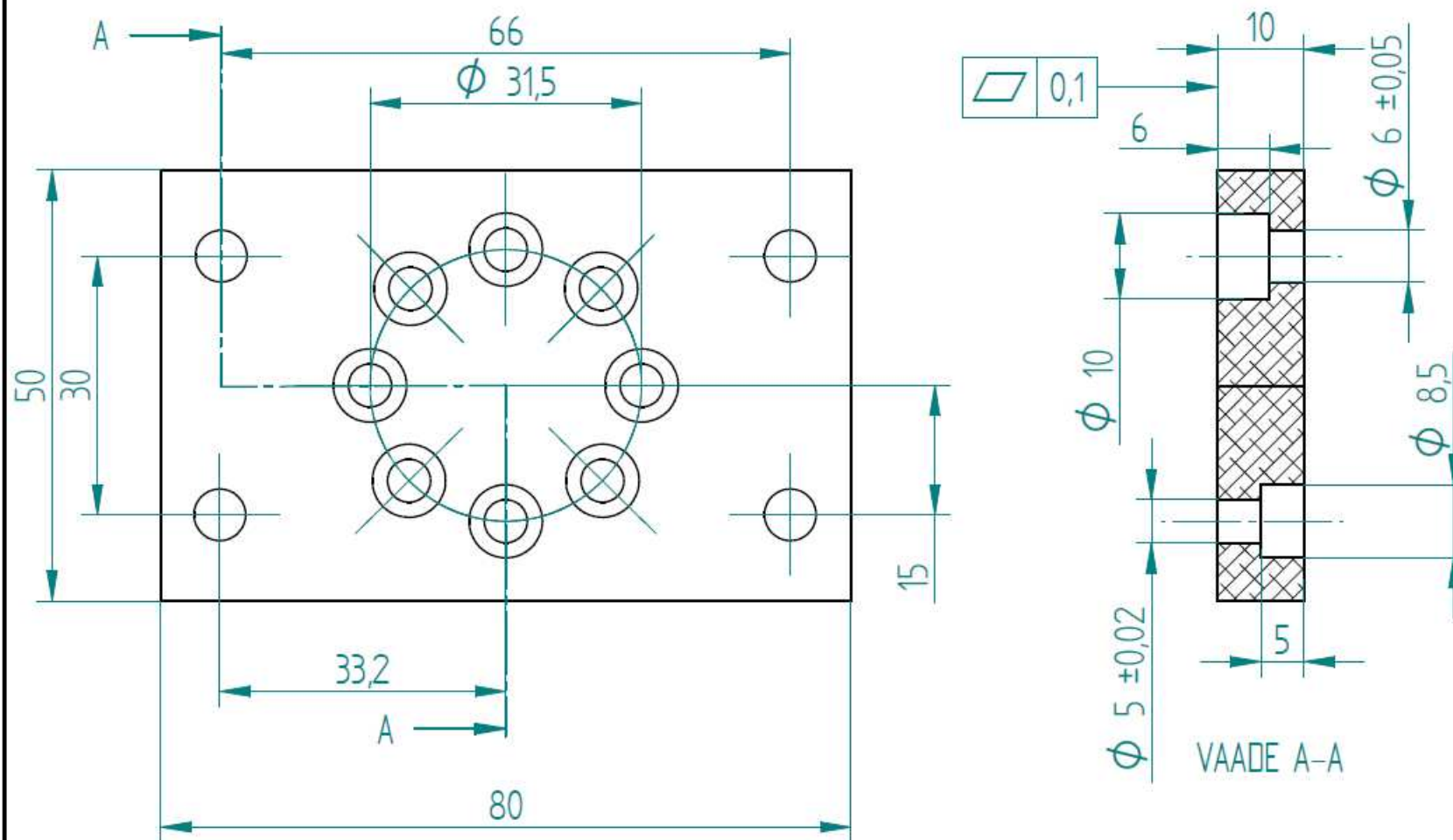
Lisa 3. Koostejoonis 100.000.001



20	Polt M4x25 DIN912		6	
19	Polt M3x30 DIN912		2	
18	Polt M3x12 DIN912		15	
17	Polt M6x16 DIN912		8	
16	Polt M8x10 DIN912		1	
15	Mutter M4 DIN EN24032		1	
14	Lineaarlaager HiWin MGW05C1R73ZFC		1	
13	Lineaarlaager HiWin MGW05C1R100ZFC		2	
12	Silinder FESTO DPDM-10-10-S-PA		1	
11	Silinder FESTO DSNU-10-80-P-A		1	
10	Laagri kinnitus, S235JR	100.030.003	2	
9	Laagri hoidja, S235JR	100.030.001	1	
8	Laagri hoidja kinnitus, S235JR	100.030.002	1	
7	Silindri hoidja, S235JR	100.020.003	1	
6	Suruja, K110	100.020.002	1	
5	Tugi, K110	100.020.001	1	
4	Juhik, K110	100.030.004	2	
3	Alusplaat, Alumec 89	100.010.003	1	
2	Raami hoidja, Alumec 89	100.010.001	2	
1	Roboti kinnitus, Alumec 89	100.010.002	1	

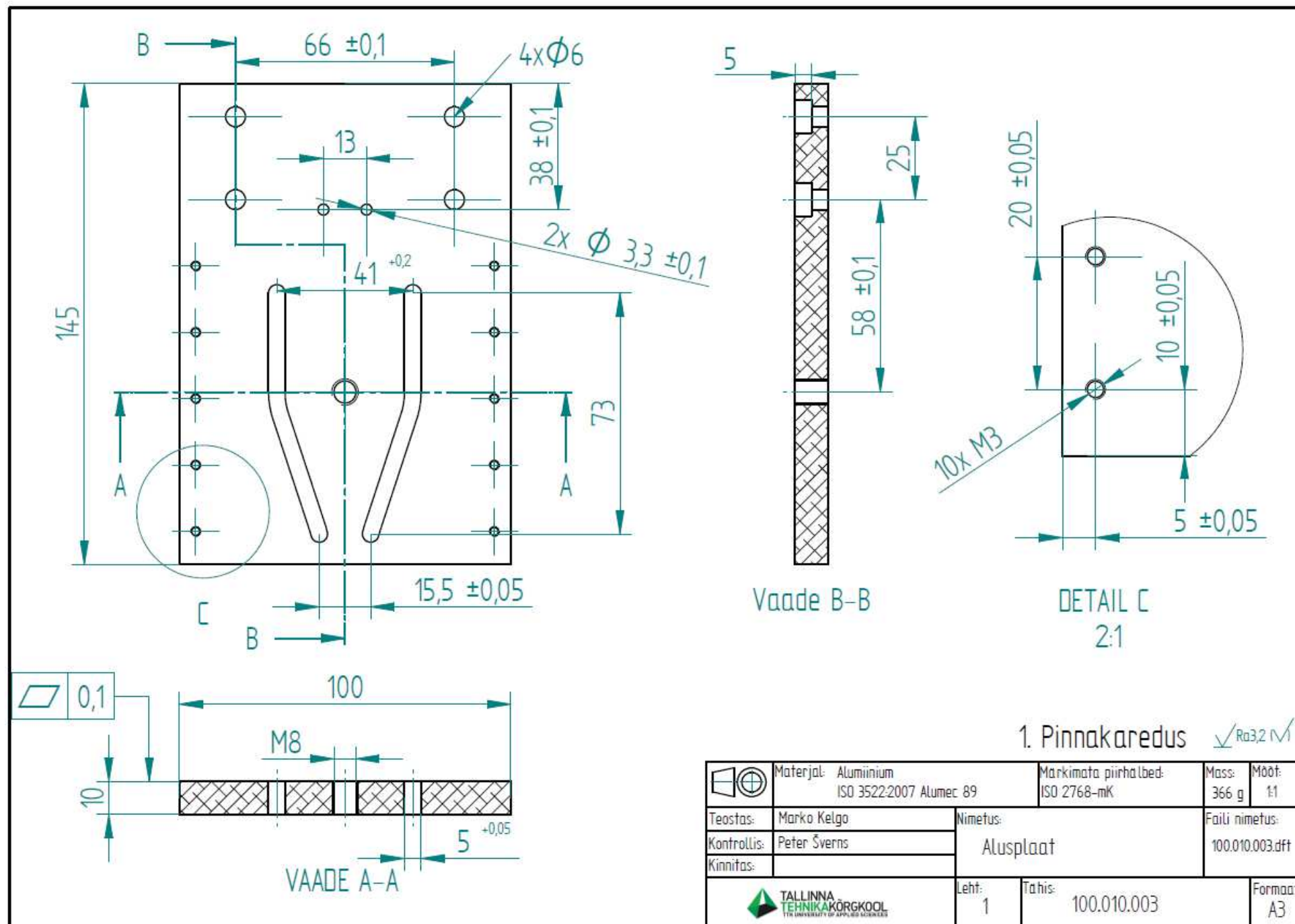
Osa	Vali	Nimetus, materjal	Tahis	Hulk	Markus
		Materjal:	Markimata piirhalbed:	Mass:	Moot: 1:2
Teostas:	Marko Kelgo	Nimetus:		Faili nimetus:	
Kontrollis:	Peter Sverns	Trosshaaratsi koost		100.000.001.dft	
Kinnitas:					
			Leht: 1	Tahis: 100.000.001	Formaat: A3



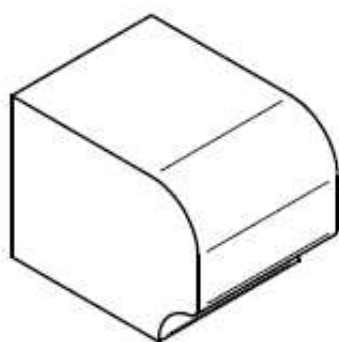
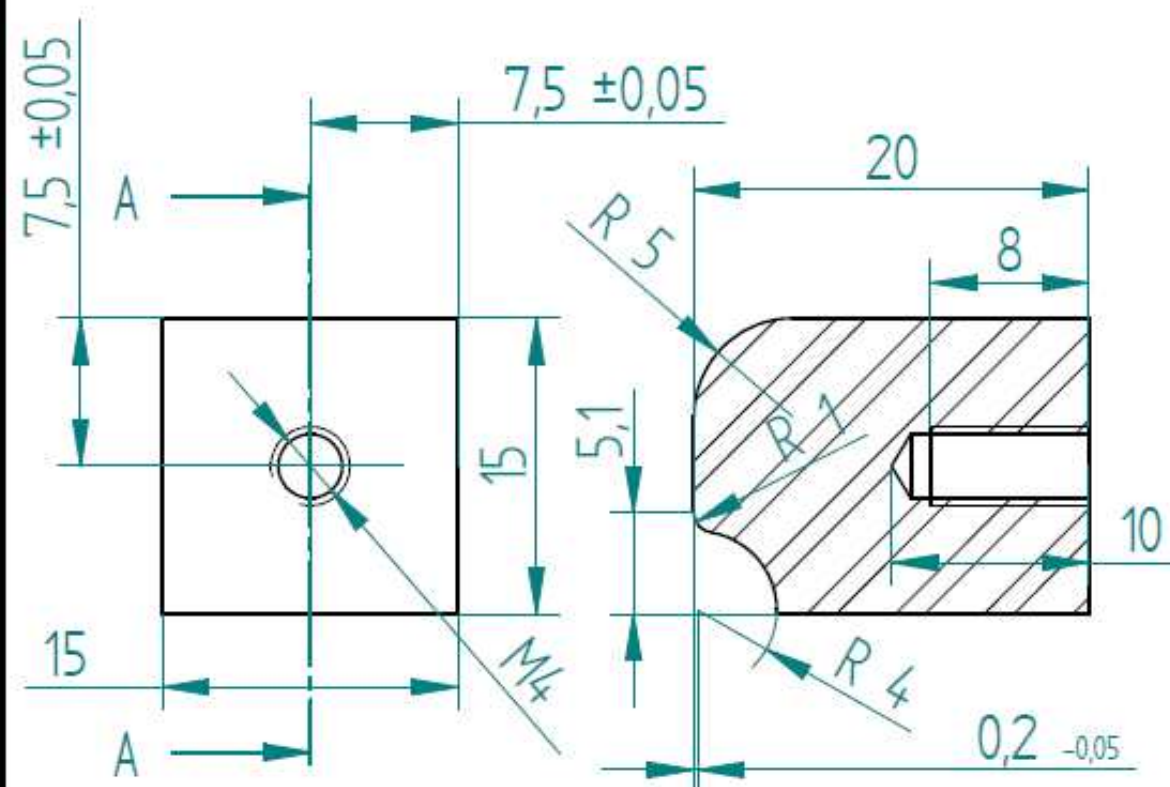


1. Pinnakaredus $\sqrt{Ra6,3}$ ✓

	Materjal: Alumiinium ISO 3522:2007 Alumec 89	Markimata piirhalbed: ISO 2768-mK	Mass: 98 g	Mõõt: 2:1
	Teostas: Marko Kelga	Nimetus: Roboti kinnitus	Faili nimetus: 100.010.002.dft	
Kontrollis: Peter Šverns				
Kinnitas:				
		Leht: 1	Tahis: 100.010.002	Formaat: A3



Lisa 7. Joonis 100.020.002



1. Pinnakaredus

✓ Ra3,2 ✓

	Materjal: Teras EN ISO 4957 K110	Markimata piirhalbed: ISO 2768-mK	Mass: 32 g	Mõõt: 3:1
Teostas:	Marko Kelgo	Nimetus: Suruja	Faili nimetus: 100.020.002.dft	
Kontrollis:	Peter Šverns			
Kinnitas:				
		Leht: 1	Tahis: 100.020.002	Formaat: A4

Lisa 8. Joonis 100.030.004

