



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

KEEVITUSROBOTI JUURUTAMINE ETTEVÖTTES CUTFORM OÜ

IMPLEMENTATION OF WELDING ROBOT AT CUTFORM OÜ

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Vjatsšeslav Ševeljonkov

Üliõpilaskood: 183770MATM

Juhendaja: Martinš Sarkans, dotsent

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 202.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 202.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Vjatsšeslav Ševeljonkov (sünnikuupäev: 12.06.1990)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Keevitusroboti juurutamine ettevõttes CUTform OÜ,

mille juhendaja on Martinš Sarkans,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Vjatšeslav Ševeljonkov, 183770MATM
Õppekava, peeriala: MATM02/18 – Tootarendus ja tootmistehnika, tootmistehnika
Juhendaja(d): dotsent, Martinš Sarkanš, (+372)6203267
Konsultant: Gary Kaljuvee, tegevjuht
CUTform OÜ, (+372)6080010, info@cutform.ee

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Keevitusroboti juurutamine ettevõttes CUTform OÜ

(inglise keeles) Implementation of welding robot at CUTform OÜ

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Juurutatava keevitusrobotiga keevitatavate toodete valik
2. Rakise projekteerimine
3. Roboti programmeerimine
4. Majandusliku tasuvuse hindamine

Lõputöö etapid ja ajakava:

| Nr | Ülesande kirjeldus | Tähtaeg |
|----|---|------------|
| 1. | Keevitusrobotiga keevitatavate potentsiaalsete toodete ülevaade | 06.03.2020 |
| 2. | Rakise projekteerimine | 27.03.2020 |
| 3. | Roboti programmeerimine tarkvaras RobotStudio | 24.04.2020 |
| 4. | Majandusliku tasuvuse hindamine | 01.05.2020 |

Töö keel: **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....202....a

Üliõpilane: ".....".....202....a
/allkiri/

Juhendaja: ".....".....202....a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....202....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....202....a
/allkiri/

SISUKORD

| | |
|---|----|
| EESSÕNA | 7 |
| SISSEJUHATUS | 8 |
| 1. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS | 11 |
| 2. KEEVITUSE ROBOTISEERIMISE EESMÄRGID..... | 12 |
| 3. JUURUTATAVA KEEVITUSJAAMA ISELOOMUSTUS | 13 |
| 3.1 Tööstusrobot ABB IRB 2600 | 13 |
| 3.2 Positsioneerimisseade..... | 14 |
| 3.3 Liikumisplatvorm ABB RTT | 15 |
| 3.4 Robotkeevitusjaama asendiplaan | 16 |
| 4. JUURUTATAVATE TOODETE ÜLEVAADE | 17 |
| 4.1 Tooted 29007420-R5 ja 29007445-R5 | 17 |
| 4.2 Toode 29039242-R0..... | 18 |
| 4.3 Tooted 3020.1231-RH ja 3020.1232-RH | 19 |
| 4.4 Tooted 3020.0370-RF, 3020.0957-R0 ja 3020.0958-R0 | 19 |
| 4.5 Toode 3020.0372-RF | 20 |
| 4.6 Toode 3020.1234-RD | 21 |
| 4.7 Vaadeldavate toodete tootmismahud..... | 21 |
| 5. KÄSIKEEVITUSTEHNOLOGIA KIRJELDUS..... | 22 |
| 5.1 Tooted 29007420-R5 ja 29007445-R5 | 22 |
| 5.2 Toode 29039242-R0..... | 23 |
| 5.3 Toode 3020.1234-RD | 25 |
| 5.4 Tooted 3020.1231-RH, 3020.1232-RH, 3020.0370-RF, 3020.0372- RF, 3020.0957-R0 ja 3020.0958-R0 | 25 |
| 5.5 Normaegade koondtabel | 26 |
| 6. ROBOTKEEVITUSJAAMA KOORMATUSE ANALÜÜS..... | 27 |
| 6.1 Juurutatavate toodete eeldatavad robotkeevituse kiirused | 27 |
| 6.2 Juurutatavate toodete keevitustsüklid robotkeevitusel | 32 |
| 6.3 Juurutatava robotkeevitusjaama koormatus | 33 |
| 7. ROBOTSÜSTEEMI LOOMINE ROBOTSTUDIOS..... | 35 |

| | |
|--|----|
| 7.1 Virtuaalse robotsüsteemi loomine | 35 |
| 8. RAKISTE PROJEKTEERIMINE..... | 37 |
| 8.1 Rakis toodetele 3020.1231-RH ja 3020.1232-RH | 38 |
| 8.1.1 Toote asendi ja paigutuse valik | 38 |
| 8.1.2 Toote paigaldusskeem rakisesse | 38 |
| 8.1.4 Rakise konstruktsiooni kirjeldus | 39 |
| 8.1.5 Raami tugevusarvutus | 41 |
| 8.1.6 Rakise kinnitusjõu kontroll | 41 |
| 8.1.7 Juurdepääsetavuse kontroll | 42 |
| 9. ROBOTI PROGRAMEERIMINE | 43 |
| 9.1 Programmi loomine tootele 3020.1231-RH | 43 |
| 10. MAJANDUSLIKUD ARVUTUSED..... | 48 |
| 10.1 Keevituskulude arvutamine toote 29007420-R5 näitel..... | 48 |
| 10.2 Juurutatavate toodete keevituskulude koondtabel | 54 |
| 10.3 Majandusliku tasuvuse arvutus | 55 |
| KOKKUVÕTE | 56 |
| SUMMARY..... | 58 |
| KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU | 60 |
| Lisa 1 Loodud programmi RAPID kood..... | 61 |
| GRAAFILINE OSA..... | 72 |
| Skeem. Tootmishoone asendiplaan | 72 |
| Illustratsioon. Virtuaalne robotsüsteem | 73 |
| Joonis 1. Robotkeevitusrakise koostejoonis..... | 74 |
| Joonis 2. Alamkoostu "Raam" koostejoonis | 75 |
| Joonis 3. Alamkoostu "L-tugi" koostejoonis..... | 76 |
| Joonis 4. Alamkoostu "Külgtugi" koostejoonis..... | 77 |
| Joonis 5. Alamkoostu "Kinniti post" koostejoonis | 78 |

EESSÕNA

Käesolev lõputöö teema oli sõnastatud ettevõtte CUTform OÜ algatusel. Lõputöö teema kujunes seoses uue robotkeevitusjaama tootmisse juurutamisega.

Autor avaldab tänu lõputöö juhendajale dotsendile Martinš Sarkansile ja ettevõttepoolsele konsultandile CUTform OÜ tegevjuhile Gary Kaljuveele.

SISSEJUHATUS

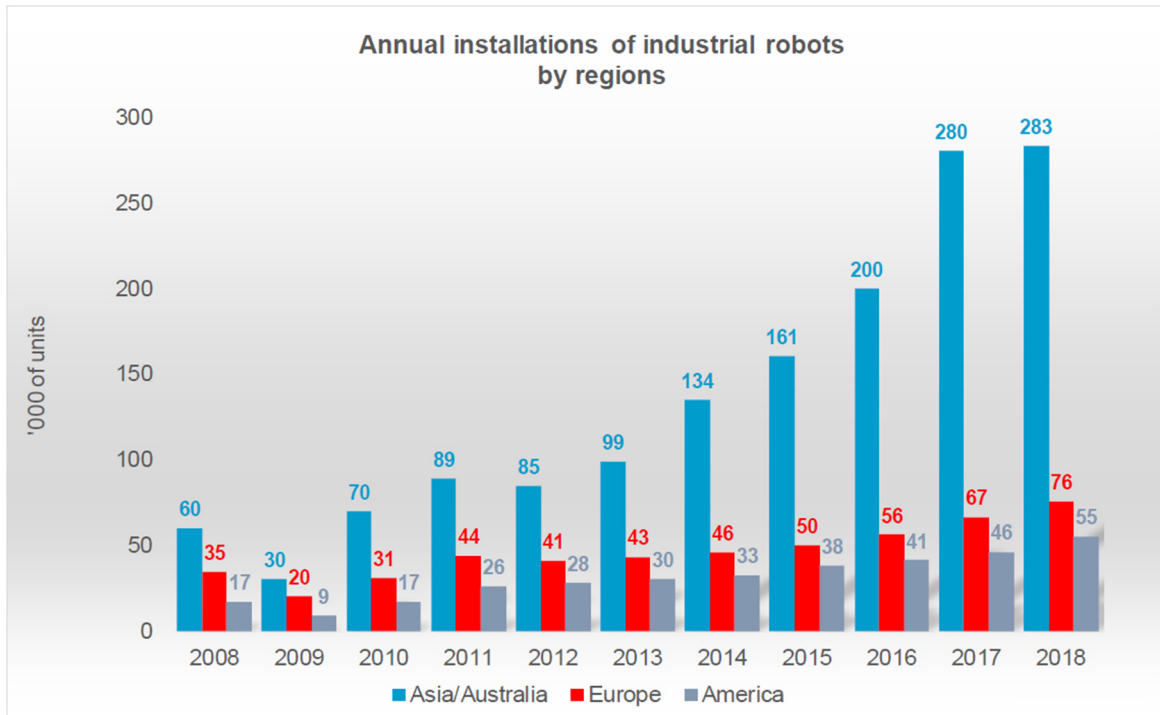
Masina-, metalli- ja aparaaditööstus on strateegiline tööstusharu, millel on Euroopas juhtpositsioon. See on suure lisandväärtusega ja teadmispõhine tööstusharu, mis varustab muid majandusvaldkondi mitmesuguste seadmete ja mehhanismide, tootmissüsteemide ja toodete, vajalike tehnoloogiate ja eriteadmistega. Masinaehitus annab olulise panuse ka jätkusuutlikku arengusse tänu uute tehnoloogiate ja nüüdisaegsete seadmete pidevale evitamisele erinevates tööstusharudes, sest võimaldab tõhusamalt toota ning eraldada seeläbi ressursside kasutamist majanduskasvust [1: 13].

Eesti Statistika Ameti andmete järgi, 2018. aastal metallitööstuses oli hõivatud 16 800 inimest, mis koostas 13,6% töötlevas tööstuses hõivatud inimeste arvust ja 2,5% kogu riigi töötajaskonnast. Metalltoodete eksport koosnes 2018. aastal 8% Eesti päritolu kaupade ekspordist.

Metallitööstuse oluliseks tegevusalaks on metallkonstruktsioonide valmistamine, mis tihtipeale hõlmab keevitustöid. Keevitustööde maht maailmas kasvab, seda peamiselt arengumaades. Kuid ka Euroopas püsib keevitustööde vajadus. Kasvab metallkonstruktsioonide kasutamine ehitustööstuses. Tuule- ja päikeseenergia sektori kasvuga kaasneb ka metallkonstruktsioonide vajadus [1: 241].

Seoses keevitustööde mahu kasvuga kasvab ka vajadus keevitusprotsesside robotiseerimises. Järjest rohkem tööstusettevõtteid juurutab tootmisesse tööstusroboteid – nad tunnustavad, et see on vajalik investeering ettevõtte konkurentsivõime säilitamiseks. Konkurentsivõime ei tähenda ainult konkurentsivõimelist hinda, kuid ka toodete kvaliteedi- ja tarnekindlust.

Robotiseeritud töökohtade arv tööstuses pidevalt kasvab. Rahvusvahelise robotika föderatsiooni andmetel paigaldatud tööstusrobotite arv maailmas aastal 2019 suurenes 6% võrra ja koosnes ligikaudu 2,5 miljonit ühikut. Tööstusrobotite kasutusele võtmisega on kõige kaugemale jõudnud Hiina, Jaapan, USA, Korea Vabariik ja Saksamaa. Need riigid moodustavad 74% kogu tööstusrobotite paigaldustest. Tööstusrobotite paigaldused suuruselt teisel tööstusrobotite turul, Euroopas, suurenesid aastal 2019 14% võrra, 75 560 ühikuni. Aastane keskmine tööstusrobotite arvu juurdekasv Euroopas aastatel 2013-2018 oli 12%.



Joonis 1.1 Tööstusrobotite paigaldused aastate ja regioonide kaupa [2]

Kõige suurem tööstusrobotite rakendusvaldkond on endiselt autotööstus, kus tänapäeval kasutatakse umbes 30% kogu tööstusrobotite arvust. Metall- ja masinatööstuses kasutatakse umbes 10% maailmas paigaldatud tööstusrobotite arvust.

Tehnoloogia arenguga tänapäevased tootmissüsteemid muutuvad keerukamaks, mis võimaldab valmistada keerukamaid, suurema lisandväärtusega tooteid. Kaasaegsed tootmisettevõtted, mis haldavad neid tootmissüsteeme, peavad hakkama saama maailma majandusliku olukorraga. Globaliseerumise tulemusena vähearenenud riigid nagu Hiina, India ja Mehhiko on muutunud tööstuse olulisteks tegijateks nende arvuka elanikkonna ja madalate tööjõukulude tõttu [3: 2].

Eesti ettevõtete jaoks eelöeldu tähendab seda, et konkurentsipüsimiseks on ainuvõimalik tee suurema lisandväärtusega ja keerukamate toodete valmistamine, mis eeldab keerukamaid ja enamautomatiseeritud tootmissüsteeme. Tööstusrobotite maksumuse vähenemine, robotiseerimise areng paindlikute ja kergesti ümberkonfigureeritavate töökohtade loomise suunas ning tööstusrobotite programmeerimise lihtsustamine muutub tootmisprotsesside robotiseerimise ideed üha rohkem atraktiivsemaks ka väikse ja keskmise suurusega ettevõtete jaoks [4: 7].

Euroopas on robotiseerimisel kahtlemata ka sotsiaal-poliitiline dimensioon. Nimelt ühelt poolt ühiskond vananeb kiiresti, töökohti tuleks aga Euroopa konkurentsivõime

säilitamiseks juurde tekitada. Teisalt noored, kes on kasvanud heaoluühiskonnas, pole eriti vaimustatud rutiinsest tootmistööst, eriti veel juhul kui see ei pruugi olla ka väga ergonoomiline või on suisa tervisele kahjulik [4: 7].

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on keevitusroboti juurutamine metallitööstusettevõttes CUTform OÜ. Järgnevates peatükides autor tutvustab lugejat vaadeldava ettevõtte ja selle keevitusprotsesside robotiseerimise eesmärkidega. Autor kirjeldab juurutatava keevitusjaama, tooted, mis kavatsetakse üleviia robotkeevitamisele, ning kaardistab nende toodete praeguse käsikeevitustehnoloogia. Edasistes peatükides autor kirjeldab rakise projekteerimist ja robotsüsteemi loomist ning keevitusroboti programmeerimist tarkvaras RobotStudio. Viimase sammuna autor võrdleb käsikeevituse ja robotkeevituse tehnoloogia majanduslikke näitajad ning hindab investeringute majanduslikku tasuvust.

1. ETTEVÖTTE TUTVUSTUS

CUTform OÜ on erakapitalil põhinev ettevõtte, mis oli asutatud 2011. aastal. Ettevõtte omab 5200 m² tootmispinda, mis asub Rae vallas Jüri tehнопargis. Peamisteks tegevusaladeks on terasest ja värvilistest metallidest konstruktsioonide tootmine ja metalltoodete mehaaniline töötlemine allhanketöö korras. Peamised kliendid on tuuleenergeetika sektoris tegutsevad ettevõtted. Aastast 2018 CUTform OÜ kuulub taani kontserni Sjølund Group.

2019. aastal ettevõttes oli tööl 80-100 inimest ja ettevõtte aastakäibe koosnes 12 miljonit eurot. 2019. aastal ettevõtte töötles 2500 tonni terast.

CUTform OÜ kaasaegne seadmeпарк võimaldab pakkuda oma klientidele selliseid tootmisteenusi nagu lehtmatali laserlõikus ja painutamine, puurimine ja keermestamine, keevitamine, treimine ja freesimine.

CUTform OÜ on Eesti Masinatööstuse Liidu liige aastast 2015. Ettevõttes kehtivad kvaliteedi- ja keskkonnajuhtimise standardid ISO 9001:2015 ja ISO 14001:2015 vastavalt. Metallkonstruktsioonide keevitamine ettevõttes teostatakse vastavalt keevitustööde kvaliteedisüsteemi standardile EN-ISO 3834:2005. Aastas 2019, seoses plaanidega siseneda ehitustoodete turule, ettevõtte juurutas teras- ja alumiiniumkonstruktsioonide valmistamise standardi EN 1090-2:2018.

2. KEEVITUSE ROBOTISEERIMISE EESMÄRGID

Tööstusroboti üks varasemaid paigaldusi oli 1961. aastal metalli valamise operatsioonis hõivatud tööstusrobot. Metalli valamise töökeskkond kõrge temperatuuri ja eralduvate aurude tõttu on ohtlik inimese jaoks ja oli loogiline asendada inimest robotiga antud operatsioonis [3: 229].

Tööd metallitööstuses tihtipeale saab kirjeldada järgmiste karakteristikutega: ebatervislik töökeskkond, tööülesannete rutiinsus, töötamine sundasendites, raskuste teisaldamine, töö vahetustega jne. Need töötaja tervisele mõjutavad faktorid soodustavad inimese asendamist tööstusrobotiga.

Sarnaselt metalli valamise operatsioonidega, metallide keevitamisel on tegemist kõrge temperatuuri ja eralduvate aurude ning lisaks ka kõrge elektrivooluga, mis teeb keevitusprotsessid kahjulikud ja ohtlikud keevitaja tervisele. Kuid ohutu töökeskkonna loomine ei ole ainus eesmärk tootmisprotsesside robotiseerimiseks. Nüüdisaegse majandussüsteemi raames tuleb tõdeda, et peamiseks eesmärgiks on tootlikkuse suurendamine ja tootmiskulude vähendamine.

Keeruliste, kõrgendatud nõuetega keevisõimbluste suhtes metallkonstruktsioonide valmistamine nõuab kõrgkvalifikatsiooniga keevijataid. Vajadus kõrge kvalifikatsiooniga keevitajate värbamise järele sunnib tööandjaid kulutama järjest suuremaid summasid palgafondile. Samas keevitajate kvalifikatsioon vajab tõendamist sertifitseerimise teel, millega on seotud teatud kulud ettevõttele.

Hetkeline olukord oskustöölise saadavusega tööstuse sektoris Eesti tööjõuturul, oskustöölise ja spetsialistide mobiilsus ja voolavus võib seada ohtusid ka tootmisettevõtte tarneplaanidele.

Nagu oli mainitud ettevõtte tutvustuses, ettevõtte CUTform OÜ üheks tegevusalaks on metallkonstruktsioonide valmistamine ning keevitusprotsessid omavad suurt osatähtsust ettevõttes. Oma konkurentsivõime säilitamiseks ettevõtte peab oluliseks suurendada keevitusoperatsioonide tõhusust, vähendada mittetootlikku aega ning tööjõukulusid, tagades toodete kõrgkvaliteeti ja tarnekindlust.

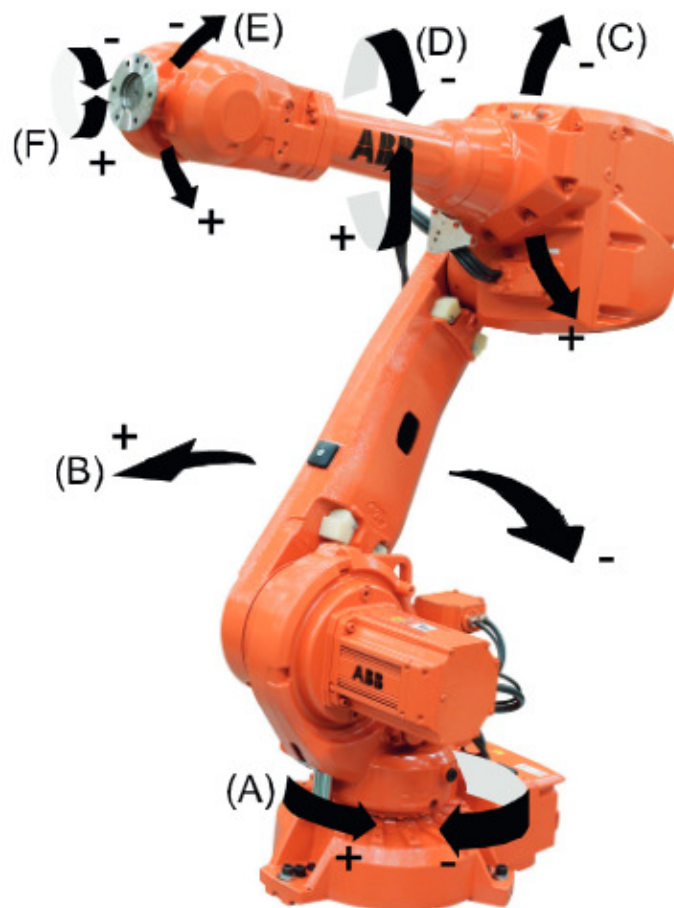
Keevitustööde robotiseerimine võimaldab ettevõttel kindlustada tööjõu puudusest tingitud riske ja saavutada vajalikku tootlikkust, kuid osutub otstarbeliseks ainult teatud tingimustel, millede väljaselgitamine nõuab põhjalikku eeltööd.

3. JUURUTATAVA KEEVITUSJAAMA ISELOOMUSTUS

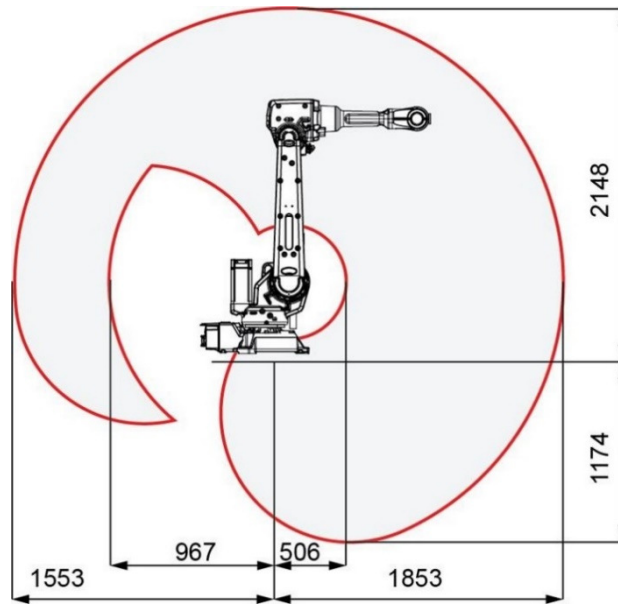
Antud peatükis annab ülevaadet juurutatavat keevitusjaama kuuluvatest seadmetest. Juurutatav keevitusjaam koosneb tööstusrobotist ABB IRB 2600-12/1.85, kahest positsioneerimisest, liikumisplatvormist ABB RTT, kontrollerist ABB IRC5 ja keevitusseadmest Fronius TransPuls Synergic 5000 CMT.

3.1 Tööstusrobot ABB IRB 2600

Juurutatavat keevitusjaama kuulub tööstusrobot ABB IRB 2600-12/1.85 kandevõimega 12 kg ja haardeulatusega 1,85 meetrit. Antud tööstusroboti positsioneerimistäpsus on 0,04 mm ja programmeeritud trajektoori korratavus on 0,16 mm. IRB 2600 seeria tööstusrobotitel on 6 telge. Telgede liikumisulatused ja liikumiskiirused on toodud tabelis 3.1.



Joonis 3.1.1 Tööstusrobot ABB IRB 2600 [5]



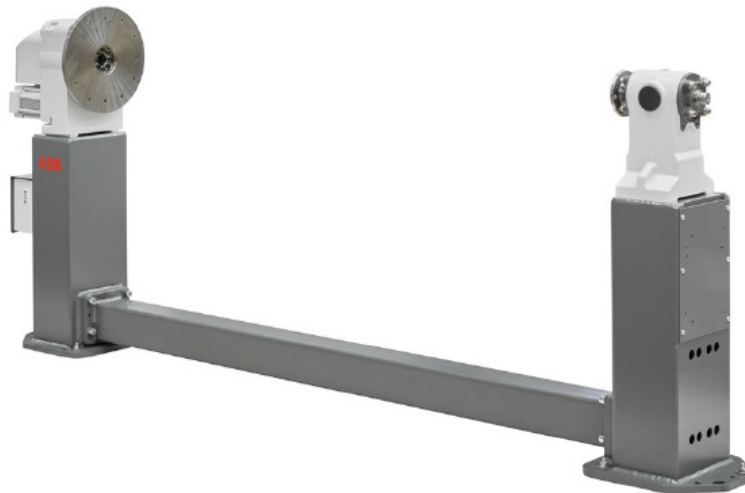
Joonis 3.1.2 Tööstusroboti IRB 2600-12/1.85 tööala ulatus [5]

Tabel 3.1 Telgede liikumisulatused ja liikumiskiirused [5]

| Telg | Liikumisulatus | Liikumiskiirus |
|-------|------------------|----------------|
| 1 (A) | +180° kuni -180° | 175 °/s |
| 2 (B) | +155° kuni -95° | 175 °/s |
| 3 (C) | +75° kuni -180° | 175 °/s |
| 4 (D) | +400° kuni -400° | 360 °/s |
| 5 (E) | +120° kuni -120° | 360 °/s |
| 6 (F) | +400° kuni -400° | 500 °/s |

3.2 Positsioneerimisseade

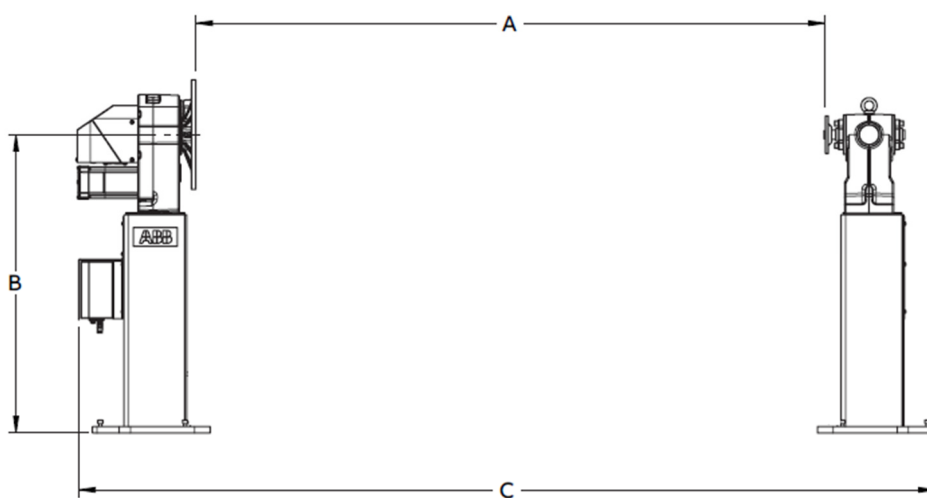
Juurutatav keevitusjaam on varustatud kahe üheteljelise positsioneerimisseadmega. Antud seade on ABB IRBP-L tüüpi positsioneer, kuid tal on ebastandardne pikkus ja puudub tugitala pöördseadmete vahel.



Joonis 3.2.1 Üheteljeline positsioneerimisseade ABB IRBP-L [6]

Pöördseadme kandevõime on 2000 kg, millega tuleb arvestada tehnoloogia projekteerimisel – keevitavate toodete, töölaua ja rakise summaarne mass ei tohi ületada antud piirangut. Pöördseadmetele paigaldatud töölaua mõõtmed on 5400x1200 mm.

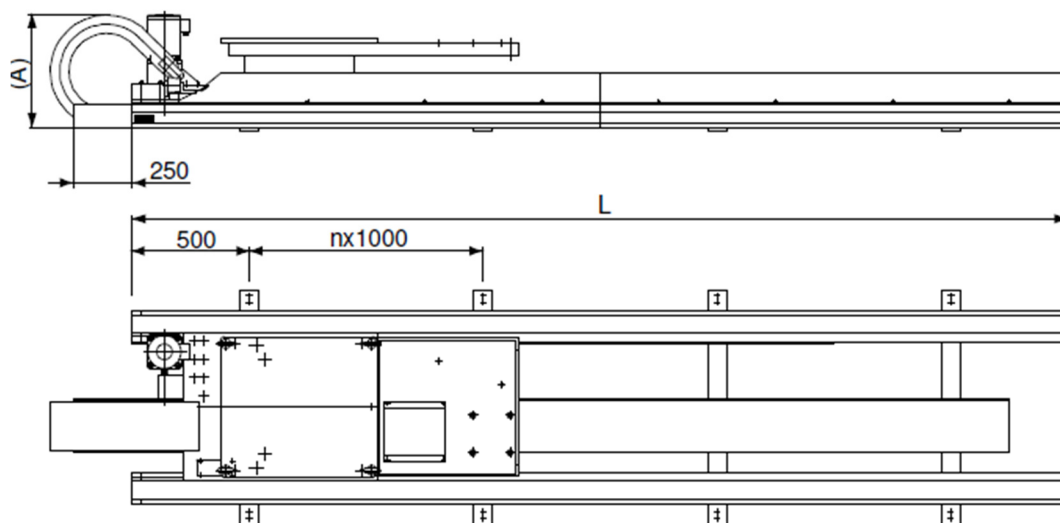
Teise positsioneerimisseadme olemasolu on mõeldud selleks, et sel ajal kui robot keevitab ühel töölaual, operaator saaks võtta keevitatud tooted töölaualt maha ja ettevalmistada järgmised detailid keevitamiseks.



Joonis 3.2.2 Positsioneerimisseadme mõõtmed, A – 5400 mm, B – 950 mm, C – 6129 mm

3.3 Liikumisplatvorm ABB RTT

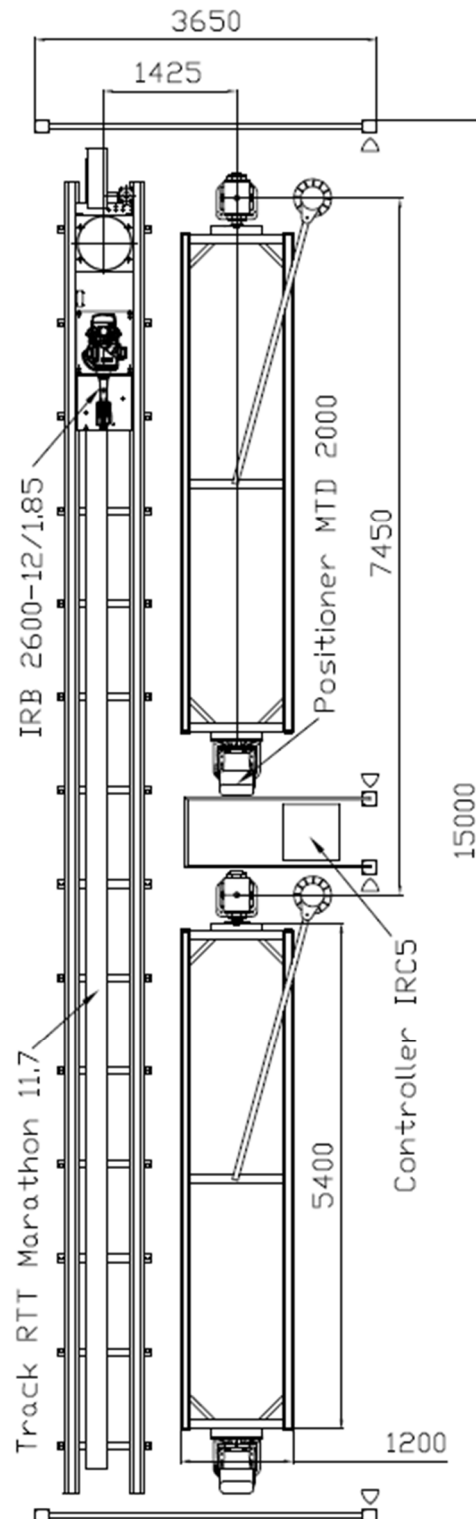
Tööstusroboti liikumiseks töölauade vahel robotsüsteemis on ette nähtud liikumisplatvorm ABB RTT. Seade on modulaarne, ühe mooduli pikkuseks on 1 meeter. Juurutatava robotsüsteemi kuuluv seade koosneb 13 moodulitest.



Joonis 3.3.1 A – 500 mm, L – 14000 mm [7]

3.4 Robotkeevitusjaama asendiplaan

Juurutatava robotkeevitusjaama asendiplaan on toodud allpool oleval joonisel. Robotkeevitusjaama paigutus tootmissüsteemi kuuluvate tootmisseadmete suhtes on kajastatud käesoleva magistritöö lõpu lisatud skeemil.



Joonis 3.4.1 Robotkeevitusjaama asendiplaan

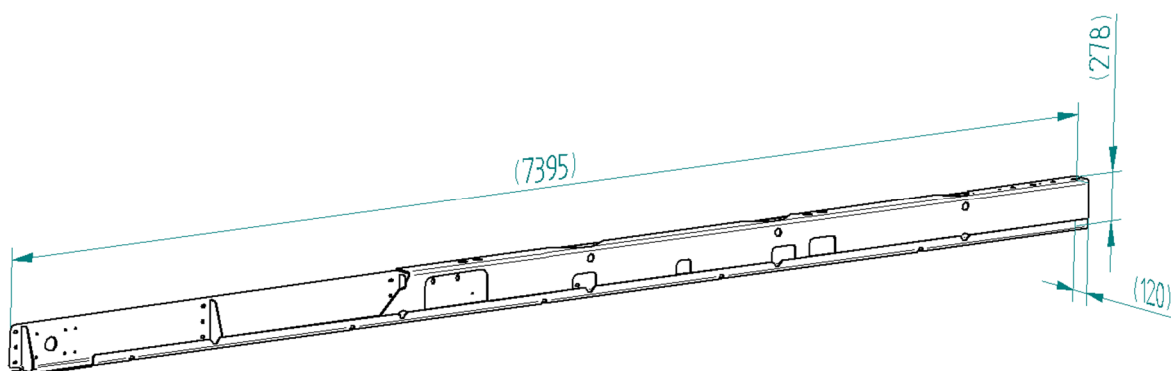
4. JUURUTATAVATE TOODETE ÜLEVAADE

Kõige olulisemaks aspektiks keevitusroboti juurutamise otstarbekuse hindamisel on robotiga keevitatavate toodete valik. Robotiga keevitatavate toodete valimisel tuleb kõigepealt pöörata tähelepanu keevisõmbluste tüübile ja pikkusele, keevisõmblustele esitatud nõuetele, keevitatavate detailide geomeetriaile ja selle korratavusele. Tuleb silmas pidada ka detailide kinnitamise viisi ja lähtuvalt sellest ka juurdepääsetavus keevitustsooni.

Järgmistes alapeatükides kirjeldan robotkeevitamiseks valitud tooteid, toodete joonised ei ole lisatud käesolevasse lõputöösse konfidentsiaalsust silmas pidades.

4.1 Tooted 29007420-R5 ja 29007445-R5

CUTform OÜ toodete nomenklatuuris on kaks uut sarnast toodet, mis omavad robotkeevitusjaama juurutamise seisukohalt esimese prioriteedi. Need on tooted jooniste numbritega 29007420-R5 ja 29007445-R5. Mõlemad tooted kujutavad endast kahest painutatud profiilist kokkukeevitatud tala pikkusega 7395 mm ja massiga 278 kg. See on põhimõtteliselt üks ja sama toode parem- ja vasakpoolses teostuses.



Joonis 4.1.1 Koost 29007420-R5

Keevitatavad detailid on valmistatud S355 terasest paksusega 8 mm. Tootel on kaks HV-põkkliidet keevisõmblusega s8, mis tuleb teostada kahe läbimiga. Võttes see arvesse, summaarne keevisõmbluse pikkus moodustab 15080 mm, mis teeb mõistlikuks antud toodet keevitada robotiga. Samas ka see, et kõikidel keevisõmblustel on hea ligipääsetavus keevitamiseks. Toode ei vaja keerulist rakistust, mis samuti ei piira ligipääsetavust keevisõmblustele.

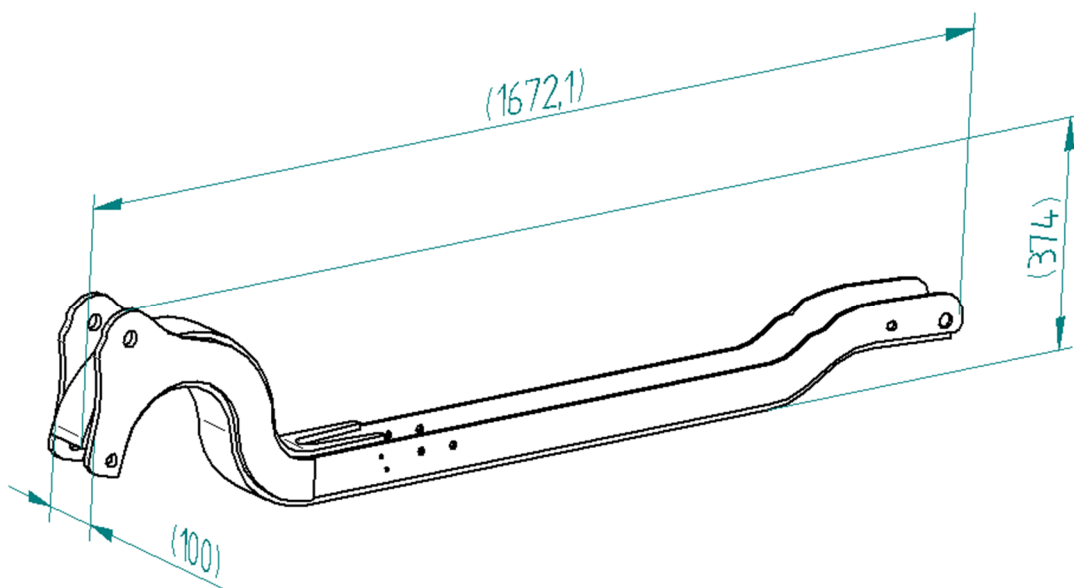
Keevisõmbluste kvaliteedi suhtes tootele on esitatud B kvaliteeditaseme nõuded ISO 5817 standardi järgi. Kvaliteeditase on kõrge ja antud töö teostamine nõuab

kvalifitseeritud tööjõudu. Keevisõmbulusi kontrollitakse visuaalselt 100% ja 20% toodete partiist peab olema kontrollitud kas kapillaarkatse või magnetpulberkatse meetodiga.

Antud toote pikkus ületab keevitusjaama töölaua pikkust, kuid toodet saab antud töölaual keevitada, asetades toodet töölaua ääre peale.

4.2 Toode 29039242-R0

Robotkeevitusjaama juurutatavate toodete prioriteedi järgi teine toode on koost 29039242-R0. Antud keevistoode kujutab endast S355 lehtterasest laserlõigatud ja painutatud detailidest kokkukeevitatud metallkonstruktsiooni gabariitmõõtmeaga 1672x100x374 mm ja massiga 32,6 kg. Tootel on järgmised keevisliited: kaks nurkliidet keevisõmblusega a8, mille summaarne pikkus on 514 mm; neli nurkliidet keevisõmblusega a7, mille summaarne pikkus on 2070 mm; kaks nurkliidet keevisõmblusega a5, mille summaarne pikkus on 2460 mm ja kaks nurkliidet keevisõmblusega a3 sama pikkusega. Keevisõmbulusi a8 ja a7 tuleb teostada kolme läbimiga, mis kolmekordistub antud keevisõmbuluste pikkust. Liigipääsetavus sisemistele nurkliidetele on vähesel määral raskendatud toote konstruktsiooni poolt.



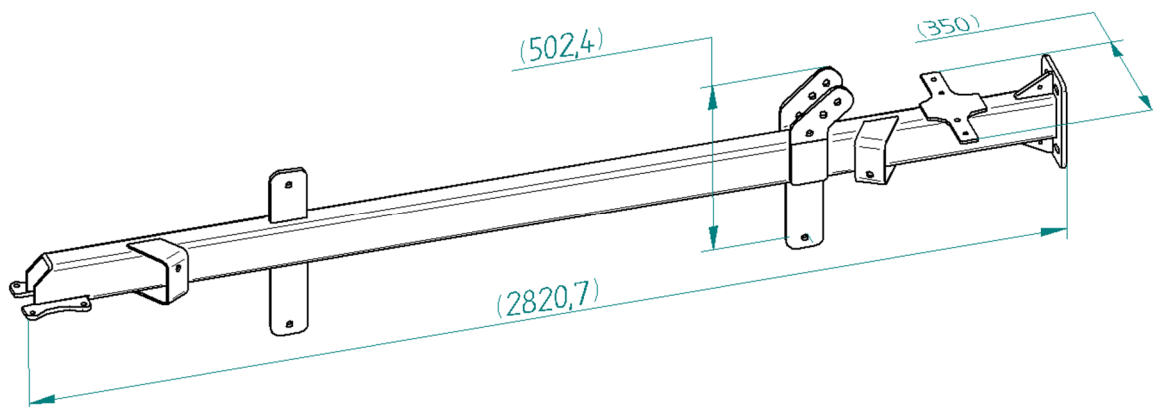
Joonis 4.2.1 Koost 29039242-R

Antud toote keevisõmbuluste suhtes on esitatud D kvaliteeditase nõuded, millele vastavus kontrollitakse visuaalselt partii 100% ulatuses.

Kuna toote konstruktsioonis on kasutatud painutatud detailid, pilu keevitatavate detailide vahel ja toote kuju on ebastabiilne. See nõuab keevitusrobotil täiendavate sensorite ja keevisõmbuluse asukoha tuvastamise süsteemide olemasolu.

4.3 Tooted 3020.1231-RH ja 3020.1232-RH

Ettevõtte toodete nomenklatuuris omavad suurt osatähtsust tooted 3020.1231-RH ja 3020.1232-RH. Mõlemad tooted kujutavad endast tala, mis koosneb 80x120 mm nelikanttorust ja selle külge keevitatud plaatidest. See on üks ja sama toote parem- ja vasakpoolne teostus. Toote gabariitmõõtmed on 2820x350x502 mm ja mass on 81 kg.



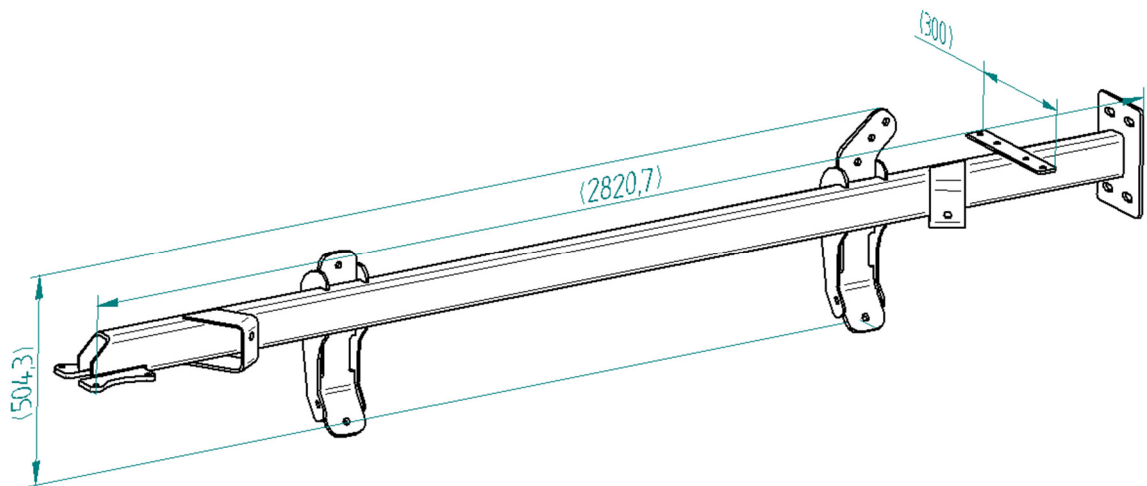
Joonis 4.3.1 Koost 3020.1231-RH

Keevitavate detailide materjaliks on S355 teras. Tootel on nii nurk ka põkkõmblused, kõik detailid on keevitatud ümber kontuuri. Keevisõmbluste summaarne pikkus on 5114 mm. Keevisõmbluste suhtes on esitatud nõuded ISO 5817 standardi järgi, kvaliteeditase – B. Keevisõmblusi kontrollitakse visuaalselt kogu partii ulatuses ja 20% toodetel partiist teostatakse kas kapillaar- või magnetpulberkatse.

Detailide positsioneerimine üks teise suhtes vajab rakistust, mis piirab liigipääsetavust keevisõmblustele. Sel põhjusel toode koostetakse traagelõmblustega rakises ja keevitatakse ilma rakiseta.

4.4 Tooted 3020.0370-RF, 3020.0957-R0 ja 3020.0958-R0

Järgmine toodete rühm, mis koosneb kolmest tootest jooniste numbritega 3020.0370-RF, 3020.0957-R0 ja 3020.0958-R0. Tooted on sarnased eelnevalt vaadeldatud toodetega 3020.1231-RH ja 3020.1232-RH, kuid konstruktsioonis on osaliselt kasutatud teised komponendid. Tooted on keevitamise seisukohalt indentsed, erinevus koosneb keevitatavate komponentide ja nende avade asukohas.

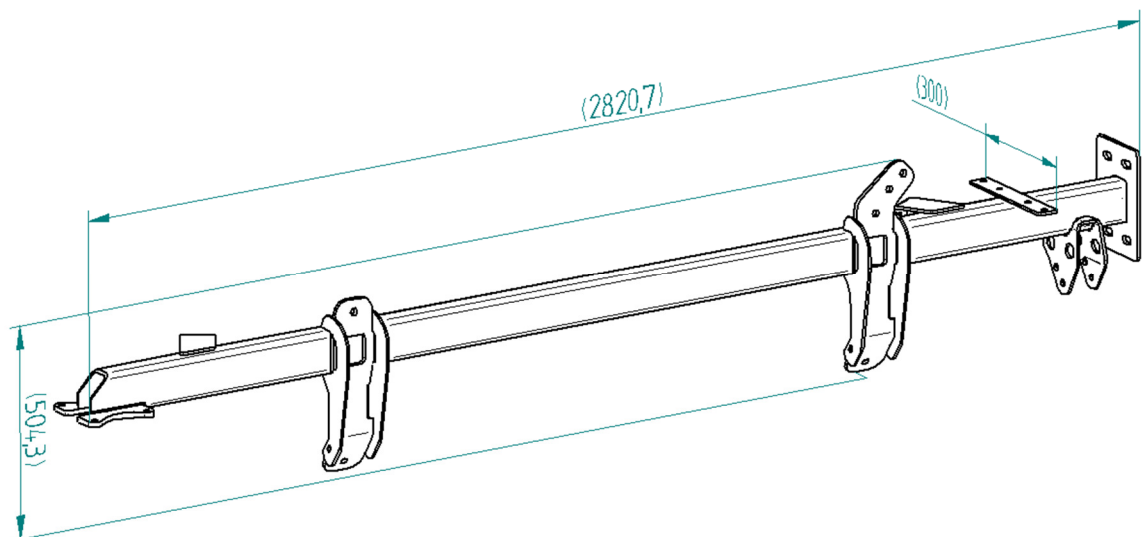


Joonis 4.4.1 Koost 3020.0370-RF

Keevitavate detailide materjaliks on S355 teras. Kõik detailid on samamoodi on keevitatud ümber kontuuri. Keevisõmbluste summaarne pikkus on 2776 mm. Keevisõmbluste suhtes on esitatud nõuded ISO 5817 standardi järgi, kvaliteeditase – C. Keevisõmblusti kontrollitakse visuaalselt kogu partii ulatuses.

4.5 Toode 3020.0372-RF

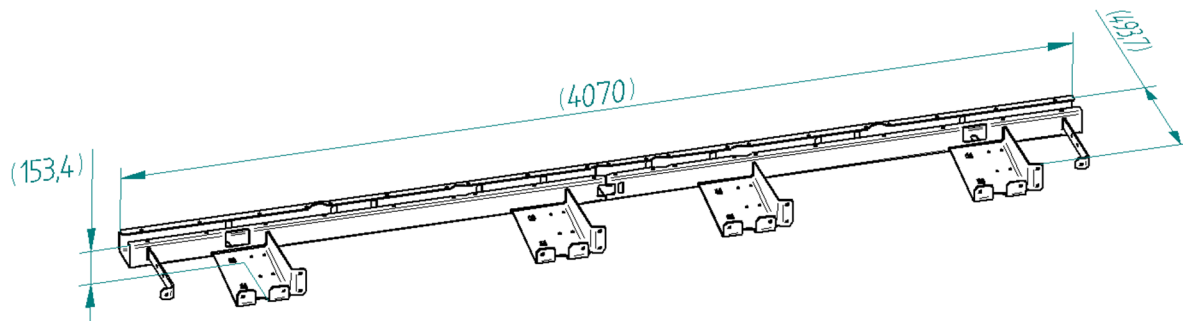
Toode 3020.0372-RF on sarnane eelnevas alapeatükis vaadeldatud toodete rühmaga, kuid siin keevitatakse veel üks täiendav komponent juurde. Keevisõmbluste summaarne pikkus on 2980 mm.



Joonis 4.5.1 Koost 3020.0372-RF

4.6 Toode 3020.1234-RD

Toode 3020.1234-RD kujutab endast S355 lehtterasest laserlõigatud ja painutatud detailidest koosneva metallkonstruktsiooni gabariitmõõtmetega 4070x493,7x153,4 mm ja massiga 74,9 kg.



Joonis 4.6.1 Koost 3020.1234-RD

Toote konstruktsioonis olev C kujuga profiil on tehtud kahest painutatud detailidest paksusega 4 mm, mis on ühendatud kokku V-pötkliite abil. Ülejäänud detailid keevitatakse ümber kontuuri. Keevisõmbluste summaarne pikkus on 3042 mm.

Keevisõmbluste kvaliteet peab vastavama ISO 5817-B kvaliteeditasemele. Veendumaks, et nõutud kvaliteet on tagatud, tooteid tuleb kontrollida 100% visuaalselt ja 20% toodete partiist tuleb kontrollida magnetpulberkatse meetodi abil.

4.7 Vaadeldavate toodete tootmismahud

Eelnevalt kirjeldatud toodete 2019. aasta tootmismahud ja prognoosid jooksva aasta kogustele on kajastatud tabelis 4.7.1.

Tooted 29007420-5 ja 29007445-5 on uued tooted, mis alustati valmistama aasta 2019 lõpus, seega, alljärgnevas tabelis kajastan ainult nende prognoositava tootmismahu.

Tabel 4.7.1 Toodete tootmismahud ja prognoosid

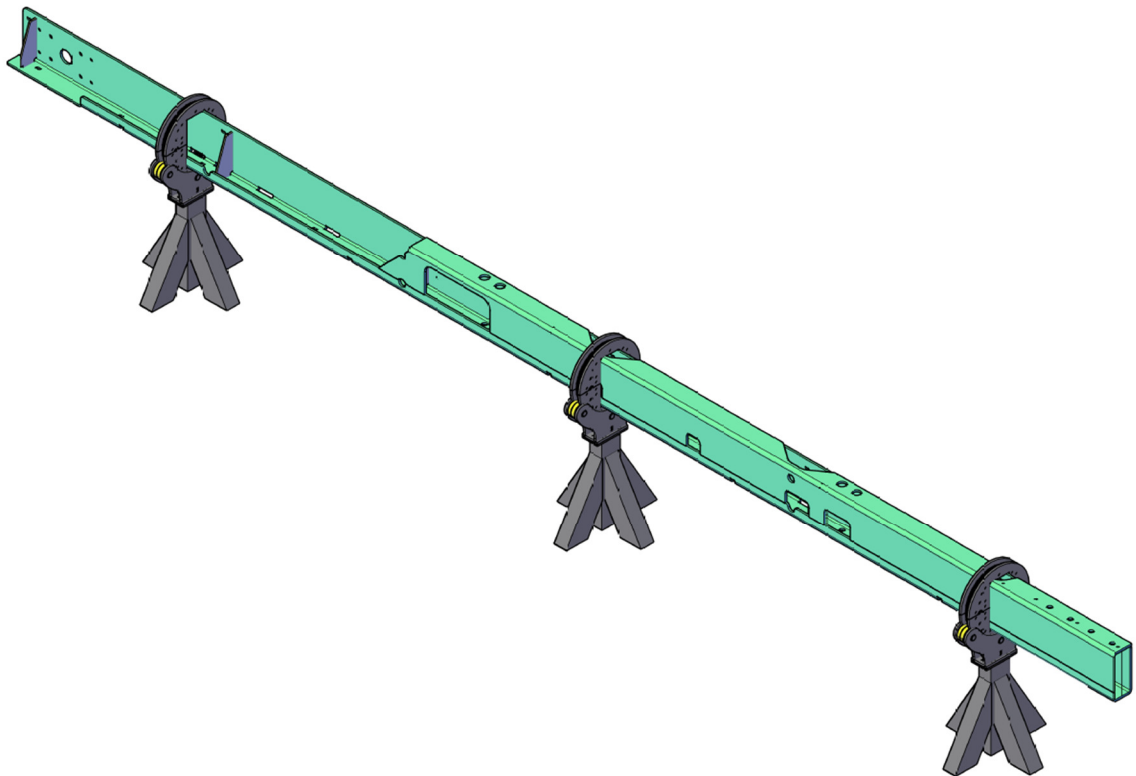
| Jrk. | Toote joonise nr. | Aastas 2019. valmistatud toodete arv, tk | Jooksvas aastas prognoositakse valmistada, tk |
|------|-------------------|--|---|
| 1. | 29007420-R5 | - | 160 |
| 2. | 29007445-R5 | - | 160 |
| 3. | 29039242-R1 | 180 | 240 |
| 4. | 3020.1231-RH | 539 | 800 |
| 5. | 3020.1232-RH | 525 | 780 |
| 6. | 3020.0370-RF | 110 | 49 |
| 7. | 3020.0372-RF | 107 | 40 |
| 8. | 3020.0957-R0 | 407 | 475 |
| 9. | 3020.0958-R0 | 382 | 475 |
| 10. | 3020.1234-RD | 435 | 170 |

5. KÄSIKEEVITUSTEHNOLOGIA KIRJELDUS

Tootmisprotsesi robotiseerimist eelneva analüüsi käigus on oluline välja selgitada valitud tootmisprotsessi üksikasjad. Järgmistes alapeatükides vaatlen uuele keevitusrobotile juurutatavate toodete käsikeevitustehnoloogia.

5.1 Tooted 29007420-R5 ja 29007445-R5

Tooted 29007420-R5 ja 29007445-R5 koosnevad kahest 8 mm paks S355MC lehtterasest laserlõigatud ja painutatud profiilidest ning kolmest jäikusribadest. Esimeses operatsioonis toimub suuremast profiilist ja jäikusribadest koosneva alamkoostu keevitamine ning seejärel, teises operatsioonis, toimub lõppkoostu keevitamine. Esimene keevitusoperatsioon toimub 3D keevituslaual, millel on avad positsioneerimis- ja kinnitamisvahendite ning spetsiaalsete rakiste paigaldamiseks. Teine keevitusoperatsioon ei vaja rakistust detailide positsioneerimiseks, kuid kasutatakse spetsiaalseid abivahendeid toote pööramiseks keevitamise käigus. Keevitatavad detailid kinnitatakse omavahel traagelõmblustega, mis on teostatud sammuga 300 mm. Traagelõmblustes tuleb teha sisselõiked, mis tagaksid ühtlast üleminukut traagel- ja põhiõmbluse vahel.



Joonis 5.1.1 Koostu 29007420-R5 pööramiseks kasutatavad abivahendid

Kasutatav keevitusprotsess on traatkeevitus aktiivgaasi keskkonnas ehk MAG-keevitusprotsess.

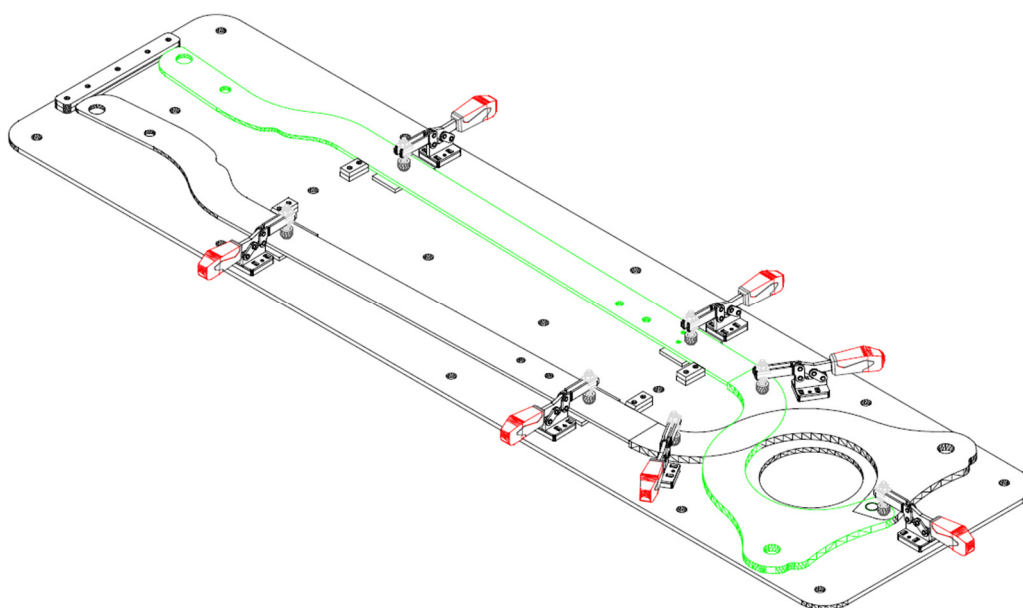
Esimeses operatsioonis tegemist on nurkõmblustega a3 summaarse pikkusega 1740 mm. Keevisõmblusti teostatakse asendis PB. Keevituskiirus on 260-295 mm/min. Antud operatsioonile normeeritud põhi- ja abiaeg koostab summaarselt 1 tund tööaega.

Teises operatsioonis tegemist on põkkõmblustega s8 summaarse pikkusega 7540 mm. Põkkõmblusti tuleb teostada kahe läbimiga, mis kahekordistub õmbluste pikkust. Keevituskiirus juurõmbluste moodustamisel on 180...230 mm/min; teise läbimi keevituskiirus on 200-230 mm/min. Keevisõmblusti teostatakse asendites PA ja PC. Antud operatsioonile on normeeritud 9,3 tundi, millest 105 minutit on mõeldud detailide koostamisele traagelõmblustega.

Mõlemas keevitusoperatsioonis kasutatakse keevitustraat G42 4 3Si1, läbimõõduga 1 mm. Kaitsegaasiks on argooni ja süsihappegaasi segugaas M21, mis sisaldab 15-20% CO₂.

5.2 Toode 29039242-R0

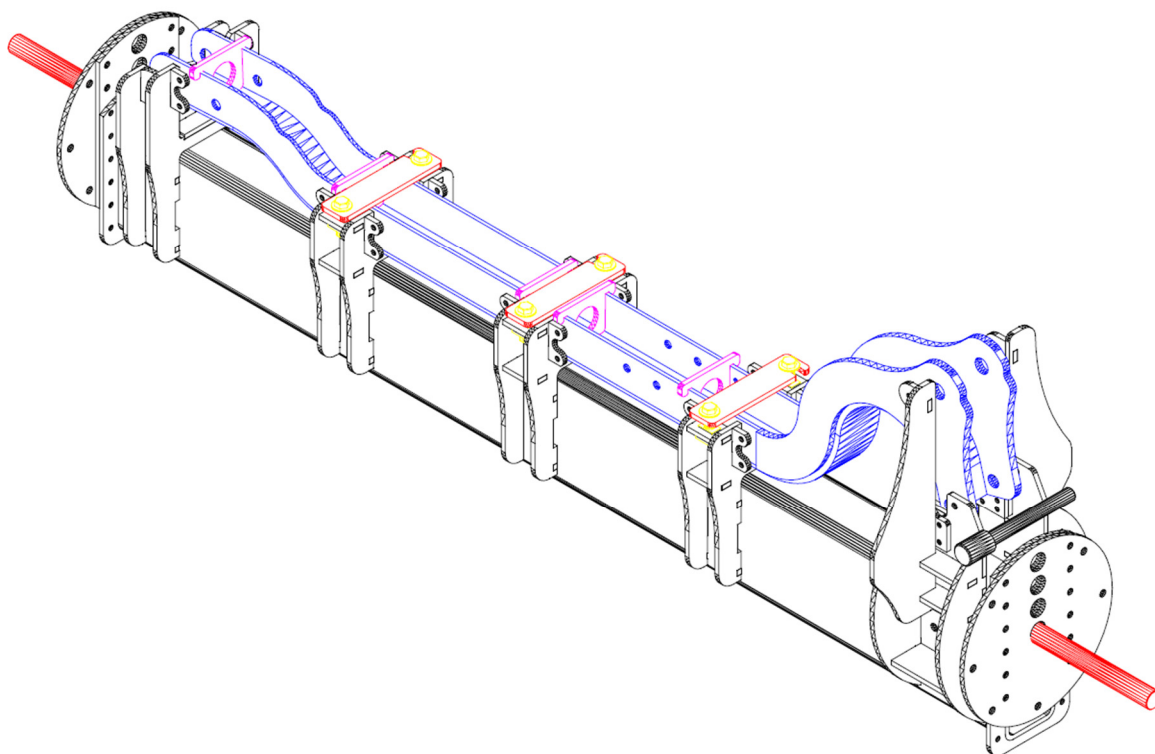
Toode 29039242-R0 keevitamine samuti toimub kahe operatsiooniga. Esimeses operatsioonis teostatakse külgl plaatidest koosneva alamkoostu keevitamine. Esimeses operatsioonis keevitatavate detailide positioneerimiseks ja kinnitamiseks kasutatakse joonisel 5.2.1 toodud rakis.



Joonis 5.2.1 Koostu 29039242-R0 alamkoostude keevitamiseks kasutatav rakis

Kuna keevitatavatel detailidel on erinev paksus, teostatakse 2 keevisõmblust – põkkõmbustus s6 ja nurkõmbustus a4. Keevisõmbluste summaarne pikkus on 130 mm. Keevisõmbluste vähesel pikkusel antud operatsioon ei paku huvi robotiseerimise seisukohalt.

Teises operatsioonis toimub ülejäänud detailide keevitamine eelnevalt keevitatud alamkoostudega. Detailide positsioneerimine ja kinnitamine toimub joonisel 5.3.1 toodud rakise abil. Rakis kinnitatakse pöördlauale. Toode koostatakse traagelõmblustega rakises, keevitamine toimub ilma rakiseta.



Joonis 5.3.1 Koostu 29039242-R0 lõppkoostamisel kasutatav rakis

Toode keevitatakse MAG-keevitusmeetodi abil. Kaitsegaasiks kasutatakse segugaas M21 ja keevitustraadiks on traat G42 4 3Si1 läbimõõduga 1 mm.

Detailid liidetakse kokku erineva suuruse nurkõmblustega, mõned tuleb teostada kolme läbimiga. Võttes see arvesse, võib arvutada, et keevisõmbluste summaarne pikkus on 18,8 meetrit. Keskmise keevituskiirusega koosneb 220 mm/min. Antud operatsioonile on ette nähtud peagu 2,55 tundi, millest 18 minutit on normeeritud detailide koostamisele traagelõmblustega.

5.3 Toode 3020.1234-RD

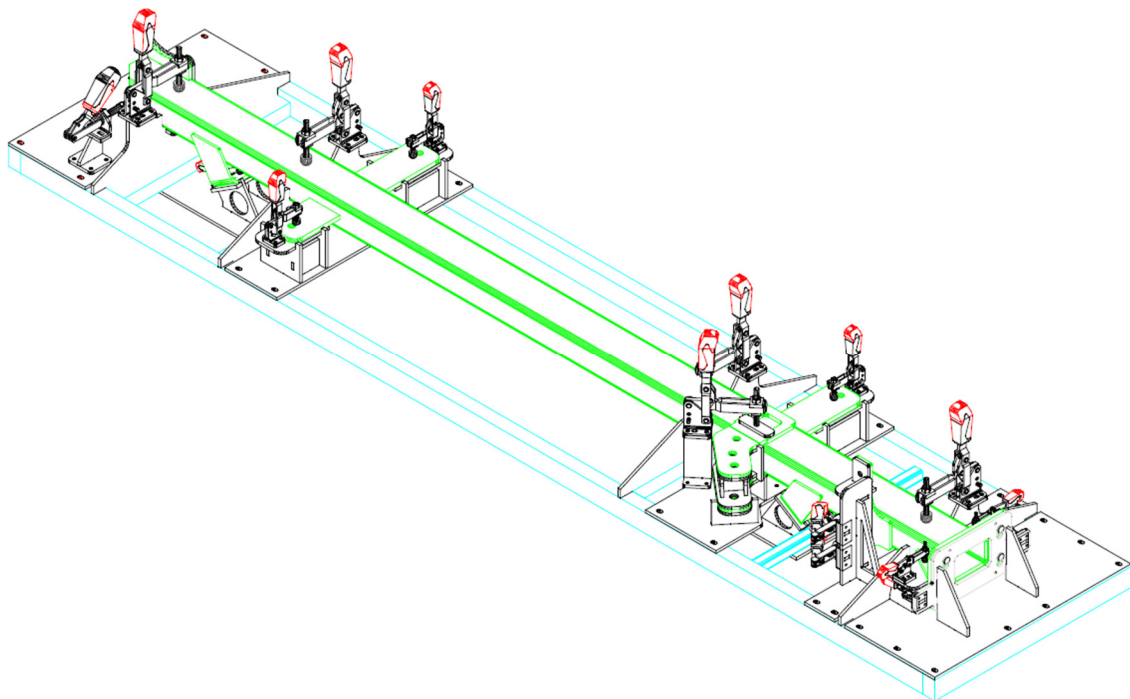
Toote 3020.1234-RD koostamine toimub 3D keevituslaual. Kõigepealt liidetakse kokku kaks C kujuga profiile pötkõmbluse abil. Seejärel, paigaldades 3D keevituslauale spetsiaalseid rakiseid, positioneeritakse ja kinnitatakse koostu ülejäänud detailid. Toode keevitatakse rakises, deformatsiooni vältimiseks keevisõmblusi tuleb teostada kindlas järjekorras.

Toote valmistamisele on normeeritud 130 minutit tööaega, millest 30 minutit on mõeldud koostamisele.

Keevitusprotsessiks on samuti MAG, kaitsegaas ja keevitustraat on ka samad nagu eelnevalt vaadeldud toodetel.

5.4 Tooted 3020.1231-RH, 3020.1232-RH, 3020.0370-RF, 3020.0372-RF, 3020.0957-R0 ja 3020.0958-R0

Ülejäänud tooted 4. peatükis vaadeldud toodetest on oma konstruktsiooni kui ka keevitustehnoloogia väga sarnased. Tooted koostetakse traagelõmblusetega rakises, seejärel, kuna rakis piirab juurdepääsetavust keevisõmblustele, toode võetakse rakisest välja ja iga detail keevitatakse ümber oma kontuuri.



Joonis 5.4.1 Koostu 3020.1231-RH koostamisel kasutatav rakis

Tooted keevitatakse kasutades MAG-keevitusprotsessi. Kaitsegaasiks on segugaas M21, keevitustraadiks on traat G42 4 3Si1 läbimõõduga 1,2 mm.

Koostamisele ja keevitamisele kuluv tööaeg on kajastatud tabelis 5.5.1.

5.5 Normaegade koondtabel

Alljärgnevas tabelis 5.5.1 toon välja vaadeldud toodete normeeritud tööaegasid. Tabelis on kajastatud ainult lõppkoostu koostamisele ja keevitamisele normeeritud tööajad. Tabelis ei ole vaadeldud alamkoostude valmistamiseks vajaminevad tööajad, kuna need operatsioonid ei paku huvi robotiseerimise seisukohalt.

Ettevalmistus-lõpetusaeg, mis on ette nähtud joonise ja muu tehnoloogilise dokumentatsiooniga tutvumiseks, kõikidel operatsioonidel koostab 15 minutit.

Tabelis toodud keevitusajad sisaldavad põhi- ja abiaegasid. Põhiaeg ehk keevituskaare põlemisaeg koostab ligikaudu 20% normeeritud tööajast. Erandiks on toode 29039242-R0, kus on tegemist pikkade keevisõmblustega, toodet pole vaja eriti palju pöörata ja muud abitegevused on minimaalsed.

Tabel 5.5.1 Normaegade koondtabel

| Jrk. | Toote joonise nr. | Koostamine, min | Kaare põlemisaeg, min | Abiaeg, min | Keevitustsükkel kokku, min |
|------|-------------------|-----------------|-----------------------|-------------|----------------------------|
| 1. | 29007420-R5 | 105 | 71,85 | 378,15 | 450 |
| 2. | 29007445-R5 | 105 | 71,85 | 378,15 | 450 |
| 3. | 29039242-R0 | 18 | 81,58 | 53,42 | 135 |
| 4. | 3020.1231-RH | 19 | 22,32 | 97,68 | 120 |
| 5. | 3020.1232-RH | 19 | 22,32 | 97,68 | 120 |
| 6. | 3020.0370-RF | 13 | 12,88 | 41,12 | 54 |
| 7. | 3020.0372-RF | 18 | 14,03 | 43,97 | 58 |
| 8. | 3020.0957-R0 | 13 | 12,88 | 41,12 | 54 |
| 9. | 3020.0958-R0 | 13 | 12,88 | 41,12 | 54 |
| 10. | 3020.1234-RD | 30 | 11,45 | 88,55 | 100 |

6. ROBOTKEEVITUSJAAMA KOORMATUSE ANALÜÜS

Antud peatükis analüüsin juurutatava robotkeevitusjaama koormatuse. Koormatuse määramiseks kõigepealt tuleb määrata vaadeldavate toodete robotkeevituse kiirused. Seejärel, arvutades välja keevituskaare põlemisaega ja määrades vajalikke abiaegsid, saab leida iga toote keevitustsükli robotkeevitamisel. Korrutades saadud keevitustsükli ajad toodete aastase tootmisprogrammiga saab hinnata robotkeevitusjaama aastase koormatus.

6.1 Juurutatavate toodete eeldatavad robotkeevituse kiirused

Antud alapeatükis vaatlen eeldatavad keevituskiirused robotkeevitusel. Robotkeevituse kiiruste määramiseks vaatlen iga keevisõmblus eraldi, kirjeldades liite tüüpi, keevisõmbluse suuruse ja pikkuse. Sõltuvalt liite tüübist ja keevisõmbluse suurusel määrän keevituskiiruse robotkeevitusel lähtuvalt ettevõttes kasutatavast meetodikast ja lõputöö juhendaja poolt antud nõuannetest. Saadud tulemused on toodud tabelites 6.1.1-6.6.1. Tabelites on samuti kajastatud keevituskiirused käsikeevitusel, mis olid võetud dokumenteeritud keevitusprotseduuritest (WPS-dest).

Tabel 6.1.1 Eeldatavad keevituskiirused toodete 29007420-R5 ja 29007445-R5 robotkeevitusel

| Põhimaterjalid | Materjalide paksused, mm | Õmbluse number, läbimi number | Liite tüüp, suurus | Õmbluse pikkus, mm | Keevituskiiirus käsikeevitusel, mm/min | Keevituskiiirus robokeevitusel, mm/min |
|----------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|--|--|
| S355J2 | 8 / 8 | Keevis 1, läbim 1 | HV-põkkliide, s8 | 3730 | 180÷230 | 300÷360 |
| | 8 / 8 | Keevis 1, läbim 2 | | 3730 | 200÷230 | 360÷420 |
| | 8 / 8 | Keevis 2, läbim 1 | HV-põkkliide, s8 | 3810 | 180÷230 | 300÷360 |
| | 8 / 8 | Keevis 2, läbim 2 | | 3810 | 200÷230 | 360÷420 |

Tabel 6.1.2 Eeldatavad keevituskiirused toote 29039242-R0 robotkeevitusel

| Põhimaterjalid | Materjalide paksused, mm | Õmbluse number, läbimi number | Liite tüüp, suurus | Õmbluse pikkus, mm | Keevituskiiirus käsikeevitusel, mm/min | Keevituskiiirus robokeevitusel, mm/min |
|----------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|--|--|
| S355J2 | 10 / 12 | Keevis 1, läbim 1 | Nurkliide, a8 | 257 | 210÷250 | 300÷360 |
| | | Keevis 1, läbim 2 | | 257 | 190÷220 | 360÷420 |
| | | Keevis 1, läbim 3 | | 257 | 200÷230 | 330÷390 |
| | 10 / 12 | Keevis 2, läbim 1 | Nurkliide, a8 | 257 | 210÷250 | 300÷360 |

| Põhimaterjalid | Materjalide paksused, mm | Õbluse number, läbimi number | Liite tüüp, suurus | Õbluse pikkus, mm | Keevituskiirus käsikeevitusel, mm/min | Keevituskiirus robokeevitusel, mm/min |
|----------------|--------------------------|------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| S355J2 | 10 / 12 | Keevis 2, läbim 2 | Nurkliide, a8 | 257 | 190÷220 | 360÷420 |
| | | Keevis 2, läbim 3 | | 257 | 200÷230 | 330÷390 |
| | 10 / 12 | Keevis 3, läbim 1 | Nurkliide, a7 | 1493 | 225÷260 | 400÷460 |
| | | Keevis 3, läbim 2 | | 1493 | 225÷260 | 400÷460 |
| | | Keevis 3, läbim 3 | | 1493 | 225÷260 | 400÷460 |
| | 10 / 12 | Keevis 4, läbim 1 | Nurkliide, a7 | 1493 | 225÷260 | 400÷460 |
| | | Keevis 4, läbim 2 | | 1493 | 225÷260 | 400÷460 |
| | | Keevis 4, läbim 3 | | 1493 | 225÷260 | 400÷460 |
| | 10 / 12 | Keevis 5, läbim 1 | Nurkliide, a7 | 577 | 225÷260 | 400÷460 |
| | | Keevis 5, läbim 2 | | 577 | 225÷260 | 400÷460 |
| | | Keevis 5, läbim 3 | | 577 | 225÷260 | 400÷460 |
| | 10 / 12 | Keevis 6, läbim 1 | Nurkliide, a7 | 577 | 225÷260 | 400÷460 |
| | | Keevis 6, läbim 2 | | 577 | 225÷260 | 400÷460 |
| | | Keevis 6, läbim 3 | | 577 | 225÷260 | 400÷460 |
| 6 / 10 | Keevis 7 | Nurkliide, a5 | 1230 | 215÷240 | 300÷360 | |
| 6 / 10 | Keevis 8 | Nurkliide, a5 | 1230 | 215÷240 | 300÷360 | |
| 6 / 10 | Keevis 9 | Nurkliide, a3 | 1230 | 180÷230 | 480÷600 | |
| 6 / 10 | Keevis 10 | Nurkliide, a3 | 1230 | 180÷230 | 480÷600 | |

Tabel 6.1.3 Eeldatavad keevituskiirused toodete 3020.1231-RH ja 3020.1232-RH robotkeevitusel

| Põhimaterjalid | Materjalide paksused, mm | Õbluse number, läbimi number | Liite tüüp, suurus | Õbluse pikkus, mm | Keevituskiirus käsikeevitusel, mm/min | Keevituskiirus robokeevitusel, mm/min |
|----------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| S355J2 | 8 / 12 | Keevis 1 | Nurkliide, a5 | 390 | 165÷190 | 240÷360 |
| | 8 / 12 | Keevis 2 | Nurkliide, a3 | 188 | 240÷250 | 480÷600 |
| | 8 / 12 | Keevis 3 | Nurkliide, a3 | 188 | 240÷250 | 480÷600 |
| | 12 / 12 | Keevis 4 | Nurkliide, a3 | 132 | 240÷260 | 480÷600 |
| | 12 / 12 | Keevis 5 | Nurkliide, a3 | 132 | 240÷260 | 480÷600 |
| | 12 / 12 | Keevis 6 | Nurkliide, a3 | 212 | 240÷250 | 480÷600 |
| | 12 / 12 | Keevis 7 | Nurkliide, a3 | 212 | 240÷250 | 480÷600 |
| | 8 / 8 | Keevis 8 | Nurkliide, a3 | 56 | 240÷250 | 480÷600 |
| | 8 / 8 | Keevis 9 | Nurkliide, a3 | 56 | 240÷250 | 480÷600 |
| | 8 / 8 | Keevis 10 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 160 | 250÷270 | 250÷360 |
| | 8 / 8 | Keevis 11 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 160 | 250÷270 | 250÷360 |
| | 6 / 8 | Keevis 12 | Nurkliide, a3 | 182 | 165÷190 | 480÷600 |
| | 6 / 8 | Keevis 13 | Nurkliide, a3 | 182 | 165÷190 | 480÷600 |
| | 6 / 8 | Keevis 14 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 95 | 250÷270 | 250÷360 |
| | 6 / 8 | Keevis 15 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 95 | 250÷270 | 250÷360 |
| | 10 / 8 | Keevis 16 | Nurkliide, a3 | 98 | 240÷250 | 480÷600 |
| | 10 / 8 | Keevis 17 | Nurkliide, a3 | 98 | 240÷250 | 480÷600 |
| | 10 / 8 | Keevis 18 | Nurkliide, a3 | 98 | 240÷250 | 480÷600 |
| | 10 / 8 | Keevis 19 | Nurkliide, a3 | 98 | 240÷250 | 480÷600 |
| | 10 / 8 | Keevis 20 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 100 | 250÷270 | 250÷360 |

| Põhimaterjalid | Materjalide paksused, mm | Õbluse number, läbimi number | Liite tüüp, suurus | Õbluse pikkus, mm | Keevituskiirus käsikeevitusel, mm/min | Keevituskiirus robokeevitusel, mm/min |
|----------------|--------------------------|--|-------------------------------|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| S355J2 | 10 / 8 | Keevis 21 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 100 | 250÷270 | 250÷360 |
| | 10 / 8 | Keevis 22 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 100 | 250÷270 | 250÷360 |
| | 10 / 8 | Keevis 23 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 100 | 250÷270 | 250÷360 |
| | 8 / 12 | Keevis 24 | Nurkliide, a5 | 224 | 320÷350 | 250÷360 |
| | 8 / 12 | Keevis 25 | Nurkliide, a5 | 224 | 320÷350 | 250÷360 |
| | 8 / 12 | Keevis 26 | Nurkliide, a5 | 224 | 320÷350 | 250÷360 |
| | 6 / 8 | Keevis 27 | Nurkliide, a3 | 182 | 165÷190 | 480÷600 |
| | 6 / 8 | Keevis 28 | Nurkliide, a3 | 182 | 165÷190 | 480÷600 |
| | 6 / 8 | Keevis 29 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 95 | 250÷270 | 250÷360 |
| | 6 / 8 | Keevis 30 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 95 | 250÷270 | 250÷360 |
| | 8 / 12 | Keevis 31 | HY-põkkliide, s5 | 80 | 210÷240 | 380÷440 |
| | 8 / 12 | Keevis 32, läbim 1 Keevis 32, läbim 2 | HV-põkkliide, s7 | 140 | 200÷230 | 380÷440 |
| | | | | 140 | 200÷230 | 380÷440 |
| | 8 / 12 | Keevis 33, läbim 1 Keevis 33, läbim 2 | HV-põkkliide, s7 | 140 | 200÷230 | 380÷440 |
| | | | | 140 | 200÷230 | 380÷440 |
| 8 / 12 | Keevis 34 | Nurkliide, a3 | 8 | 240÷250 | 480÷600 | |
| 8 / 12 | Keevis 35 | Nurkliide, a3 | 8 | 240÷250 | 480÷600 | |

Tabel 6.1.4 Eeldatavad keevituskiirused toodete 3020.0370-RF, 3020.0957-R0 ja 3020.0958-R0 robotkeevitusel

| Põhimaterjalid | Materjalide paksused, mm | Õbluse number, läbimi number | Liite tüüp, suurus | Õbluse pikkus, mm | Keevituskiirus käsikeevitusel, mm/min | Keevituskiirus robokeevitusel, mm/min |
|----------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| S355J2 | 8 / 6 | Keevis 1 | Nurkliide, a5 | 300 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 2 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 50 | 320÷350 | 320÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 3 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 50 | 320÷350 | 320÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 4 | Nurkliide, a3 | 182 | 165÷190 | 480÷600 |
| | 6 / 6 | Keevis 5 | Nurkliide, a3 | 182 | 165÷190 | 480÷600 |
| | 6 / 6 | Keevis 6 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 95 | 250÷270 | 260÷360 |
| | 8 / 8 | Keevis 7 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 95 | 250÷270 | 260÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 8 | Nurkliide, a5 | 27 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 9 | Nurkliide, a5 | 72 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 10 | Nurkliide, a5 | 27 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 11 | Nurkliide, a5 | 27 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 12 | Nurkliide, a5 | 72 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 13 | Nurkliide, a5 | 27 | 215÷240 | 240÷360 |

| Põhimaterjalid | Materjalide paksused, mm | Õbluse number, läbimi number | Liite tüüp, suurus | Õbluse pikkus, mm | Keevituskiirus käsikeevitusel, mm/min | Keevituskiirus robokeevitusel, mm/min |
|----------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | 6 / 10 | Keevis 14 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 100 | 210÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 10 | Keevis 15 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 100 | 210÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 16 | Nurkliide, a5 | 27 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 17 | Nurkliide, a5 | 72 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 18 | Nurkliide, a5 | 27 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 19 | Nurkliide, a5 | 27 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 20 | Nurkliide, a5 | 72 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 21 | Nurkliide, a5 | 27 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 10 | Keevis 22 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 100 | 210÷240 | 220÷320 |
| | 6 / 10 | Keevis 23 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 100 | 210÷240 | 220÷320 |
| | 6 / 6 | Keevis 24 | Nurkliide, a3 | 182 | 165÷190 | 480÷600 |
| | 6 / 6 | Keevis 25 | Nurkliide, a3 | 182 | 165÷190 | 480÷600 |
| | 6 / 6 | Keevis 26 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 95 | 250÷270 | 250÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 27 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 95 | 250÷270 | 250÷360 |
| | 6 / 12 | Keevis 28 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 146 | 210÷240 | 250÷360 |
| | 6 / 12 | Keevis 29 | Nurkliide, a4 | 6 | 240÷250 | 360÷420 |
| | 6 / 12 | Keevis 30 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 146 | 210÷240 | 250÷360 |
| | 6 / 12 | Keevis 31 | Nurkliide, a4 | 6 | 240÷250 | 360÷420 |
| 6 / 12 | Keevis 32 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 60 | 210÷240 | 250÷360 | |

Tabel 6.1.5 Eeldatavad keevituskiirused toote 3020.0372-RF robotkeevitusel

| Põhimaterjalid | Materjalide paksused, mm | Õbluse number, läbimi number | Liite tüüp, suurus | Õbluse pikkus, mm | Keevituskiirus käsikeevitusel, mm/min | Keevituskiirus robokeevitusel, mm/min |
|----------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| S355J2 | 8 / 6 | Keevis 1 | Nurkliide, a5 | 300 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 2 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 50 | 320÷350 | 320÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 3 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 50 | 320÷350 | 320÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 4 | Nurkliide, a3 | 182 | 165÷190 | 480÷600 |
| | 6 / 6 | Keevis 5 | Nurkliide, a3 | 182 | 165÷190 | 480÷600 |
| | 6 / 6 | Keevis 6 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 95 | 250÷270 | 260÷360 |
| | 8 / 8 | Keevis 7 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 95 | 250÷270 | 260÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 8 | Nurkliide, a5 | 27 | 215÷240 | 240÷360 |

| Põhimaterjalid | Materjalide paksused, mm | Õbluse number, läbimi number | Lite tüüp, suurus | Õbluse pikkus, mm | Keevituskiiirus käsikeevitusel, mm/min | Keevituskiiirus robokeevitusel, mm/min |
|----------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------|--|--|
| S355J2 | 6 / 6 | Keevis 9 | Nurkliide, a5 | 72 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 10 | Nurkliide, a5 | 27 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 11 | Nurkliide, a5 | 27 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 12 | Nurkliide, a5 | 72 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 13 | Nurkliide, a5 | 27 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 10 | Keevis 14 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 100 | 210÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 10 | Keevis 15 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 100 | 210÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 16 | Nurkliide, a5 | 27 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 17 | Nurkliide, a5 | 72 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 18 | Nurkliide, a5 | 27 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 19 | Nurkliide, a5 | 27 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 20 | Nurkliide, a5 | 72 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 21 | Nurkliide, a5 | 27 | 215÷240 | 240÷360 |
| | 6 / 10 | Keevis 22 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 100 | 210÷240 | 220÷320 |
| | 6 / 10 | Keevis 23 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 100 | 210÷240 | 220÷320 |
| | 6 / 6 | Keevis 24 | Nurkliide, a3 | 182 | 165÷190 | 480÷600 |
| | 6 / 6 | Keevis 25 | Nurkliide, a3 | 182 | 165÷190 | 480÷600 |
| | 6 / 6 | Keevis 26 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 95 | 250÷270 | 250÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 27 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 95 | 250÷270 | 250÷360 |
| | 6 / 12 | Keevis 28 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 146 | 210÷240 | 250÷360 |
| | 6 / 12 | Keevis 29 | Nurkliide, a4 | 6 | 240÷250 | 360÷420 |
| | 6 / 12 | Keevis 30 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 146 | 210÷240 | 250÷360 |
| | 6 / 12 | Keevis 31 | Nurkliide, a4 | 6 | 240÷250 | 360÷420 |
| | 6 / 12 | Keevis 32 | Paindservaga HV-põkkliide, s7 | 60 | 210÷240 | 250÷360 |
| | 6 / 6 | Keevis 33 | Nurkliide, a3 | 41,5 | 165÷190 | 480÷600 |
| | 6 / 6 | Keevis 34 | Nurkliide, a3 | 30 | 165÷190 | 480÷600 |
| | 6 / 6 | Keevis 35 | Nurkliide, a3 | 30 | 165÷190 | 480÷600 |
| | 6 / 6 | Keevis 36 | Nurkliide, a3 | 41,5 | 165÷190 | 480÷600 |
| | 6 / 6 | Keevis 37 | Nurkliide, a3 | 30 | 165÷190 | 480÷600 |
| | 6 / 6 | Keevis 38 | Nurkliide, a3 | 30 | 165÷190 | 480÷600 |

Tabel 6.1.6 Eeldatavad keevituskiirused toote 3020.1234-RD robotkeevitusel

| Põhimaterjalid | Materjalide paksused, mm | Õmbluse number, läbimi number | Liite tüüp, suurus | Õmbluse pikkus, mm | Keevituskiirus käsikeevitusel, mm/min | Keevituskiirus robokeevitusel, mm/min |
|----------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| S355J2 | 4 / 4 | Keevis 1 | V-põkkliide, s4 | 292 | 190÷215 | 360÷420 |
| | 4 / 4 | Keevis 2 | V-põkkliide, s4 | 50 | 190÷215 | 360÷420 |
| | 4 / 6 | Keevis 3 | Nurkliide, a4 | 60 | 170÷185 | 360÷420 |
| | 4 / 6 | Keevis 4 | Nurkliide, a4 | 60 | 170÷185 | 360÷420 |
| | 4 / 6 | Keevis 5 | Nurkliide, a4 | 102 | 275÷300 | 480÷600 |
| | 4 / 6 | Keevis 6 | Nurkliide, a4 | 102 | 275÷300 | 480÷600 |
| | 4 / 6 | Keevis 7 | Nurkliide, a4 | 594 | 275÷300 | 480÷600 |
| | 4 / 6 | Keevis 8 | Nurkliide, a4 | 594 | 275÷300 | 480÷600 |
| | 4 / 6 | Keevis 9 | Nurkliide, a4 | 594 | 275÷300 | 480÷600 |
| | 4 / 6 | Keevis 10 | Nurkliide, a4 | 594 | 275÷300 | 480÷600 |

6.2 Juurutatavate toodete keevitustsükliid robotkeevitusel

Jagades iga keevisõmbluse pikkust eeldatava robotkeevituse keevituskiirusega saab arvutada välja keevituskaare põlemisaeg. Tabelis 6.2.1 toon välja saadud keevituskaare põlemisaja ja ette nähtud abiajad iga toote valmistamise kohta.

Vabaliikumiste sooritamiseks ette nähtud abiajad määratakse vastavalt kaare põlemisajale, võttes see 50-75% põhiajast sõltuvalt toote pööramiste arvust keevitamise käigus.

Toodetel 29007420-R5 ja 29007445-R5 on pikad sirged keevisõmblused, mis tuleb teostada 300 mm lõikudena, et vältida toote deformatsiooni. Pärast iga keevitatud lõiku tuleb toodet ja robotit ümberpositsioneerida, seega vabaliikumiste sooritamiseks võtan arvutuslikult 75% kaare põlemisajast. Sama abiaeg ülejäänud detailidel võtan 50% kaare põlemisajast.

Juurutatavas keevitusjaamas on ette nähtud 2 töölauda selleks, et sel ajal kui esimesel töölaual toimub keevitamine, teisel töölaual toimub detailide rakistamine ja ettevalmistamine keevitamiseks. Sellist töövoogu saab rakendada kõikidel toodetel välja arvatud tooteid 3020.1231-RH ja 3020.1232-RH. Neid tooteid kavatakse koostada ja traageldada ühel töölaual, kasutades olemasolevat rakist ja teisel töölaual keevitada lihtsamal rakises, mis tagaks paremini juurdepääsetavus keevisõmblustele.

Vaatamata sellele, et kasutatakse 2 töölauda, lisan peaaegu kõikidele toodetele detailide teisaldamiseks ja paigaldamiseks rakisesse ette nähtud abiaega. Näiteks toodete 29007420-R5 ja 29007445-R5 põhiajale lisatud 15 minutit abiaega on põhjendatud sellega, et tooted on gabariitsed, nende mass on 278 kg, keevisõmbulusi tuleb visuaalselt kontrollida, eemaldada pritsmeid ja vajadusel puhastada keevisõmbulusi.

Abiaeg toote 29039242-R0 teisaldamiseks ja paigaldamiseks ei ole ette nähtud, kuna põhiaeg on piisavalt pikk selleks, et operaator jõuaks ettevalmistada tooteid keevitamiseks teisel töölaual. Tooted on eenevalt koostatud ja traageldatud.

Tooted 3020.0370-RF, 3020.0372-RF, 3020.0957-R0, 3020.0958-R0 ja 3020.1234-RD ei ole eelnevalt koostatud ja traageldatud, neid kavatakse koostada ja seejärel keevitada samas rakises. Teisaldus- ja paigaldusaja lisamine nimetatud toodetele on põhjendatud sellega, et antud toodete põhiaeg on suhteliselt lühike ja selle aja jooksul ei ole võimalik ettevalmistada detailid keevitamiseks teisel töölaual.

Tabel 6.2.1 Keevitustsüklid robotkeevitusel

| Toote joonise number | Keevisõmbuluse summaarne pikkus, mm | Kaare põlemisaeg, min | Vabaliikumiste sooritamine, min | Teisaldus- ja paigaldusaeg, min | Keevitustsükli aeg kokku, min |
|----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 29007420-R5 | 15080 | 42,18 | 31,64 | 15 | 88,82 |
| 29007445-R5 | 15080 | 42,18 | 31,64 | 15 | 88,82 |
| 29039242-R0 | 18882 | 45,2 | 4,8 | - | 50,0 |
| 3020.1231-RH | 5114 | 12,95 | 3,5 | 10 | 26,1 |
| 3020.1232-RH | 5114 | 12,95 | 3,5 | 10 | 26,1 |
| 3020.0370-RF | 2776 | 8,18 | 4,1 | 12 | 24,28 |
| 3020.0957-R0 | 2776 | 8,18 | 4,1 | 12 | 24,28 |
| 3020.0958-R0 | 2776 | 8,18 | 4,1 | 12 | 24,28 |
| 3020.0372-RF | 2980 | 8,39 | 4,2 | 15 | 27,59 |
| 3020.1234-RD | 3042 | 5,96 | 3 | 15 | 23,96 |

6.3 Juurutatava robotkeevitusjaama koormatus

Juurutatava robotkeevitusjaama koormatuse määramiseks tuleb kõigepealt määrata selle efektiivne tööajafond. Selleks kasutan järgmist valemit (6.3.1):

$$F_{ef} = (K - P_u - P_{\bar{u}}) \cdot V_a \cdot V_k \cdot k \quad (6.3.1)$$

kus F_{ef} – robotkeevituse jaama efektiivne tööajafond tundides,
 K – kalendripäevade arv aastas, 365 päeva,
 P_u – puhkepäevade arv aastas, 104 päeva,

$P_{\bar{u}}$ – pühade arv aastas, 9 päeva,

V_a – vahetuste arv, 1 vahetus,

V_k – vahetuse kestus, 8 tundi,

k – seadme kasuliku kasutamise tegur; $k = 0,92...0,98$; Valin $k = 0,95$.

Seega, juurutatava robotkeevitusjaama efektiivne tööajafond on võrdne:

$$F_{ef} = (K - P_u - P_{\bar{u}}) \cdot V_a \cdot V_k \cdot k = (365 - 104 - 9) \cdot 1 \cdot 8 \cdot 0,95 = 1975 \text{ tundi}$$

Korrutades tabelis 4.7.1 toodud aastased tootmismahud tabelis 6.2.1 kajastatud keevitustsükli aegadega saan arvutada aastase tootmisprogrammi täitmiseks kuluv aeg ja määrata juurutatava robotkeevitusjaama koormatus. Saadud tulemused on kajastatud tabelis 6.3.1.

Tabel 6.3.1 Juurutatava robotkeevitusjaama koormatus

| Toote joonise number | Keevitustsükkel, min | Aastane tootmismahut, tk | Töötunde aastas | % efektiivsest tööajafondist |
|----------------------|----------------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|
| 29007420-R5 | 88,82 | 160 | 236,85 | 11,99 |
| 29007445-R5 | 88,82 | 160 | 236,85 | 11,99 |
| 29039242-R0 | 50,0 | 240 | 200 | 10,13 |
| 3020.1231-RH | 26,1 | 800 | 348 | 17,62 |
| 3020.1232-RH | 26,1 | 780 | 339,3 | 17,18 |
| 3020.0370-RF | 24,28 | 49 | 19,83 | 1,00 |
| 3020.0957-R0 | 24,28 | 475 | 192,22 | 9,73 |
| 3020.0958-R0 | 24,28 | 475 | 192,22 | 9,73 |
| 3020.0372-RF | 27,59 | 40 | 18,39 | 0,93 |
| 3020.1234-RD | 23,96 | 170 | 67,89 | 3,44 |
| Kokku: | | | 1851,55 | 93,75 |

Valitud tooted koormavad robotkeevitusjaama 1852 tundi aastas, mis moodustab 93,8% selle efektiivsest tööajafondist eeldusel, et töö toimub ühes vahetuses.

7. ROBOTSÜSTEEMI LOOMINE ROBOTSTUDIOS

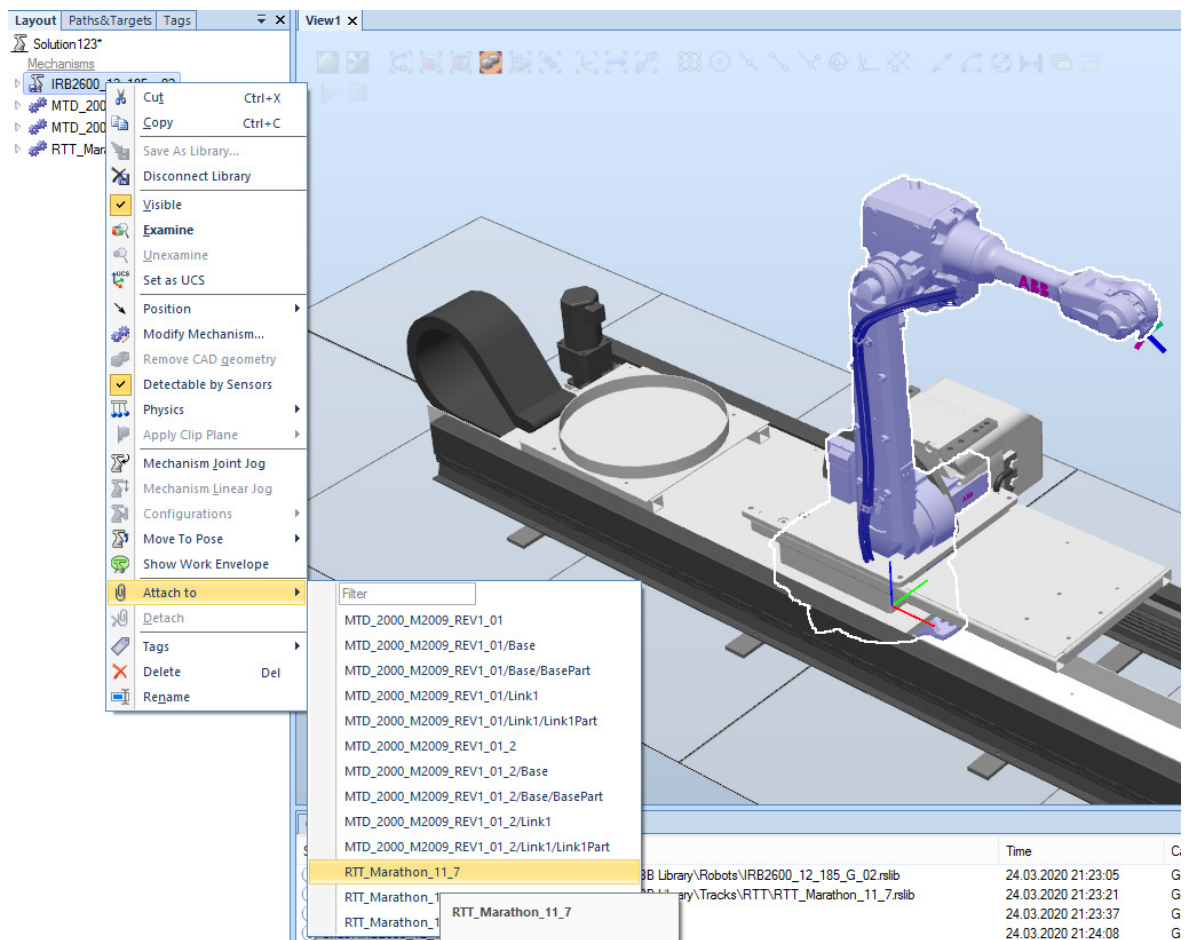
Käesolevas peatükis vaatlen robotsüsteemi loomise tarkvaras RobotStudio.

Kuna antud peatüki kirjutamise hetkel robotkeevitusjaam ei olnud veel lõpuni paigaldatud ja kalibreeritud, loon virtuaalse robotsüsteemi, lähtuvalt joonisel 3.4.1 toodud asendiplaanist. Virtuaalses robotsüsteemis loodud programme päris elus kasutada ei saa, kuid saab lahendada lõputöös püstitatud ülesanded õppe-eesmärgil.

7.1 Virtuaalse robotsüsteemi loomine

Virtuaalse süsteemi loomiseks valin „Solution with Empty station“ variandi RobotStudio esilehel. Kõigepealt importeerin robotsüsteemi tööstusrobotit IRB 2600-12/1.85 ja liikumisplatvormi RTT Marathon 11.7. Need mehhanismid on kättesaadavad menüü „ABB library“ alt. ABB mudelite kogust allalaetud mehhanismide liikumised on ette kirjeldatud, mis väga lihtsustab ja kiirendab simulatsioonide loomist.

Seejärel kinnitan tööstusrobotit liikumisplatvormi külge, kasutades käsku „Attach to“.

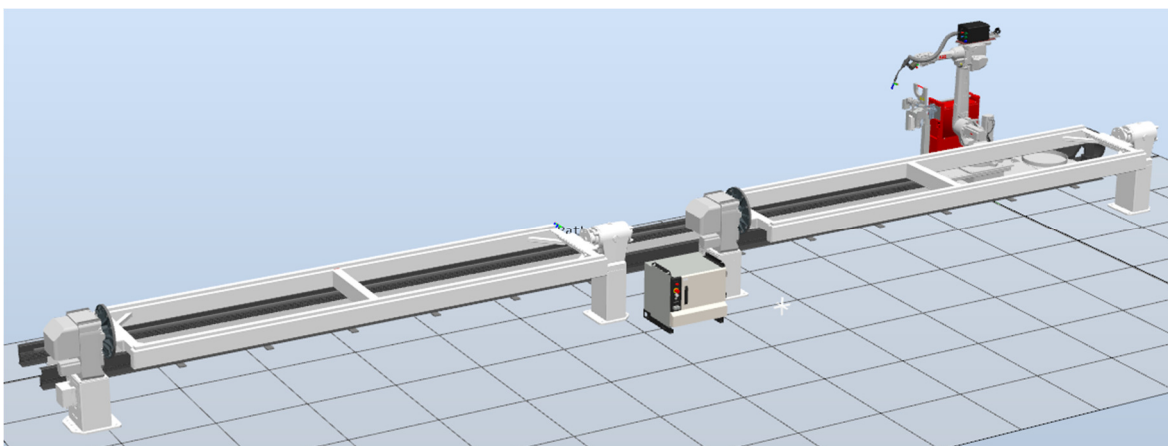


Joonis 7.1.1. Tööstusroboti kinnitamine liikumisplatvormi külge

Järgmise sammuna impordeerin positsioneerimisseadme mehhanismid. Valin ABB mudelite kogust positsioneer MTB tõstevõimega 2 tonni. Kasutades käsku "Set Position" määrän mehhanismide positsiooni vastavalt joonisel 3.4.1 toodud robotjaama asendiplaanile.

Impordeerin positsioneerimisseadme ülejäänud komponendid, kinnitan töölauda mudelit positsioneer MTB külge, kasutades käsku "Attach to". Kontrollin, et positsioneer pööramisel töölaud liikub kaasa.

Viimase sammuna impordeerin keevituspõleti, keevituspõleti puhastusseadet, traadisöötjat, keevitusaparaati ja kontrolleri IRC5. Määrän impordeeritud komponentide asukohad, kinnitan keevitusseadmed tööstusroboti ning liikumisplatvormi külge.



Joonis 7.1.2. Loodud virtuaalne robotsüsteem

Süsteemi toimimiseks tuleb luua virtuaalne kontrolleri. Selleks kasutan "Home" vahelehel olevat käsku "Virtual Controller -> From Layout".

Loodud robotsüsteem koos virtuaalse kontrolleri on mõistlik salvestada, kasutades käsku "Pack&Go". Salvestatud arhiiv saab kasutada alusfailina iga uue programmi loomisel. Pärast süsteemi lahti pakkimist tuleb süsteemis sisalduvat virtuaalkontroller ümbernimetada. Juhul kui mitu programmi on seotud ühe virtuaalse kontrolleri, võib tekkida olukord, kus ühes programmis tekkinud viga rikkub teiste robotsüsteemide tööd.

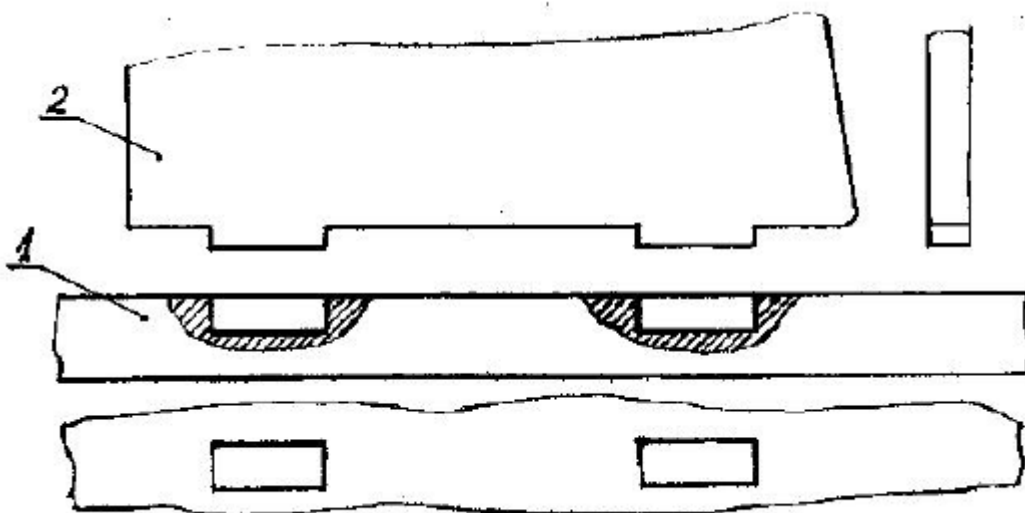
8. RAKISTE PROJEKTEERIMINE

Robotiga keevitatavatele toodetele rakistuse projekteerimisel lähtun metallkonstruktsiooni rakistele esitatud põhinõuetest:

- Rakise konstruktsioon peab olema vastupidav ja selle tugevus peab vastavama koostatava toote massile;
- Rakis peab tagama toote või koostatavate detailide positsioneerimise täpsus ja korratavus;
- Keevitavate detailide positsioneerimine ja kinnitamine peab toimuma võimalikult kiiresti;
- Rakise konstruktsioon peab olema lihtne ja tagama piisavat juurdepääsu keevitustsooni;
- Rakise teisaldamine peab olema mugav ja ohutu.

Rakise projekteerimisel tuleb samuti lähtuda ettevõtte tehnoloogilistest võimalustest ning pidada silmas, et rakise valmistamise kulud oleksid otstarbelised.

Kõige odavam ja koostamise poolt lihtsam rakise valmistamise viis oleks nii nimetav „tasku meetod“. Meetod põhineb sellel, et laserlöikusega lehtmaterjalist põhidetallile lõigatakse ristkülikukujuline ava (tasku) ja vastasdetailile samas mõõdus täiendavad tapid. Tasku laius on võrdne paigaldatava detaili lehtmaterjali paksusega. Lõiketäpsus võimaldab detailide koostamise teostada ka kerge pingistuga otseselt või täiendava rihtimisega. Taoline tehnoloogiline võtta lihtsustab rakistuse konstruktsiooni ja vähendab tema maksumust [8: 79].



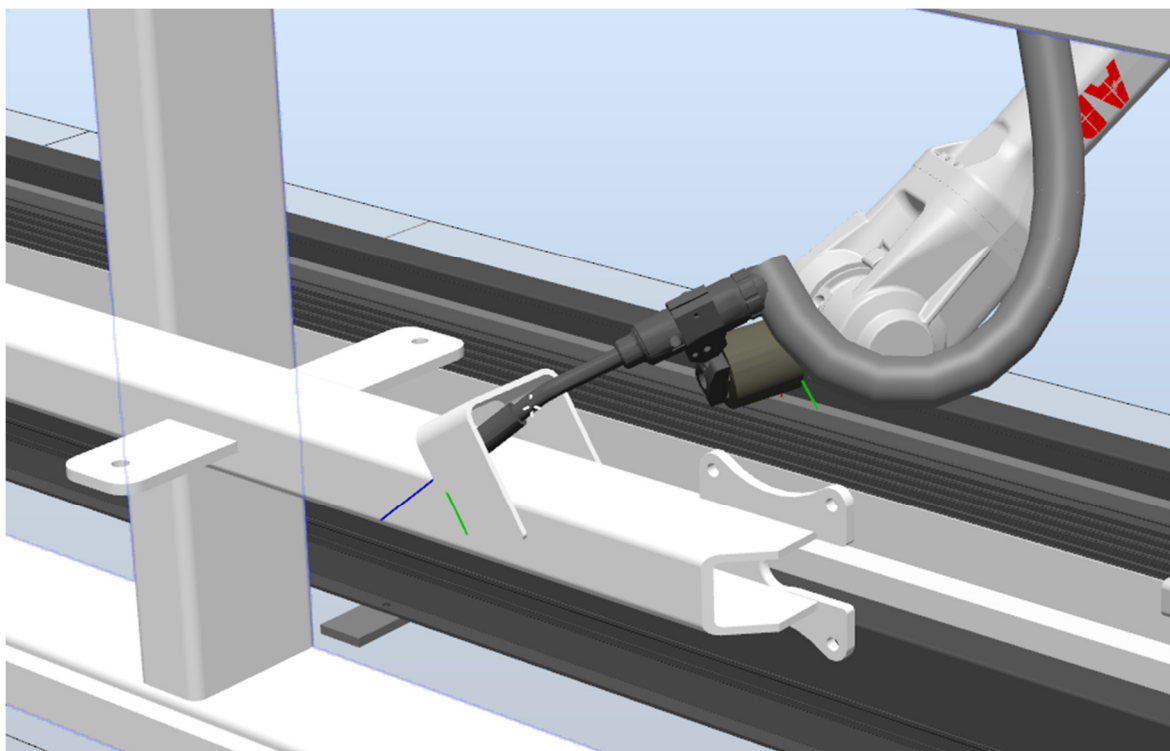
Joonis 8.1 1 – Alusdetail taskuga; 2 – liidetav detail tapiga [8: 80]

8.1 Rakis toodetele 3020.1231-RH ja 3020.1232-RH

Toodete 3020.1231-RH ja 3020.1232-RH koostamine ja keevitamine ühes ja samas rakises robotkeevitusel osutub võimatuks kuna suure tõenäosusega rakis piiraks juurdepääsetavust keevitustsooni. Seega, robotkeevituse operatsioon vajab lihtsat rakist, mille abil saaks eelnevalt koostatud toodet positsioneerida, tagades positsioneerimise täpsuse ja korratavuse.

8.1.1 Toote asendi ja paigutuse valik

Projekteerimist alustan sellest, et toon robotsüsteemi keskkonna toote mudeli ja määran, mis asendis oleks parem tagatud juurdepääsetavus keevitustsooni. Seda tuleb silmas pidada ka toote paigutamise valimisel töölaual. Kasutades tööprotsessi simuleerimist veendun, et valitud paigutusel robot pääseb ligi kõikidele keevisõmblustele ja et pole takistusi tööliikumiste sooritamiseks.

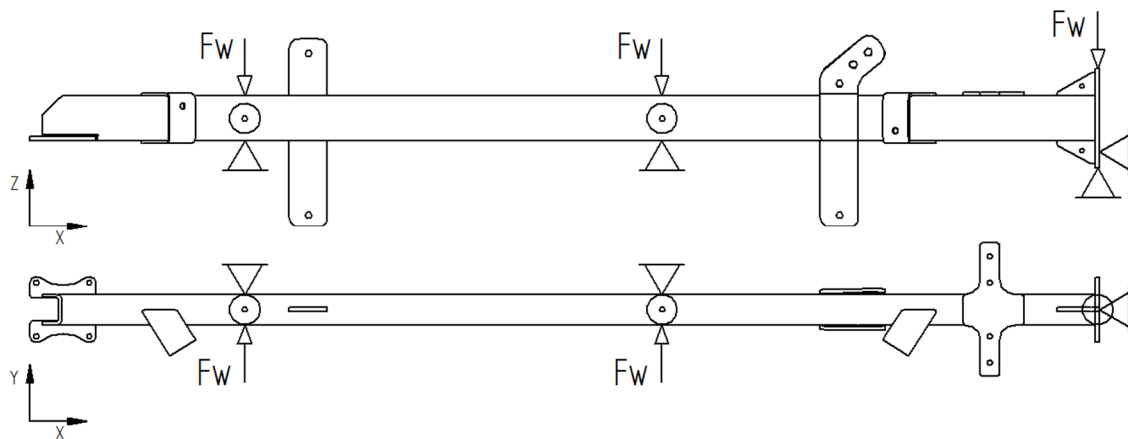


Joonis 8.1.1.1 Juurdepääsetavuse kontroll

8.1.2 Toote paigalduskeem rakisesse

Toote paigalduskeemi koostamisel lähtun nii nimetava 6 punkti seadusest, mille kohaselt toote täielikuks paigalduseks tuleb piirata tema 6 vabadusastmeid kõigi kolme koordinaadi x , y ja z suhtes.

Määrän rakise paigalduselementide ja kinnitusmehhanismide asukoha ja koostan toote paigalduskeemi.

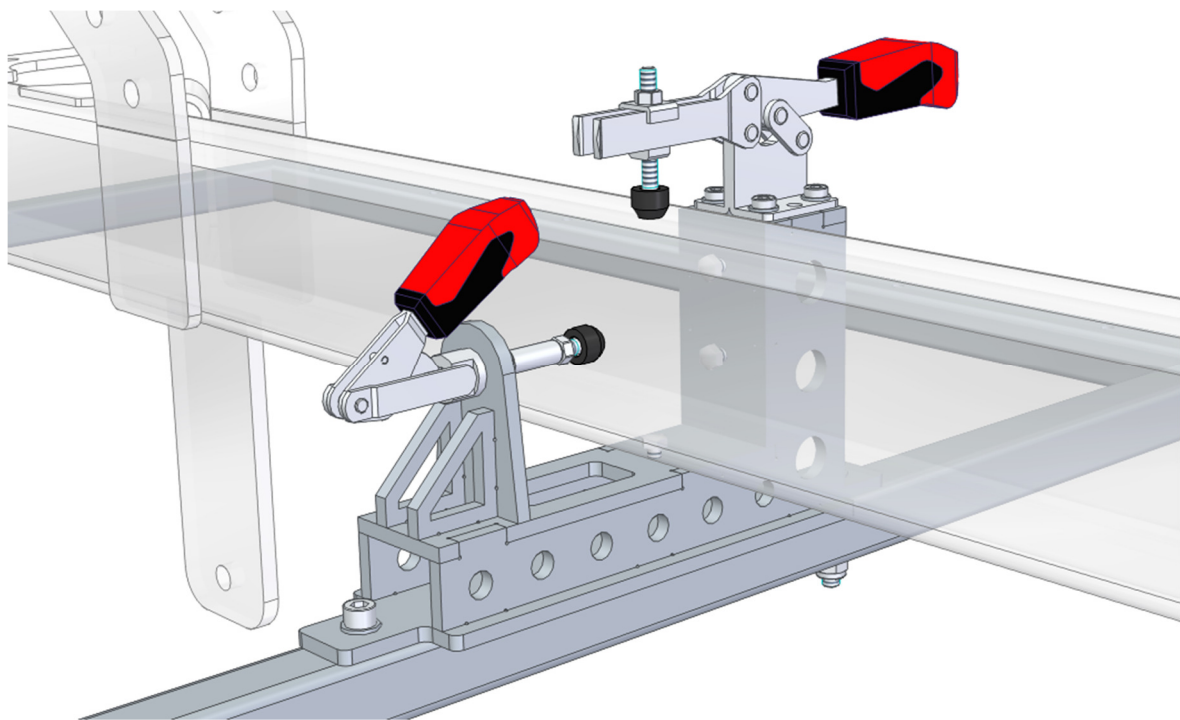


Joonis 8.1.2.1 Toote paigalduskeem rakisesse

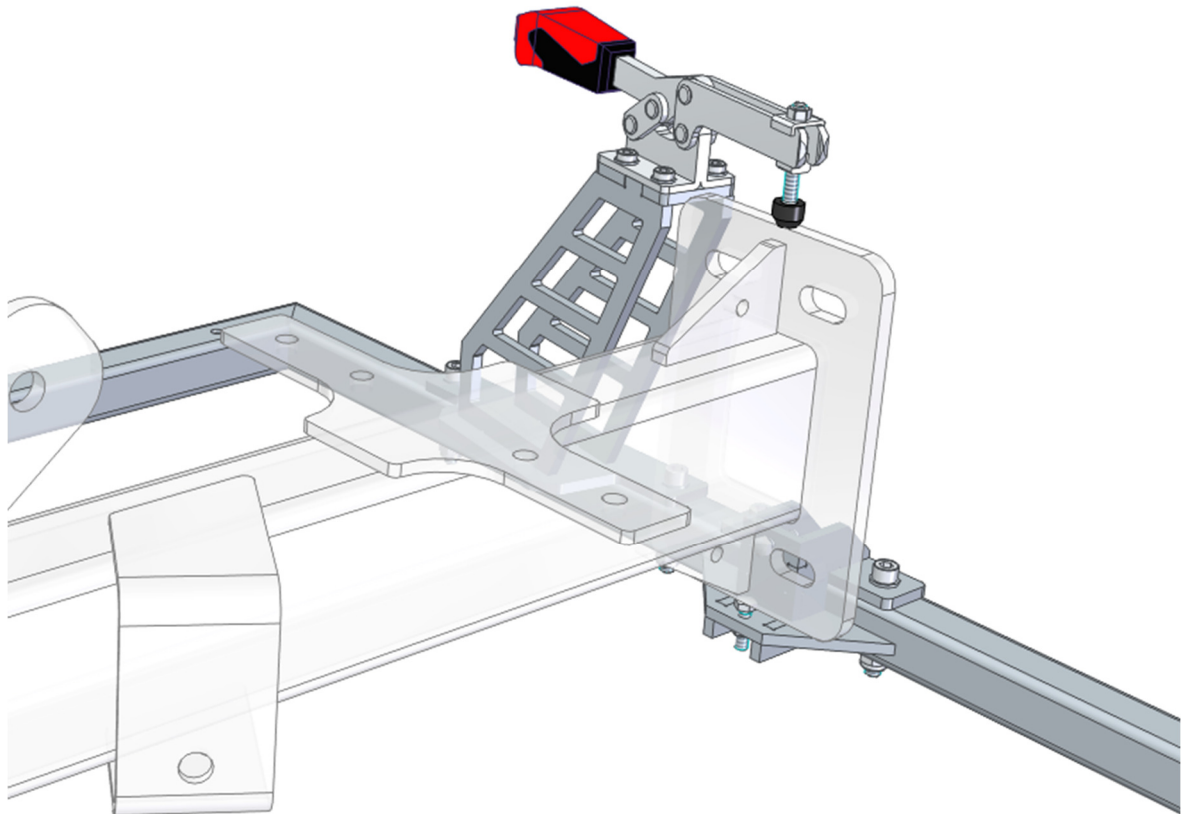
8.1.4 Rakise konstruktsiooni kirjeldus

Rakise konstruktsiooni loomist alustan sellest, et lisan toote mudelile paigalduselemendid ja kinnitusmehhanismid vastavalt eelnevalt koostatud paigalduskeemile. Paigalduselementideks kasutan karastatud tugisõrme. Toote kiirema kinnitamise eesmärgil kasutan vânt-kang kiirkinniteid.

Sidun paigalduselemendid ja kinnitusmehhanismid ühes alamkoostus, projekteerides nende ümber lehtterasest detailid.

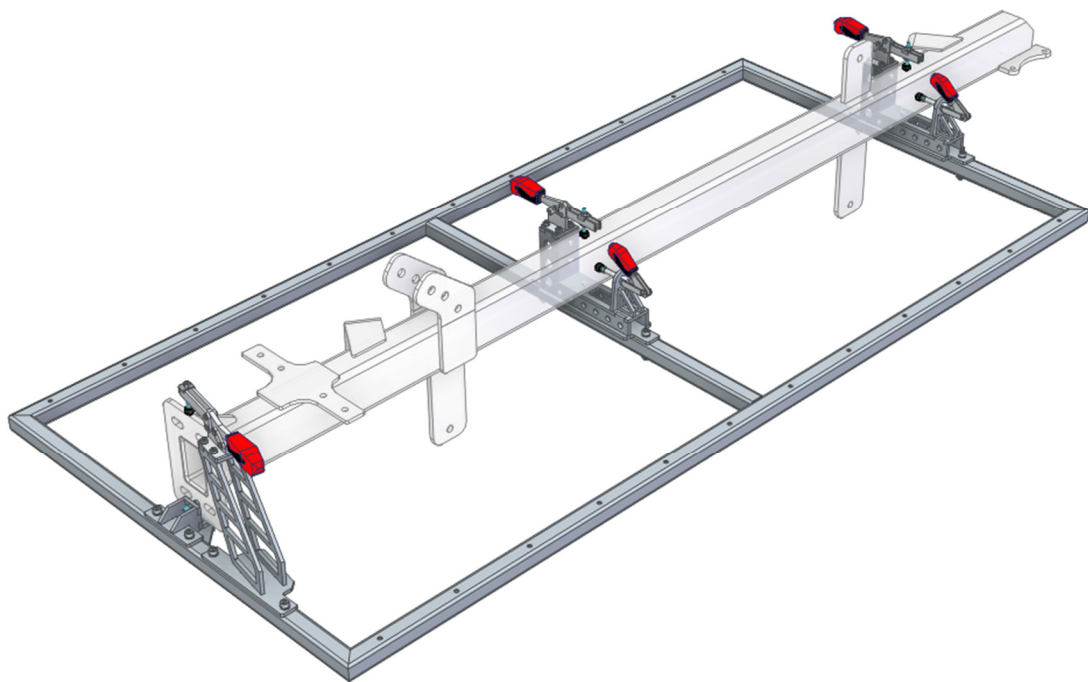


Joonis 8.1.4.1 Toote positioneerimine ja kinnitamine Y ja Z telgede suhtes

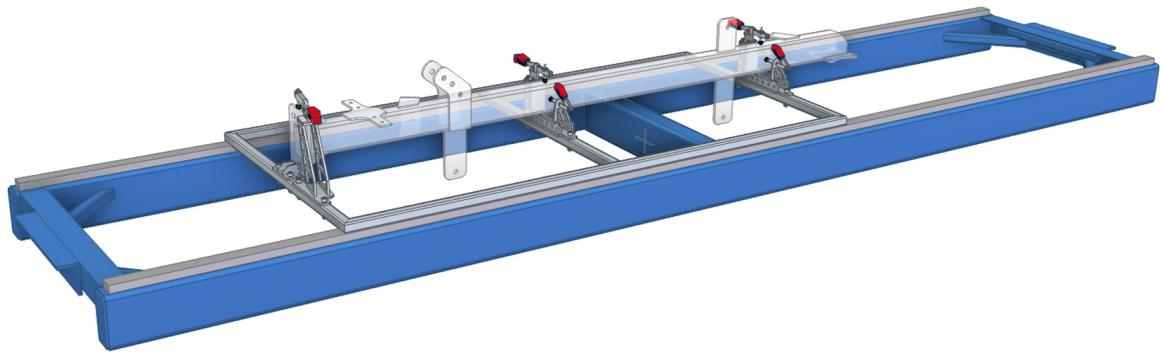


Joonis 8.1.4.2 Toote positioneerimine ja kinnitamine X telgede suhtes

Projekteeritud alamkoostud kinnitan ühise raami külge M10 sisekuuskantpoltide ja lukustusmutrite abil. Rakise alusraami projekteerin S235 nelikanttorust 40x40 seinapaksusega 3 mm.



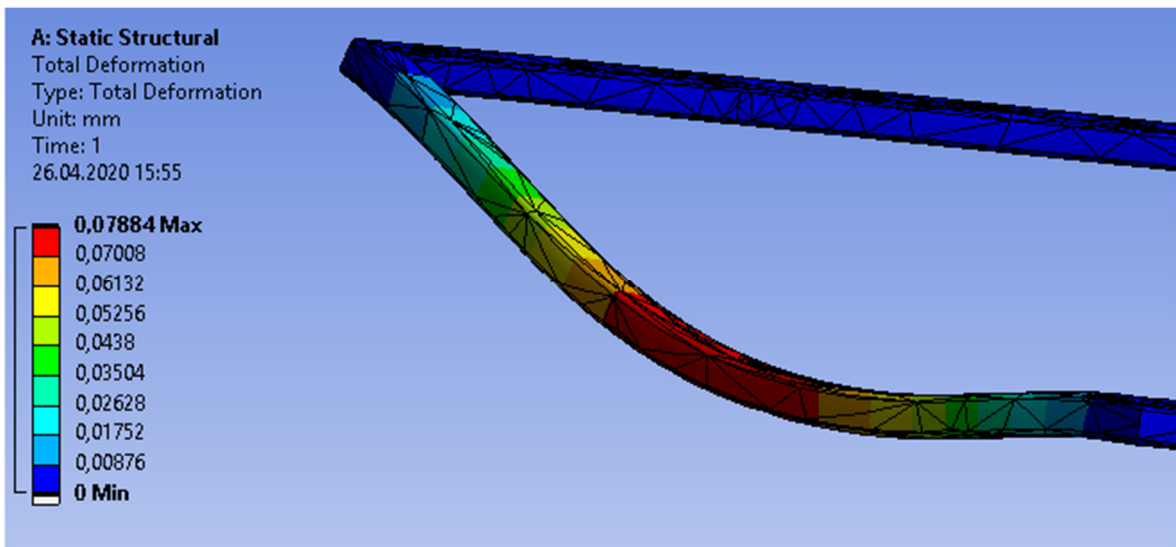
Joonis 8.1.4.3 Toodete 3020.1231-RH ja 3020.1232-RH robotkeevituseks projekteeritud rakis



Joonis 8.1.4.4 Projekteeritud rakis robotkeevitusjaama töölaual

8.1.5 Raami tugevusarvutus

Kontrollin, et raami läbipaindumine, kui rakisele on toode peale laetud, jääb lubatud vahemikku 0,2 mm. Tugevusarvutuse teostamiseks kasutan tarkvara Ansys Workbench 2019. Arvutuse tulemusena saadud raami deformatsioon on 0,08 mm.



Joonis 8.1.5.1. Rakise raami deformatsioon kui toode on peale laetud

8.1.6 Rakise kinnitusjõu kontroll

Rakise projekteerimisel tuleb veenduda, et rakise kinnitusmehhanismide poolt arendatav kinnitusjõud F_w on suurem kui kinnitatava toote raskusjõud F_G .

Kõigepealt leian toote raskusjõu valemiga (8.1.6):

$$F_G = mg \tag{8.1.6}$$

kus F_G – toote raskusjõud, N,
 m – toote mass, kg; toote 3020.1231-RH puhul $m = 80,7$ kg,
 g – raskuskiirendus, $g \approx 9,8$ m/s².

Seega, toote poolt arendatav raskusjõud on võrdne:

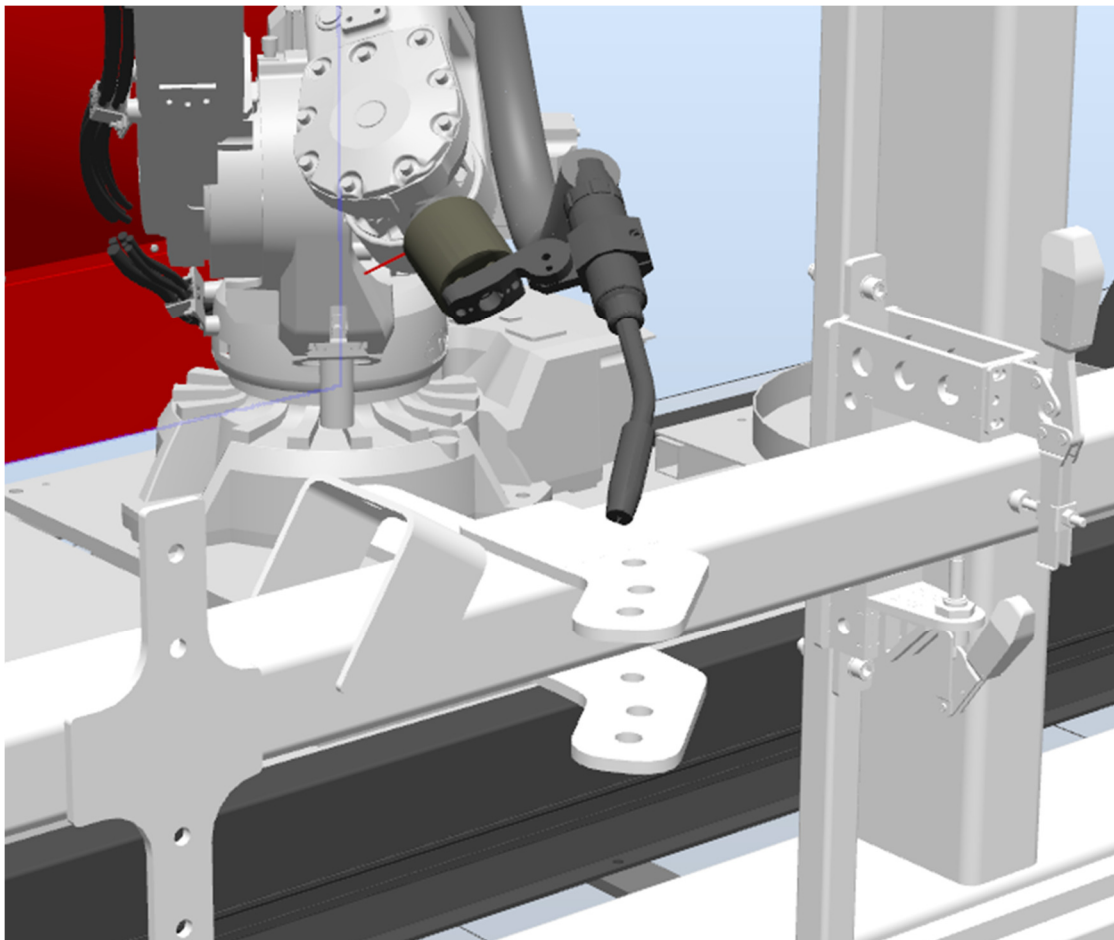
$$F_G = mg = 80,7 \cdot 9,8 \approx 791 \text{ N}$$

Rakise konstruktsioonis on ette nähtud kaks kinnitusklambri AMF 6830-3 ja üks klamber AMF 6830-4 [9: 30], mis arendavad summaarse kinnitusjõu 5,6 kN paigaldusskeemi Z telje suunas (vt. Joonis 8.1.2.1). Y telje suunas toodet hoiavad veel kaks kinnitusklambri AMF 6840-3 [9: 46], millede summaarne kinnitusjõu on võrdne 5 kN. Seega, tingimus $F_w > F_G$ on tagatud piisava riskikoefitsiendiga.

Toote pöörlemisel positsioneerimisseadme abil, klambritele võivad mõjutada ka dünaamilised koormused, nende vähendamiseks piiran ära programmis pöörlemiskiirust (maksimaalselt 1 pööre sekundis).

8.1.7 Juurdepääsetavuse kontroll

Toon projekteeritud rakise mudeli koos toote mudeliga robotsüsteemi sisse ja veendun, et rakis ei piira juurdepääsetavust keevitustsooni ja et robot ei pörka kokku rakise elementidega kogu tööliikumise vältel.



Joonis 8.1.7.1 Juurdepääsetavuse kontroll (toode koos rakisega)

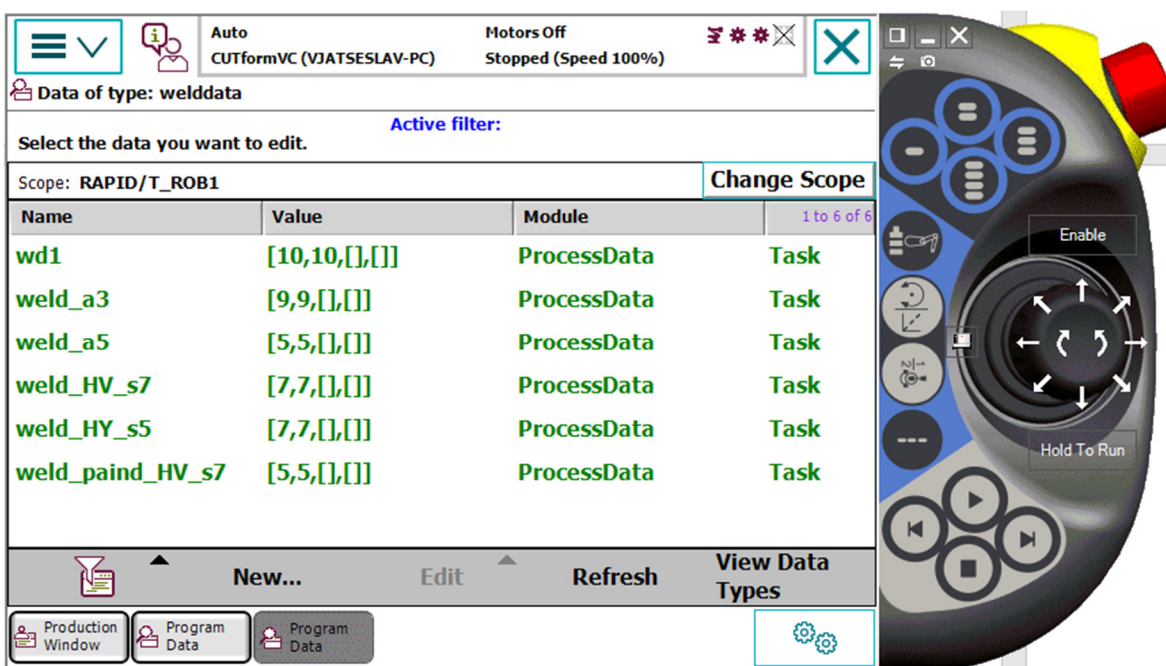
9. ROBOTI PROGRAMEERIMINE

Keevitusroboti programmeerimine viin läbi nii nimetatud offline meetodi abil, kasutades tarkvara RobotStudio 2019 ja selle moodulit ArcWelding PowerPac 2.

Keevitamise tööliikumiste korrektseks loomiseks tuleb importeerida liikumisjuhiste malli nimega Arc.xml. Seda saab teha vajutades Home -> Path programming -> Import. Vajalik fail asub alamkaustas "Instruction Templates".

9.1 Programmi loomine tootele 3020.1231-RH

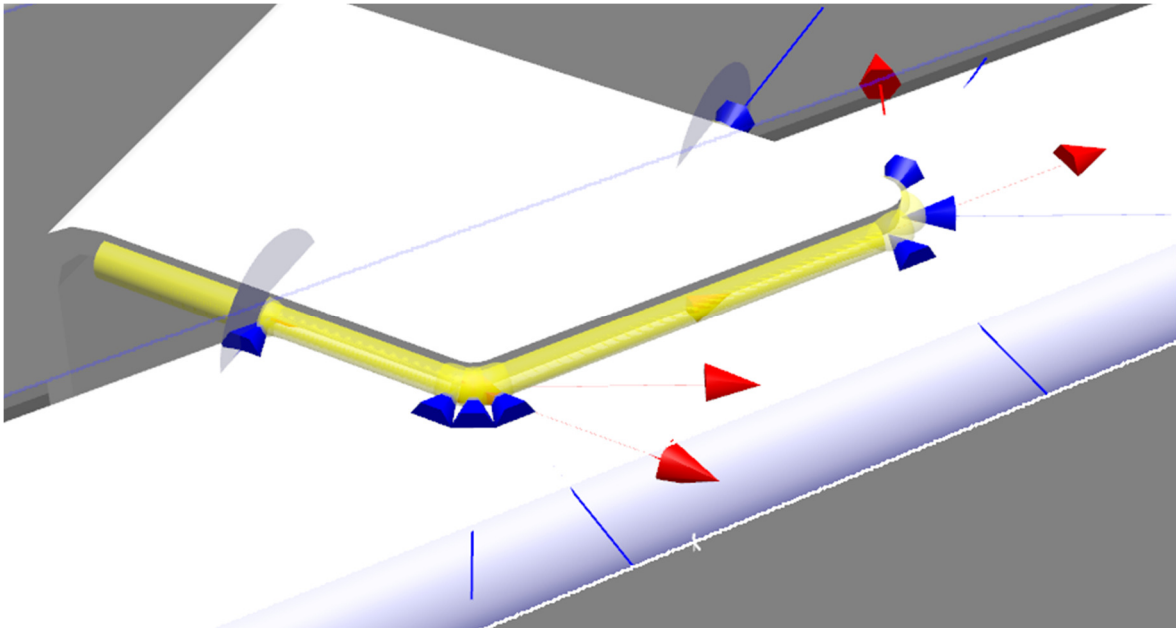
Programmi loomist alustan sellest, et loon kontrollerris vajalikud andmed keeviskiiruste kohta. Selleks loon kontrollerris (Menu -> Program Data -> welddata) uued keevisõmbuste andmed (vt. Joonis 9.1.1). Andmete loomisel kasutan tabelis 6.1.3 toodud keevituskiirused.



| Name | Value | Module |
|------------------|---------------|-------------|
| wd1 | [10,10,[],[]] | ProcessData |
| weld_a3 | [9,9,[],[]] | ProcessData |
| weld_a5 | [5,5,[],[]] | ProcessData |
| weld_HV_s7 | [7,7,[],[]] | ProcessData |
| weld_HY_s5 | [7,7,[],[]] | ProcessData |
| weld_paind_HV_s7 | [5,5,[],[]] | ProcessData |

Joonis 9.1.1 Keevisõmbuste andmete loomine kontrollerris

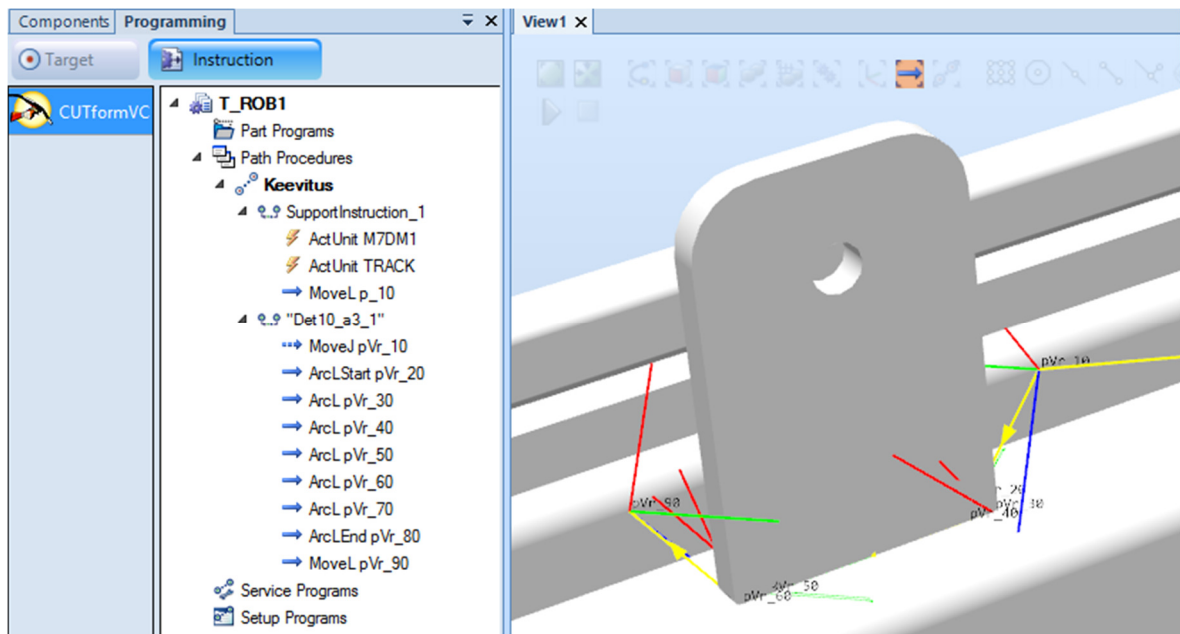
Järgmise sammuna määran keeviste asukohad toote mudeli peal, luues nii nimetavad protsessi markeerimisi (Process Markups). Loon need järjest, keevitusjärjekord määratakse hiljem, tööradade loomisel. Markeerimiste nimetused tähistan keevitatava detaili positsiooni numbriga, et programmeerimisel oleks arusaadavam mis konkreetse keevisega on tegu.



Joonis 9.1.2 Keevisõmbluste markeerimine toote mudeli peal

Kui kõikidele keevistele on loodud protsessi markeerimised, saab alustada robotite ja manipulaatorite liikumiste simuleerimisega. Selleks loon uue programmi ja kõigepealt aktiveerin positsioneerimise ja liikumisplatvormi käsuga Insert Move Instruction -> ActUnit. See on vajalik selleks, et sihtpunktide ja liikumiste loomisel kontrolleri võtaks arvesse manipulaatorite asendid. Sünkroniseerin loodud käsklused programmi koodiga, vajutades käsku "Synchronize to RAPID" ja käivitan programmi simulatsiooni.

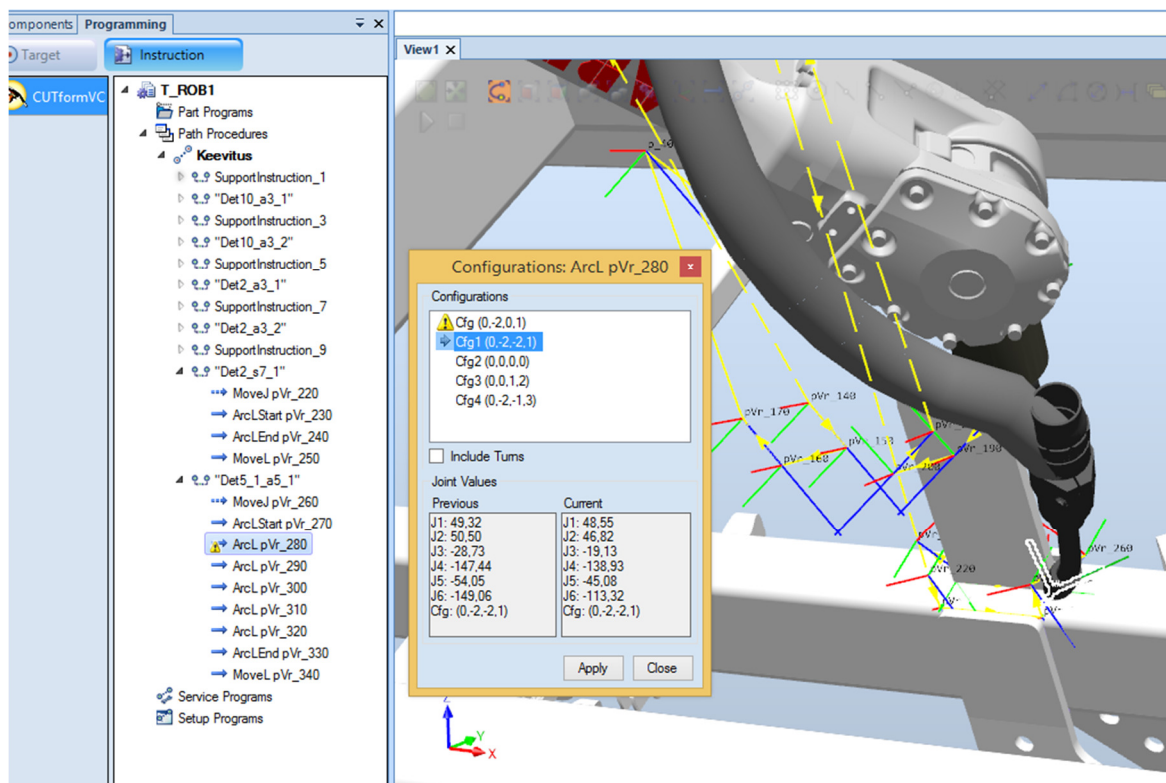
Seejärel toon robotit esimese keevitatava detaili juurde, kontrollin, et robot ulatub keevitussooni ja loon esimese vabaliikumise sihtpunkti.



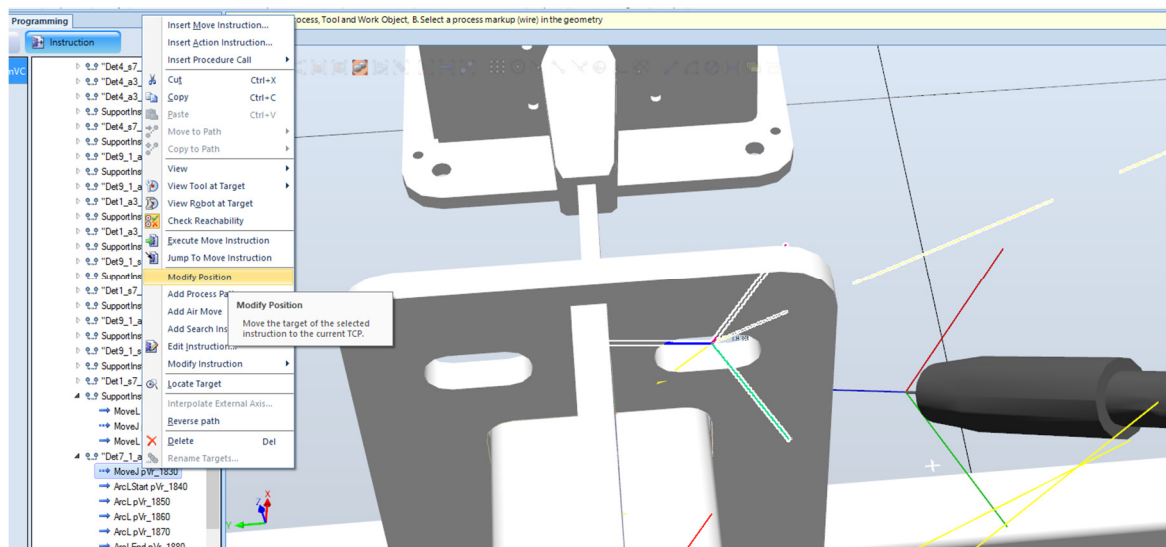
Joonis 9.1.3 Tõraja sihtpunktide määramine ja liikumisjuhiste loomine

Kasutades käsku "Insert Process Path" loon roboti tööliikumised, valides eelnevalt ettevalmistatud protsessi markeerimised. Toon keevituspõleti keevitustsooni, vajadusel muudan selle nurka ja veendun, et robot ei põrka kokku töölaua või rakise elementidega. Pärast trajektoori loomist määran keevituskiiruse, valides vajaliku keevisõmbeluse tüübi liikumisjuhise redigeerimise aknas.

Kordan ülalkirjeldatud tegevused ülejäanud detailidega, luues robotile sihtpunktid ning vaba- ja tööliikumiste trajektoore. Jälgin, et robot ei sooritaks üleliigseid pöramisi, vajadusel korrigeerin roboti konfiguratsiooni või sihtpunkti asukoha.



Joonis 9.1.4 Roboti konfiguratsiooni vahetus



Joonis 9.1.5 Sihtpunkti uuendamine põleti ja detaili kokkupõrke vältimiseks

Selleks, et vajadusel saaks muuta keevitusjärjekorda programmis, soovitatakse jagada programmi koodi protseduuride kaupa. Alljärgneval joonisel toon ühe keevitusprotseduuri RAPID koodi näite. Terve programmi kood on toodud Lisal 1.

```
T_ROB1/Toode1231 x
411 PROC Det10()
412   ActUnit M7DM1;
413   ActUnit TRACK;
414   MoveL p_10,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
415   MoveJ pVr_10,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
416   ArcLStart pVr_20,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det10_a3_1";
417   ArcL pVr_30,v1000,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
418   ArcL pVr_40,v1000,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
419   ArcL pVr_50,v1000,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
420   ArcL pVr_60,v1000,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
421   ArcL pVr_70,v1000,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
422   ArcLEnd pVr_80,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
423   MoveL pVr_90,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
424   MoveL p_20,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
425   MoveJ pVr_100,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
426   ArcLStart pVr_110,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det10_a3_2";
427   ArcLEnd pVr_120,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
428   MoveL pVr_130,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
429   MoveJ p_50,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
430   ENDPROC
```

Joonis 9.1.6. Loodud programmi RAPID koodi näide

Joonisel toodud koodi saab tõlgendada järgnevalt:

- Rida 411 – protseduuri Det10 algus;
- Rida 412 – positsioneerimisseadme aktiveerimine;
- Rida 413 – liikumisplatvormi aktiveerimine;
- Rida 414 – roboti liikumine mööda liikumisplatvormi;
- Rida 415 – roboti tööriista liikumine keevitatava detaili juurde;
- Rida 416 – keevituskaare põlemise algus;
- Read 417-421 – tööliikumine mööda programmeeritud trajektoori;
- Rida 422 – keevituskaare põlemise lõpp;
- Rida 423 – roboti tööriista viimine keevitustsoonist eemale;
- Rida 424 – roboti telgede viimine kodupositsiooni;
- Rida 425 – positsioneerimisseadme pööramine ja roboti tööriista liikumine keevitatava detailide juurde;
- Rida 426 – keevituskaare põlemise algus;
- Rida 427 – keevituskaare põlemise lõpp;
- Rida 428 – roboti tööriista viimine keevitustsoonist eemale;
- Rida 429 – roboti telgede viimine kodupositsiooni;
- Rida 430 – protseduuri lõpp.

Virtuaalses robotsüsteemis loodud programmi päris elus kasutada ei saa, kuid selle abil saan veenduda, et käesoleva lõputöö käigus projekteeritud rakis sobib antud keevitusoperatsiooni sooritamiseks. Teiseks saan kontrollida, kas antud operatsioonile eelarvestatud tööaeg langeb kokku protsessi simulatsiooni tulemusena saadud ajaga.

Pärast protsessi simulatsiooni läbiviimist saan operatsiooni ajaks 15,5 minutit. Tabelis 6.2.1 on näha, et antud operatsioonile oli eelarvestatud 16,45 minutit (kaarepõlemis- + vabaliikumiste sooritamiseks ettenähtud aeg). Eelarvestatud aja erinevus simulatsiooni ajast koostab 6%. Saadud tulemuse põhjal saab eeldada, et ülejäänud tööajad on normeeritud täpsusega kuni 10%, mis on antud töö raames peetakse rahuldavaks tulemuseks.

Antud programmi loomine koos süsteemi ülesehitusega võttis ligikaudu 40 tundi aega. Sellele järgneb programmi katsetamine ning vajadusel selle muutmine ja täiendamine, mis hinnanguliselt võtab ka umbes 40 tundi. Iga toote ettevalmistamine robotkeevitamiseks on aeganõudev ja antud lõputöö raames vaadeldud toodete keevitusprotsesside robotiseerimine võib võtta 6-8 kuud.

10. MAJANDUSLIKUD ARVUTUSED

Antud peatükis vaatlen robotkeevitusjaama juurutamise majanduslikud aspektid. Majandusliku otstarbekuse hindamiseks tuleb võrrelda omavahel käsikeevitamisel ja robotkeevitamisel tekkiv kulu kuluelementide kaupa. Keevituskulude määramine on vajalik juurutatava robotkeevitusjaama edasiseks tasuvusaja arvutuseks. Keevituskulude hulka kuuluvad kulud lisametallile, kaitsegaasile, elektrienergiale, seadmete hooldusele ja tööjõule. Kulud lisametallile antud peatükis ei käsitle, kuna nad jäävad mõlema tehnoloogia puhul samaks.

Kulud kaitsegaasile ja elektrienergiale arvutatakse keevisõmbuse meetri kohta, seega ülejäänud kuluelemendid määratakse keevisõmbuse meetri kohta. Selleks kõigepealt leiame iga keevise puhul pealekeevitatud keevismetalli massi ja pealesulatusteguri. Järgmistes alapeatükides toon välja toote 29007420-R5 keevituskulude arvutusnäite, ülejäänud toodete keevituskulude arvutuse tulemused koondan tabelisse 10.2.1.

10.1 Keevituskulude arvutamine toote 29007420-R5 näitel

Nagu oli eelnevalt mainitud, kõigepealt leiame pealesulatusteguri, mis määrab keevitusprotsessi tootlikuse. Pealesulatustegurit saab väljendada lisametalli massi ja kaarepõlemisaja keevise meetri kohta suhtena, valemi (10.1.1) abil:

$$T = \frac{M}{T_{keev}} \cdot 60 \quad (10.1.1)$$

kus T – pealesulatustegur, kg/h,
 M – keevismetalli ühe meetri mass, kg/m,
 T_{keev} – kaarepõlemisaeg keevise meetri kohta, min/m.

Keevismetalli massi keevisõmbuse ühe meetra kohta leiame vastavalt valemile (10.1.2):

$$M = S \cdot \rho \quad (10.1.2)$$

kus S – keevisõmbuse ristlõikepindala, m²,
 ρ – tihedus, terase puhul $\rho = 7800$ kg/m³.

Toote 29007420-R5 puhul tegemist on HV-põkkliidetega, keevitatakse kaks 8 mm paks plaati keevisõmblustega s8. Tootel on kaks sellist keevisõmblust, nende pikkused

vastavalt 3730 mm ja 3810 mm. Antud keevisõmbluste ristlõikepindalaks võtan 32 mm². Keevisõmblustel on kaks läbimit, millede ristlõikepindalaks võtan 14 mm² ja 18 mm² vastavalt. Seega:

$$M_{\text{l\u00e4bim1}} = S_{\text{l\u00e4bim1}} \cdot \rho = 14 \cdot 10^{-6} \cdot 7800 = 0,11 \text{ kg/m}$$

$$M_{\text{l\u00e4bim2}} = S_{\text{l\u00e4bim2}} \cdot \rho = 18 \cdot 10^{-6} \cdot 7800 = 0,14 \text{ kg/m}$$

Kaarep\u00f5lemisaeg keevis\u00f5mbluste meetri kohta leian kasutades valemit (10.1.3):

$$T_{\text{keev}} = \frac{1}{V_{\text{keev}} \cdot 10^{-3}} \quad (10.1.3)$$

kus V_{keev} – keevituskiirus, mm/min. V\u00f5tan keskmised v\u00e4\u00e4rtused tabelist 6.1.1

Seega:

$$T_{\text{keevl\u00e4bim1robot}} = \frac{1}{330 \cdot 10^{-3}} = 3,03 \text{ min/m}$$

$$T_{\text{keevl\u00e4bim2robot}} = \frac{1}{390 \cdot 10^{-3}} = 2,56 \text{ min/m}$$

$$T_{\text{keevl\u00e4bim1kk}} = \frac{1}{205 \cdot 10^{-3}} = 4,88 \text{ min/m}$$

$$T_{\text{keevl\u00e4bim2kk}} = \frac{1}{215 \cdot 10^{-3}} = 4,65 \text{ min/m}$$

Saan v\u00e4ljendada pealesulatusteguri:

$$T_{\text{l\u00e4bim1robot}} = \frac{M_{\text{l\u00e4bim1}}}{T_{\text{keevl\u00e4bim1robot}}} \cdot 60 = 2,16 \text{ kg/h}$$

$$T_{\text{l\u00e4bim2robot}} = \frac{M_{\text{l\u00e4bim2}}}{T_{\text{keevl\u00e4bim2robot}}} \cdot 60 = 3,29 \text{ kg/h}$$

$$T_{\text{l\u00e4bim1kk}} = \frac{M_{\text{l\u00e4bim1}}}{T_{\text{keevl\u00e4bim1kk}}} \cdot 60 = 1,34 \text{ kg/h}$$

$$T_{\text{l\u00e4bim2kk}} = \frac{M_{\text{l\u00e4bim2}}}{T_{\text{keevl\u00e4bim2kk}}} \cdot 60 = 1,81 \text{ kg/h}$$

Edasiste arvutuste tarbeks leian ka kaare suhtelise põlemisaja, mis on keevituskaare põlemisaja suhe keevitustsükli suhtes. Selleks kasutan valemit (10.1.4):

$$e = \frac{T_{kaar}}{T_{tsükkel}} \quad (10.1.4)$$

kus e – kaare suhteline põlemisaeg,

T_{kaar} – kaare põlemisaeg, min.

$T_{tsükkel}$ – keevitustsükkel, min.

Kaare põlemisaja ja keevitustsükli ajad võtan tabelitest 5.5.1 ja 6.2.1. Seega:

$$e_{robot} = \frac{T_{kaar_{robot}}}{T_{tsükkel_{robot}}} = 0,47$$

$$e_{kk} = \frac{T_{kaar_{kk}}}{T_{tsükkel_{kk}}} = 0,16$$

Järgmise sammuna leian kulud kaitsegaasile vastavalt valemile (10.1.5):

$$K_g = \frac{M}{T} \cdot V \cdot H_g \cdot K \quad (10.1.5)$$

kus K_g – kulud kaitsegaasile keevisõmbuse ühe meetri kohta, eur/m,

V – kaitsegaasi kulunorm, l/min; võtan WPS-idest,

H_g – kaitsegaasi hind, eur/m³; käsikeevitusel $H_g = 3,15$ eur/m³, robotkeevitusel

$H_g = 1,52$ eur/m³,

K – koefitsient, segugaasi puhul võetakse $K = 0,06$.

Leian kaitsegaasi kulud:

$$K_{g_{l\grave{a}bim1robot}} = \frac{M_{l\grave{a}bim1}}{T_{l\grave{a}bim1robot}} \cdot V \cdot H_g \cdot K = \frac{0,11}{2,16} \cdot 20 \cdot 1,52 \cdot 0,06 = 0,09 \text{ eur/m}$$

$$K_{g_{l\grave{a}bim2robot}} = \frac{M_{l\grave{a}bim2}}{T_{l\grave{a}bim2robot}} \cdot V \cdot H_g \cdot K = \frac{0,14}{3,29} \cdot 20 \cdot 1,52 \cdot 0,06 = 0,08 \text{ eur/m}$$

$$K_{g_{l\grave{a}bim1kk}} = \frac{M_{l\grave{a}bim1}}{T_{l\grave{a}bim1kk}} \cdot V \cdot H_g \cdot K = \frac{0,11}{1,34} \cdot 16 \cdot 3,15 \cdot 0,06 = 0,25 \text{ eur/m}$$

$$K_{g_{l\grave{a}bim2kk}} = \frac{M_{l\grave{a}bim2}}{T_{l\grave{a}bim2kk}} \cdot V \cdot H_g \cdot K = \frac{0,14}{1,81} \cdot 16 \cdot 3,15 \cdot 0,06 = 0,23 \text{ eur/m}$$

Summeerides kulud läbimite kohta ja korrutades neid keevisõmbluste pikkustega saan kaitsegaasi kulu toote kohta:

$$K_{g_{robot}} = (0,09 + 0,08) \cdot (3,73 + 3,81) = 1,28 \text{ eur/toode}$$

$$K_{g_{kk}} = (0,25 + 0,23) \cdot (3,73 + 3,81) = 3,62 \text{ eur/toode}$$

Leian kulud seadmete hooldusele kasutades valemit (10.1.5):

$$K_s = \frac{M}{T} \cdot \frac{1}{e} \cdot H_{st} \quad (10.1.5)$$

kus K_s – kulud seadmete hooldusele keevisõmbluste ühe meetri kohta, eur/m,
 H_{sh} – seadme hoolduskulud tunnis, eur/tund. Lean kasutades valemit (10.1.6).

$$H_{sh} = \frac{H_s \cdot y}{F_{ef}} \quad (10.1.6)$$

kus H_s – seadme ostuhind, eur; robotkeevitusajaamal võtan 300 000 eurot, käsikeevitusaparaadil võtan 12 000 eurot,
 y – hooldustegur, %; robotkeevitusajaamal võtan 3%, käsikeevitusaparaadil võtan 5%,
 F_{ef} – seadme efektiivne ajafond tundides; võtan 1975 tundi.

Leian seadmete hoolduskulu tunnis:

$$H_{sh_{robot}} = \frac{H_s \cdot y}{F_{ef}} = \frac{300000 \cdot 0,03}{1975} = 4,56 \text{ eur/h}$$

$$H_{sh_{kk}} = \frac{H_s \cdot y}{F_{ef}} = \frac{12000 \cdot 0,05}{1975} = 0,3 \text{ eur/h}$$

Määran kulud seadmetele keevisõmbluste ühe meetri kohta järgnevalt:

$$K_{S_{l\ddot{a}bim1robot}} = \frac{M_{l\ddot{a}bim1}}{T_{l\ddot{a}bim1robot}} \cdot \frac{1}{e_{robot}} \cdot H_{sh_{robot}} = \frac{0,11}{2,16} \cdot \frac{1}{0,47} \cdot 4,56 = 0,49 \text{ eur/m}$$

$$K_{S_{l\ddot{a}bim2robot}} = \frac{M_{l\ddot{a}bim2}}{T_{l\ddot{a}bim2robot}} \cdot \frac{1}{e_{robot}} \cdot H_{sh_{robot}} = \frac{0,14}{3,29} \cdot \frac{1}{0,47} \cdot 4,56 = 0,41 \text{ eur/m}$$

$$K_{S_{\text{läbim1kk}}} = \frac{M_{\text{läbim1}}}{T_{\text{läbim1käsikeevitus}}} \cdot \frac{1}{e_{kk}} \cdot H_{sh_{\text{käsikeevitus}}} = \frac{0,11}{1,34} \cdot \frac{1}{0,16} \cdot 0,3 = 0,15 \text{ eur/m}$$

$$K_{S_{\text{läbim2kk}}} = \frac{M_{\text{läbim2}}}{T_{\text{läbim2käsikeevitus}}} \cdot \frac{1}{e_{kk}} \cdot H_{sh_{\text{käsikeevitus}}} = \frac{0,14}{1,81} \cdot \frac{1}{0,16} \cdot 0,3 = 0,14 \text{ eur/m}$$

Summeerides kulud läbimite kohta ja korrutades neid keevisõmbluste pikkustega saan seadmete kulud toote kohta:

$$K_{S_{\text{robot}}} = (0,49 + 0,41) \cdot (3,73 + 3,81) = 6,78 \text{ eur/toode}$$

$$K_{S_{\text{kk}}} = (0,15 + 0,14) \cdot (3,73 + 3,81) = 2,19 \text{ eur/toode}$$

Leian kulud elektrienergiale kasutades valemit (10.1.7):

$$K_e = M \cdot E \cdot H_e \quad (10.1.7)$$

kus K_e – elektrienergia kulud keevise ühe meetri kohta, eur/m,

E – elektrienergia kulunorm; käsikeevitusel võtan $E \approx 3$ kWh/kg, robotkeevitusel võtan $E \approx 5$ kWh/kg,

H_e – elektrienergia hind, eur/kWh

Seega:

$$K_{e_{\text{läbim1robot}}} = M_{\text{läbim1}} \cdot E \cdot H_e = 0,11 \cdot 5 \cdot 0,07 = 0,04 \text{ eur/m}$$

$$K_{e_{\text{läbim2robot}}} = M_{\text{läbim2}} \cdot E \cdot H_e = 0,14 \cdot 5 \cdot 0,07 = 0,05 \text{ eur/m}$$

$$K_{e_{\text{läbim1kk}}} = M_{\text{läbim1}} \cdot E \cdot H_e = 0,11 \cdot 3 \cdot 0,07 = 0,02 \text{ eur/m}$$

$$K_{e_{\text{läbim2kk}}} = M_{\text{läbim2}} \cdot E \cdot H_e = 0,14 \cdot 3 \cdot 0,07 = 0,03 \text{ eur/m}$$

Summeerides kulud läbimite kohta ja korrutades neid keevisõmbluste pikkustega saan elektrienergia kulud toote kohta:

$$K_{e_{\text{robot}}} = (0,04 + 0,05) \cdot (3,73 + 3,81) = 0,66 \text{ eur/toode}$$

$$K_{e_{\text{kk}}} = (0,02 + 0,03) \cdot (3,73 + 3,81) = 0,4 \text{ eur/toode}$$

Leian tööjõukulud vastavalt valemile (10.1.8):

$$K_t = \frac{M}{T} \cdot \frac{1}{e} \cdot H_t \quad (10.1.8)$$

kus K_t – tööjõukulud keevisõmbluse ühe meetri kohta, eur/m,
 H_t – tööjõu maksumus tööandjale, eur/tund; käsikeevitusel võtan
 $H_t = 15,3$ eur/tund, robotkeevitusel võtan $H_t = 12,9$ eur/tund.

Seega:

$$K_{t_{\text{läbim1robot}}} = \frac{M_{\text{läbim1}}}{T_{\text{läbim1robot}}} \cdot \frac{1}{e_{\text{robot}}} \cdot H_t = \frac{0,11}{2,16} \cdot \frac{1}{0,47} \cdot 12,9 = 1,4 \text{ eur/m}$$

$$K_{t_{\text{läbim2robot}}} = \frac{M_{\text{läbim2}}}{T_{\text{läbim2robot}}} \cdot \frac{1}{e_{\text{robot}}} \cdot H_t = \frac{0,14}{3,29} \cdot \frac{1}{0,47} \cdot 12,9 = 1,17 \text{ eur/m}$$

$$K_{t_{\text{läbim1kk}}} = \frac{M_{\text{läbim1}}}{T_{\text{läbim1käsikeevitus}}} \cdot \frac{1}{e_{\text{kk}}} \cdot H_t = \frac{0,11}{1,34} \cdot \frac{1}{0,16} \cdot 15,3 = 7,85 \text{ eur/m}$$

$$K_{t_{\text{läbim2kk}}} = \frac{M_{\text{läbim2}}}{T_{\text{läbim2kk}}} \cdot \frac{1}{e_{\text{kk}}} \cdot H_t = \frac{0,14}{1,81} \cdot \frac{1}{0,16} \cdot 15,3 = 7,4 \text{ eur/m}$$

Summeerides kulud läbimite kohta ja korrutades neid keevisõmbluste pikkustega saan tööjõukulud toote kohta:

$$K_{t_{\text{robot}}} = (1,4 + 1,17) \cdot (3,73 + 3,81) = 19,3 \text{ eur/toode}$$

$$K_{t_{\text{kk}}} = (7,85 + 7,4) \cdot (3,73 + 3,81) = 114,51 \text{ eur/toode}$$

Summeerides kõik kulu elemendid saan keevituskulud toote kohta:

$$K_{\text{robot}} = K_{g_{\text{robot}}} + K_{s_{\text{robot}}} + K_{e_{\text{robot}}} + K_{t_{\text{robot}}} = 1,28 + 6,78 + 0,66 + 19,3 = 28,02 \text{ eur/toode}$$

$$K_{\text{kk}} = K_{g_{\text{kk}}} + K_{s_{\text{kk}}} + K_{e_{\text{kk}}} + K_{t_{\text{kk}}} = 3,62 + 2,19 + 0,4 + 114,51 = 120,72 \text{ eur/toode}$$

Ülejäänud toodete keevituskulude kalkulatsiooni viin läbi tabelarvutuse abil ja kajastan saadud tulemused koondtabelis 10.2.1.

10.2 Juurutatavate toodete keevituskulude koondtabel

Tabel 10.2.1. Juurutatavate toodete keevituskulud

| | 29007420-R5 | 29007445-R5 | 29039242-R0 | 3020.1231-RH | 3020.1232-RH | 3020.0370-RF | 3020.0957-R0 | 3020.0958-R0 | 3020.0372-RF | 3020.1234-RD |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Kulud kaitsegaasile $K_{g_{robot}}$ eur/toode | 1,28 | 1,28 | 1,37 | 0,39 | 0,39 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,26 | 0,18 |
| Kulud seadmete hooldusele $K_{s_{robot}}$ eur/toode | 6,78 | 6,78 | 3,82 | 1,97 | 1,97 | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 2,13 | 2,01 |
| Kulud elektrienergiale $K_{e_{robot}}$ eur/toode | 0,66 | 0,66 | 0,87 | 0,23 | 0,23 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,17 | 0,08 |
| Tööjõukulud $K_{t_{robot}}$ eur/toode | 19,3 | 19,3 | 10,8 | 5,57 | 5,57 | 5,17 | 5,17 | 5,17 | 5,39 | 5,13 |
| Robotkeevitamise kulud kokku K_{robot} eur/toode | 28,02 | 28,02 | 16,86 | 8,16 | 8,16 | 7,41 | 7,41 | 7,41 | 7,94 | 7,4 |
| Kulud kaitsegaasile $K_{g_{kk}}$ eur/toode | 3,62 | 3,62 | 4,11 | 1,13 | 1,13 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,71 | 0,58 |
| Kulud seadmete hooldusele $K_{s_{kk}}$ eur/toode | 2,19 | 2,19 | 0,68 | 0,59 | 0,59 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,37 | 0,52 |
| Kulud elektrienergiale $K_{e_{kk}}$ eur/toode | 0,4 | 0,4 | 0,52 | 0,14 | 0,14 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,05 |
| Tööjõukulud $K_{t_{kk}}$ eur/toode | 114,51 | 114,51 | 34,67 | 29,96 | 29,96 | 17,29 | 17,29 | 17,29 | 18,82 | 26,54 |
| Käsikeevitamise kulud kokku K_{kk} eur/toode | 120,72 | 120,72 | 39,98 | 31,81 | 31,81 | 18,38 | 18,38 | 18,38 | 20,0 | 27,69 |
| Rahaline kokkuhoid, eur/toode | 92,7 | 92,7 | 23,13 | 23,65 | 23,65 | 10,97 | 10,97 | 10,97 | 12,06 | 20,28 |
| Rahaline kokkuhoid, eur/aastas | 14 835,2 | 14 835,2 | 5 551,2 | 18 920 | 18 447 | 537,5 | 5 210,8 | 5 210,8 | 482,4 | 3 447,6 |

10.3 Majandusliku tasuvuse arvutus

Tehnoloogia juurutamise efektiivsust iseloomustab tasuvusaeg, mille jooksul investeeringud ennast tagasi teenivad. Tasuvusaeg on leitav valemiga (10.3.1):

$$T = \frac{R_h}{K_h} \quad (10.3.1)$$

kus T – tasuvusaeg aastates,

R_h – robotkeevitusjaama ostuhind, $R_h = 300\,000$ eur,

K_h – toote keevitustehnoloogia muutmisega seotud aastane kokkuhoid, eur.

Leian rahalise kokkuhoiu summeerides tabelis 10.2.1 iga toote kohta toodud aastased kokkuiud. Seega, $K_h = 87\,477$ eurot.

Leian robotkeevitusjaama juurutamise tasuvusaja vastavalt valemile (10.3.1):

$$T = \frac{R_h}{K_h} = \frac{300\,000}{87\,477} = 3,43 \approx 3 \text{ aastat } 5 \text{ kuud}$$

Juurutatava robotsüsteemi tasuvusaeg on 3 aastat ja 5 kuud. Tasuvusaja vähendamiseks tuleb ettevõttel leida tooteid juurde ning suurendada robotjaama koormatus.

Vaatamata suhteliselt pikkale tasuvusajale robotkeevitusjaama juurutamisega ettevõtte saavutab 2. peatükis vaadeldud eesmärke, nimelt: suurendab keevitusoperatsioonide tõhusust, vähendab mittetootlikku aega, tööjõukulusid, tagab toodete keevituskvaliteeti ja tarnekindlust.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli keevitusroboti juurutamine metallitööstusettevõttes CUTform OÜ. Lõputöö koosnes järgmistest ülesannetest: robotiga keevitatavate toodete valik, rakise projekteerimine ühele valitud tootele, roboti ühenduseta (offline) programmeerimine ning juurutatava robotkeevitusjaama majandusliku tasuvuse hindamine.

Lõputöö esimesel etapil sai ettevõtte toodete nomenklatuurist välja valitud 10 toodet, mis autori arvamusel potentsiaalselt sobisid robotkeevitamiseks. Iga toode sai põhjalikult analüüsitud, selgitati välja selle keevitustehnoloogiaalased iseärasused, uuriti välja eelmiste aastate tootmismahud ning tulevikus prognoositavad tootmismahud. Iga vaadeldava toote kohta olid välja töötatud robotkeevitamise tsükliajad ning sai määratud juurutatava robotkeevitusjaama koormatus. Valitud tooted koormavad robotkeevitusjaama 1852 tundi aastas, mis moodustab 93,8% selle efektiivsest tööajafondist eeldusel, et töö toimub ühes vahetuses.

Lõputöö käigus oli välja töötatud rakistus toodete 3020.1231-RH ja 3020.1232-RH robotkeevitamiseks. Selleks oli määratud toote paigutus robotkeevitusjaama töölaual ning kontrollitud, et valitud paigutusel keevitusrobot ulatub kõigi keevisõmblusteni. Samuti kontrolliti läbi simuleerimise, et projekteeritud rakis ei piira juurdepääsetavust keevitussooni ja et tööliikumiste sooritamisel robot ei pörka kokku rakise elementidega. Rakise alusraam oli kontrollitud läbipaindele ja see jääb lubatud vahemikku 0,2 mm.

Lõputöö käigus autor käsitles keevitusroboti offline programmeerimist tarkvaras RobotStudio. Selle ülesande sooritamise hetkel ei olnud keevitusrobot veel ettevõttes lõpuni paigaldatud ja kalibreeritud, seega lõi ülesande täitmiseks autor virtuaalse robotsüsteemi. Vaatamata sellele, et roboti programmeerimine toimus virtuaalses robotsüsteemis ja kandis pigem haridusliku iseloomu, veendus autor selle tulemusena, et projekteeritud rakis sobib valitud keevitusoperatsiooni sooritamiseks ning eelarvestatud robotkeevituse tsükliage on korrektne.

Lõputöö viimasel etapil hindas autor juurutatava keevitusjaama majandusliku tasuvust. Tasuvusaja määramiseks olid leitud ja võrreldud keevituskulud käsi- ja robotkeevitamise puhul. Keevitustehnoloogia muutmise tulemusena saadud rahaline kokkuhoid valitud toodete puhul ulatub 87 477 euronit aastas. Juurutatava robotkeevitusjaama ligikaudne ostuhind on 300 000 eurot ja selle tasuvusajaks on

3 aastat ja 5 kuud. Ettevõttel tuleb leida oma toodete nomenklatuurist veel tooteid juurde, et suurendada robotkeevitusjaama koormatust ja lühendada tasuvusaega. Vaatamata sellele saavutab keevitusoperatsioonide robotiseerimisega ettevõtte püstitatud eesmärgid: vähendab tootmiskulusid, kindlustab toodete kvaliteedi ja tagab nende tarnekindluse.

Eelmainitu põhjal saab teha järelduse, et lõputöö ülesandes püstitatud eesmärgid on edukalt saavutatud. Konkreetse näite puhul sai uuritud robotkeevitusjaama juurutamise protsess ning analüüsitud keevitustooted nende robotiseerimise otstarbekuse seisukohalt. Järgides lõputöö juhendaja ja ettevõttepoolse konsultandi nõuandeid, arvutas autor välja robotkeevitamise tsükliajad ning määras seejärel robotkeevitusjaama koormatuse. Autor tutvus antud lõputöö raames keevitusrobotite offline programmeerimisega läbi virtuaalse robotsüsteemi loomise tarkvaras RobotStudio. Lõputöö tulemusena oli projekteeritud rakis kahele vaadeldavatest toodetest. Käsitletud olid ka robotkeevitusjaama juurutamisega seotud majanduslikud aspektid. Lõputöö käigus saadud teadmised on aluseks edasiseks iseseisvaks tööks antud alal.

SUMMARY

The aim of this master's thesis was to implement a welding robot in the metalworking company CUTform OÜ. The master's thesis consisted of the following tasks: selection of products to be welded by a robot, design of a fixture for one of selected products, offline programming of the robot and evaluation of the economic payoff of the robotic welding cell to be implemented.

In the first stage of the thesis, 10 products were selected from the company's product range, which in the author's opinion were potentially suitable for robotic welding. Each chosen product was thoroughly analyzed, its welding technology features were identified, previous years' production volumes and future production volumes were examined. Robotic welding cycle times were developed for each product and utilization rate of robotic welding cell was determined. Chosen products load the robotic welding cell 1852 hours per year, which makes up 93.8% of its capacity, assuming that production runs in one shift.

In the course of the thesis, a fixture for robotic welding of products 3020.1231-RH and 3020.1232-RH was developed. First of all, product layout on worktable of robotic welding cell was determined and it was checked that the welding robot is able to reach all the welds. It was also checked through simulation that the designed fixture does not restrict the accessibility to the welding zone and that the robot does not collide with the fixture elements during the work movements. The base frame of the fixture was checked for deflection and its value is within the permissible range of 0.2 mm.

In the course of the thesis, the author dealt with offline programming of a welding robot in RobotStudio software. At the time of this task, the welding robot had not yet been fully installed and calibrated in the company, so the author created a virtual robot system to perform given task. Despite the fact that the programming of the robot took place in a virtual robot system and was rather of an educational nature, as a result, the author was convinced that the designed fixture is suitable for performing the selected welding operation and that the estimated robotic welding cycle time is correct.

In the last stage of the thesis, the author assessed the economic payoff of the robotic welding cell to be implemented. To determine the payback period, welding costs for manual and robotic welding were found and compared. The financial savings resulting from the change in welding technology for the selected products amount to 87 477 euros per year. The approximate purchase price of the robotic welding cell is 300 000 euros

and its payback period is 3 years and 5 months. The company needs to find more products from its product range in order to increase the utilization rate of the robotic welding cell and shorten the payback period. Nevertheless, by robotizing welding operations, the company achieves its goals, reduces production costs, ensures the quality of products and their on time delivery capability.

Summarizing the above, it can be concluded that the goals set in the thesis task have been successfully achieved. The process of implementing a robot welding cell was studied on a specific example and the welding products were analyzed from the point of view of their robotization. Following the advice of the thesis supervisor and the company's consultant, the author calculated the robotic welding cycle times and then determined the utilization rate of the robotic welding cell. The author got acquainted with the offline programming of welding robots through creation of a virtual robot system in RobotStudio software. As a result of the thesis, a welding fixture was designed for two of the chosen products. The economic aspects of implementation of the robotic welding cell were also studied. The knowledge gained during the thesis is the basis for further independent work in this field.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Uuenduslik tootmine: käsiraamat, Tallinn: Tallina Tehnikaülikooli kirjastus, 2011.
2. Executive Summary World Robotics 2019 Industrial Robots. *[Online]*
<https://www.ifr.org/downloads/press2018/Executive%20Summary%20WR%202019%20Industrial%20Robots.pdf>
3. Automation, Production Systems, and Computer-Integrated manufacturing, Harlow: Pearson, 2014.
4. Tööstus 4.0 ja selle mõjud Eesti tööstusele ja haridusele, Jüri Riives. *[Online]*
<https://rito.riigikogu.ee/wordpress/wp-content/uploads/2016/02/J%C3%BCri-Riives-T%C3%B6%C3%B6stus-4-.0-ja-selle-m%C3%B5jud-Eesti-t%C3%B6%C3%B6stusele-ja-haridusele.pdf>
5. IRB 2600 Product specification, ABB. *[Online]*
<https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC035959-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
6. IRBP L Datasheet, ABB. *[Online]*
https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10112EN_R4&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch
7. RTT 1600/2400 Product specification, ABB. *[Online]*
<https://library.e.abb.com/public/9b3384e86fc7e798c1257cd100551cf6/3HAC028561-en.pdf>
8. Rakiste projekteerimine: õppematerjal / Helmuth Buschmann, Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2008.
9. Toggle clamps, manual and pneumatic, AMF Catalogue 2020. *[Online]*
<https://www.amf.de/files/amf-assets/news/downloads/catalogues/Catalogue-AMF-Toggle-Clamps.pdf>

Lisa 1 Loodud programmi RAPID kood

```
!*****
! (c) CUTform OÜ part of Sjolund Group
!*****
! Toote joonise nr.: 3020.1231-RH
! Autor: Vjatšeslav Ševeljonkov
! Kuupäev: 19.04.2020
! Versioon: 0
! Rakise joonise nr.: RR1231
!*****
MODULE Toode1231
  PROC Koost1231_main()
    Det10;
    Det2_Det5_Det3;
    Det5_2;
    Det9_2_Det4;
    Det9_1_Det1;
    Det6_Det7;
    Det4_labim2;
  ENDPROC
  PROC Det10()
    ActUnit M7DM1;
    ActUnit TRACK;
    MoveL p_10,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
    MoveJ pVr_10,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
    ArcLStart
pVr_20,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det10_a3_1";
    ArcL pVr_30,v1000,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
    ArcL pVr_40,v1000,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
    ArcL pVr_50,v1000,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
    ArcL pVr_60,v1000,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
    ArcL pVr_70,v1000,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
    ArcLEnd pVr_80,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
    MoveL pVr_90,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
    MoveL p_20,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
    MoveJ pVr_100,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
    ArcLStart
pVr_110,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det10_a3_2"
;
    ArcLEnd pVr_120,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
    MoveL pVr_130,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
    MoveJ p_50,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
  ENDPROC
  PROC Det2_Det5_Det3()
    ActUnit M7DM1;
    ActUnit TRACK;
    MoveJ pVr_140,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
    ArcLStart
pVr_150,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det2_a3_1";
    ArcLEnd pVr_160,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
    MoveL pVr_170,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
    MoveJ p_90,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
    MoveJ pVr_180,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
    ArcLStart
pVr_190,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det2_a3_2";
```

```

ArcLEnd pVr_200,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_210,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ p_60,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ p_70,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ p_80,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_220,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_230,v1000,sm1,wd1,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det2_s7_1";
ArcLEnd pVr_240,vProc30,sm1,wd1,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_250,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ p_100,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_260,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_270,v1000,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det5_1_a5_1";
ArcL pVr_280,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcL pVr_290,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcL pVr_300,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcL pVr_310,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcL pVr_320,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLEnd pVr_330,vProc30,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_340,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ p_110,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_350,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_360,v1000,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det5_1_a5_2";
ArcLEnd pVr_370,vProc30,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_380,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_390,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_400,v1000,sm1,weld_paind_HV_s7,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det3_s7_1";
ArcLEnd
pVr_410,vProc30,sm1,weld_paind_HV_s7,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_420,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_430,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_440,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det3_a3_1";
ArcLEnd pVr_450,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_460,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL p_120,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_470,v500,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_480,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det3_a3_2";
ArcLEnd pVr_490,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_500,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL p_130,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL p_140,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_510,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_520,v1000,sm1,weld_paind_HV_s7,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det2_s7_2";
ArcLEnd
pVr_530,vProc30,sm1,weld_paind_HV_s7,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_540,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;

```

```

        MoveL p_150,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_550,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_560,v1000,sm1,weld_paind_HV_s7,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det3_s7_2";
        ArcLEnd
pVr_570,vProc30,sm1,weld_paind_HV_s7,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_580,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL p_160,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC Det5_2()
    ActUnit M7DM1;
    ActUnit TRACK;
    MoveL p_170,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
    MoveL p_180,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
    MoveJ pVr_590,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
    ArcLStart
pVr_600,v1000,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det5_2_a5_1";
        ArcL pVr_610,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcL pVr_620,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcL pVr_630,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcL pVr_640,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcL pVr_650,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLEnd pVr_660,vProc30,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
    MoveL pVr_670,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL p_190,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_680,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_690,v1000,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det5_2_a5_2";
        ArcLEnd pVr_700,vProc30,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_710,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL p_200,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC Det9_2_Det4()
    ActUnit M7DM1;
    ActUnit TRACK;
    MoveL p_240,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
    MoveJ pVr_720,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
    ArcLStart
pVr_730,v1000,sm1,weld_paind_HV_s7,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det9_2_s7_2";
        ArcLEnd
pVr_740,vProc30,sm1,weld_HV_s7,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_750,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_760,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_770,v1000,sm1,weld_paind_HV_s7,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det9_2_s7_1";
        ArcLEnd
pVr_780,vProc30,sm1,weld_paind_HV_s7,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_790,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL p_210,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL p_220,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL p_230,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;

```

```

MoveJ pVr_800,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_810,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det9_2_a3_
1";
ArcL pVr_820,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcL pVr_830,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcC
pVr_840,pVr_850,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcC
pVr_860,pVr_870,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLEnd pVr_880,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_890,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL p_250,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL p_260,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_900,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_910,v1000,sm1,weld_HY_s5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det4_s5
_1";
ArcL pVr_920,vProc30,sm1,weld_HY_s5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcCEnd
pVr_930,pVr_940,vProc30,sm1,weld_HY_s5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_950,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ p_270,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_960,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_970,v1000,sm1,wd1,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det4_s5_2";
ArcC
pVr_980,pVr_990,vProc30,sm1,wd1,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLEnd pVr_1000,vProc30,sm1,wd1,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_1010,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL p_280,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_1020,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_1030,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det9_2_a3
_2";
ArcL pVr_1040,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcL pVr_1050,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcC
pVr_1060,pVr_1070,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcC
pVr_1080,pVr_1090,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLEnd pVr_1100,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_1110,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL p_290,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_1120,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_1130,v1000,sm1,weld_HV_s7,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det4_s
7_1_L1";
ArcLEnd
pVr_1140,vProc30,sm1,weld_HV_s7,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_1150,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_1160,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_1170,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det4_a3_1"
;
ArcLEnd pVr_1180,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;

```



```

MoveL pVr_1190,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_1200,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_1210,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det4_a3_2"
;
ArcLEnd pVr_1220,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_1230,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL p_300,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL p_310,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_1280,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_1290,v1000,sm1,weld_HV_s7,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det4_s
7_2_L1";
ArcLEnd
pVr_1300,vProc30,sm1,weld_HV_s7,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_1310,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL p_320,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC Det9_1_Det1()
ActUnit M7DM1;
ActUnit TRACK;
MoveL p_330,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_1360,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_1370,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det9_1_a3
_2_1";
ArcLEnd pVr_1380,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_1390,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL p_340,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_1400,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_1410,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det9_1_a3
_2_2";
ArcL pVr_1420,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcC
pVr_1430,pVr_1440,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcC
pVr_1450,pVr_1460,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcL pVr_1470,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_1480,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_1490,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_1500,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det1_a3_1"
;
ArcLEnd pVr_1510,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_1520,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL p_350,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_1530,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_1540,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det1_a3_2"
;
ArcLEnd pVr_1550,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_1560,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL p_360,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ p_370,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ p_380,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;

```

```

        MoveJ pVr_1570,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_1580,v1000,sm1,weld_paind_HV_s7,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="
Det9_1_s7_1";
        ArcLEnd
pVr_1590,vProc30,sm1,weld_paind_HV_s7,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_1600,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_390,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_1610,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_1620,v1000,sm1,wd1,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det1_s7_1";
        ArcLEnd pVr_1630,vProc30,sm1,wd1,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_1640,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_400,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_1650,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_1660,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det9_1_a3
_1";
        ArcL pVr_1670,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcC
pVr_1680,pVr_1690,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcC
pVr_1700,pVr_1710,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcL pVr_1720,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLEnd pVr_1730,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_1740,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_410,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_420,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_430,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_440,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_1750,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_1760,v1000,sm1,wd1,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det9_1_s7_2";
        ArcLEnd pVr_1770,vProc30,sm1,wd1,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_1780,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_450,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_460,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL p_470,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_1790,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_1800,v1000,sm1,wd1,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det1_s7_2";
        ArcLEnd pVr_1810,vProc30,sm1,wd1,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_1820,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL p_480,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_490,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC Det6_Det7()
        ActUnit M7DM1;
        ActUnit TRACK;
        MoveL p_500,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_1830,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_1840,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det7_1_a3
_1";
        ArcL pVr_1850,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcL pVr_1860,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;

```

```

ArcL pVr_1870,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLEnd pVr_1880,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_1890,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_1900,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_1910,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det7_1_a3_3";
ArcLEnd pVr_1920,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_1930,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_1950,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det6_a3_1_1";
ArcLEnd pVr_1960,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_1970,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_1980,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_1990,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det6_a3_1_2";
ArcCEnd
pVr_2000,pVr_2010,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_2020,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_2040,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det7_1_a3_2";
ArcLEnd pVr_2050,vProc30,sm1,wd1,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_2060,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL p_520,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ p_510,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ p_530,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_2070,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_2080,v1000,sm1,wd1,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det7_1_a3_5";
ArcLEnd pVr_2090,vProc30,sm1,wd1,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_2100,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_2110,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_2120,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det7_1_a3_4";
ArcLEnd pVr_2130,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_2140,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ p_600,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_2740,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_2750,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det6_a3_3";
;
ArcLEnd pVr_2760,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_2770,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_2150,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_2160,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det6_a3_2_1";
ArcLEnd pVr_2170,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_2180,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_2190,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;

```

```

        ArcLStart
pVr_2200,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det6_a3_2
_2";
        ArcC
pVr_2210,pVr_2220,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcC
pVr_2230,pVr_2240,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLEnd pVr_2250,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_2260,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_540,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_550,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_610,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_2270,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_2280,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det7_2_a3
_2";
        ArcL pVr_2290,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcL pVr_2300,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcL pVr_2310,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLEnd pVr_2320,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_2330,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_2340,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_2350,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det7_2_a3
_4";
        ArcLEnd pVr_2360,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_2370,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_2380,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_2390,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det7_2_a3
_3";
        ArcLEnd pVr_2400,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_2410,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_2420,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_2430,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det6_a3_6
_2";
        ArcL pVr_2440,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcL pVr_2450,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcL pVr_2460,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcL pVr_2470,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLEnd pVr_2480,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_2490,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_560,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_2500,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_2510,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det6_a3_4
_2";
        ArcLEnd pVr_2520,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_2530,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL p_570,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_2540,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_2550,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det7_2_a3
_1_2";
        ArcLEnd pVr_2560,vProc30,sm1,wd1,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;

```

```

MoveL pVr_2570,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_2580,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_2590,v1000,sm1,wd1,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det7_2_a3_1_1
";
ArcLEnd pVr_2600,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_2610,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_2620,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_2630,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det6_a3_5"
;
ArcLEnd pVr_2640,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_2650,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_2660,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_2670,v1000,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det6_a3_4
_1";
ArcC
pVr_2680,pVr_2690,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcC
pVr_2700,pVr_2710,vProc30,sm1,weld_a3,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLEnd pVr_2720,vProc30,sm1,weld_a3,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_2730,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL p_590,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ p_580,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL p_620,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ p_630,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_2780,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_2790,v1000,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det6_a5_4
_2";
ArcLEnd pVr_2800,vProc30,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_2810,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ p_640,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_2940,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_2950,v1000,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det6_a5_4
_3";
ArcC
pVr_2960,pVr_2970,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcC
pVr_2980,pVr_2990,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLEnd pVr_3000,vProc30,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_3010,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL p_660,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_3020,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLStart
pVr_3030,v1000,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det6_a5_3
_3";
ArcC
pVr_3040,pVr_3050,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcC
pVr_3060,pVr_3070,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
ArcLEnd pVr_3080,vProc30,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveL pVr_3090,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
MoveJ pVr_3100,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;

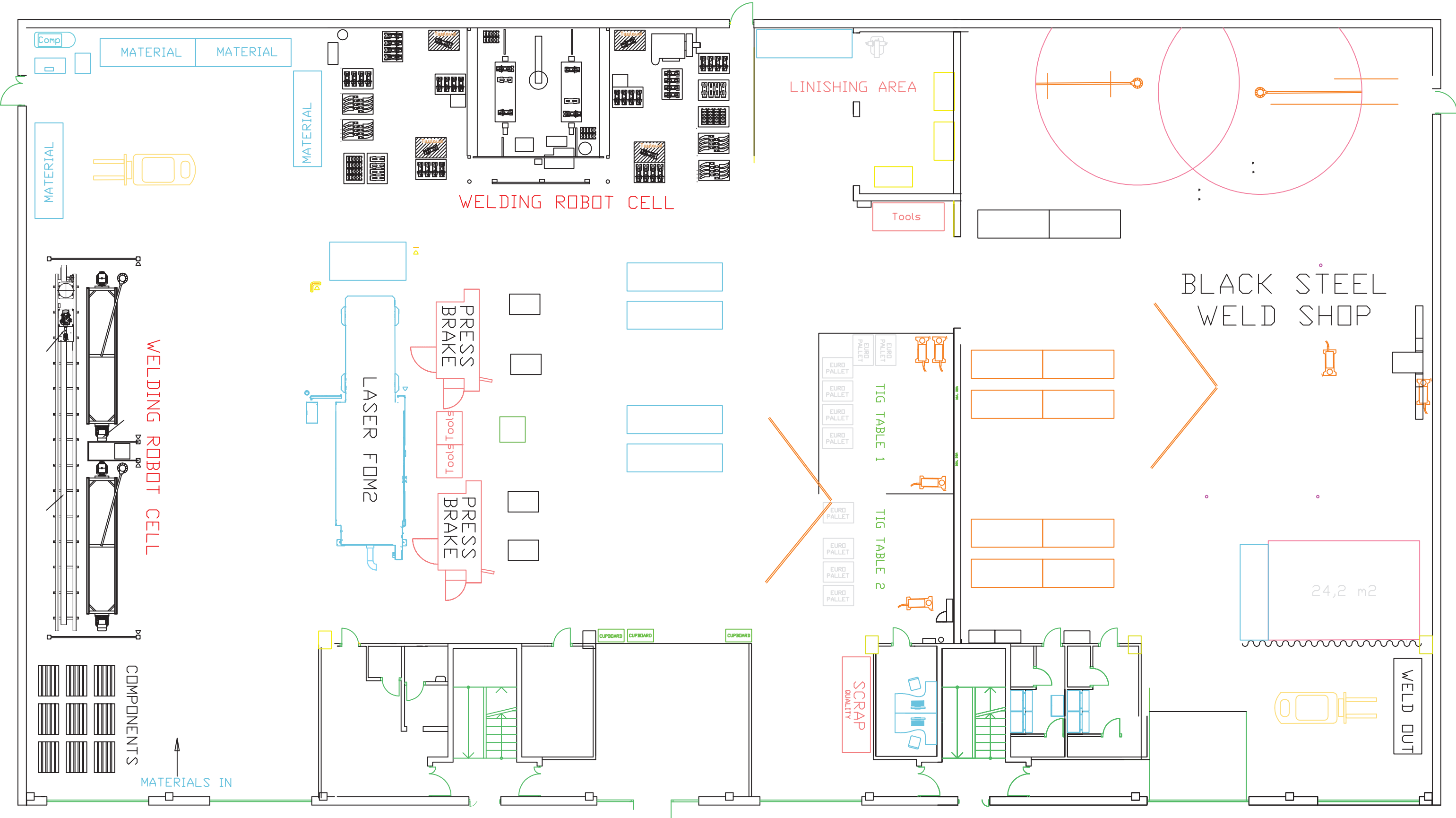
```

```

        ArcLStart
pVr_3110,v1000,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det6_a5_4
_1";
        ArcC
pVr_3120,pVr_3130,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcC
pVr_3140,pVr_3150,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLEnd pVr_3160,vProc30,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_3170,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_3180,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_3190,v1000,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det6_a5_3
_1";
        ArcC
pVr_3200,pVr_3210,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcC
pVr_3220,pVr_3230,vProc30,sm1,weld_a5,zProc5,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLEnd pVr_3240,vProc30,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_3250,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_3260,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_3270,v1000,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det6_a5_2"
;
        ArcLEnd pVr_3280,vProc30,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_3290,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_670,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_680,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_3300,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_3310,v1000,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det6_a5_1"
;
        ArcLEnd pVr_3320,vProc30,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_3330,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_690,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_700,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_710,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ pVr_3340,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        ArcLStart
pVr_3350,v1000,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det6_a5_3
_2";
        ArcLEnd pVr_3360,vProc30,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_3370,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_720,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveJ p_730,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
ENDPROC
PROC Det4_labim2()
    ActUnit M7DM1;
    ActUnit TRACK;
    MoveL p_740,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
    MoveJ p_750,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;
    MoveJ pVr_3380,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;
    ArcLStart
pVr_3390,v1000,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det4_s7_2
_L2";
        ArcLEnd pVr_3400,vProc30,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;
        MoveL pVr_3410,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;

```

```
MoveJ p_760,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;  
MoveJ pVr_3420,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;  
ArcLStart  
pVr_3430,v1000,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0\SeamName:="Det4_s7_1  
_L2";  
ArcLEnd pVr_3440,vProc30,sm1,weld_a5,fine,Weldgun\WObj:=wobj0;  
MoveL pVr_3450,v1000,z10,Weldgun\WObj:=wobj0;  
MoveJ p_770,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;  
MoveJ p_780,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;  
MoveL p_790,v1000,z100,Weldgun\WObj:=wobj0;  
ENDPROC  
ENDMODULE
```



WELDING ROBOT CELL

WELDING ROBOT CELL

FINISHING AREA

BLACK STEEL WELD SHOP

24,2 m²

WELD OUT

SCRAP QUALITY

TIG TABLE 1

TIG TABLE 2

LASER FDM2

PRESS BRAKE

STOOL

STOOL

PRESS BRAKE

MATERIAL

MATERIAL

MATERIAL

MATERIAL

MATERIALS IN

COMPONENTS

Tools

CUPBOARD

CUPBOARD

CUPBOARD

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

EURD PALLET

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

Comp

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

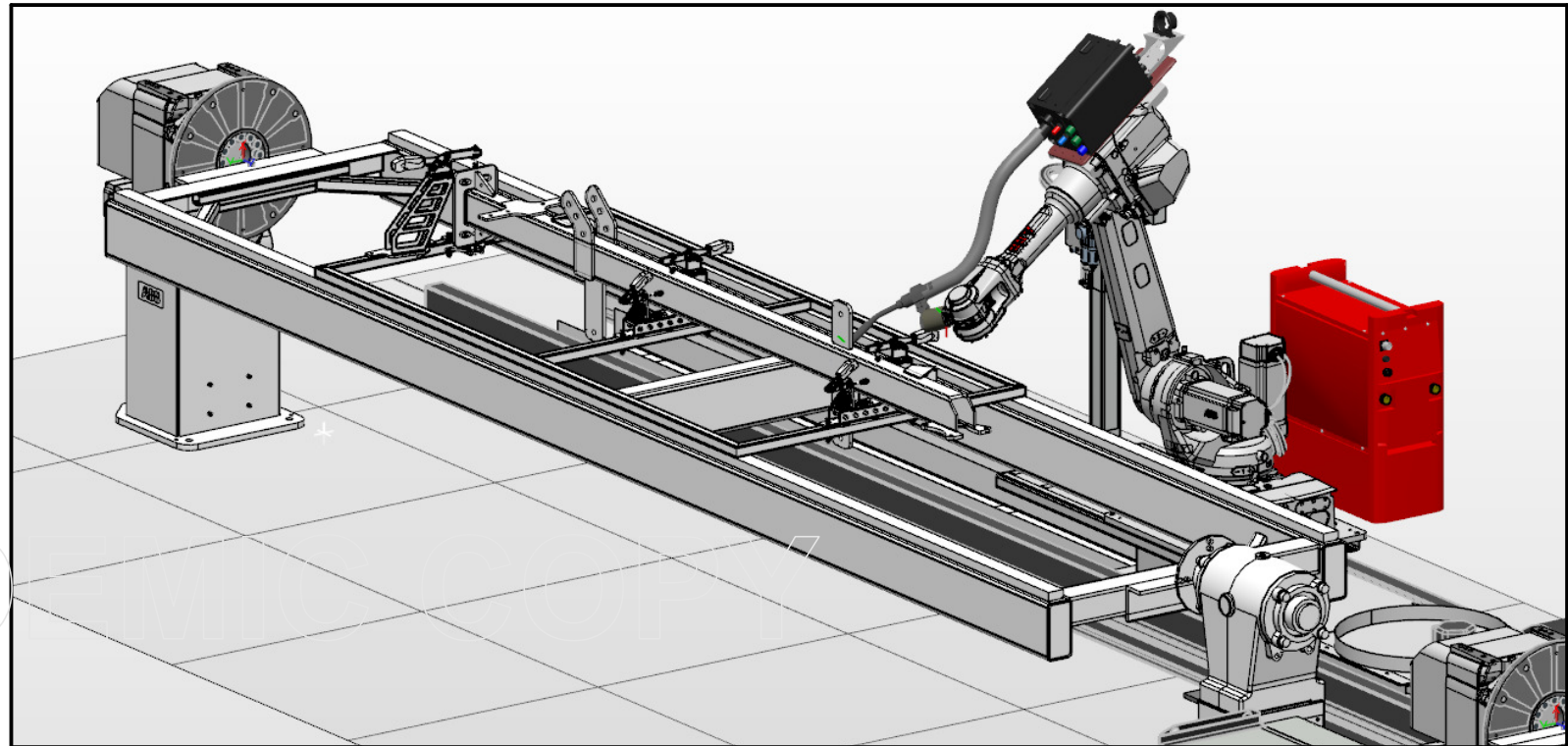
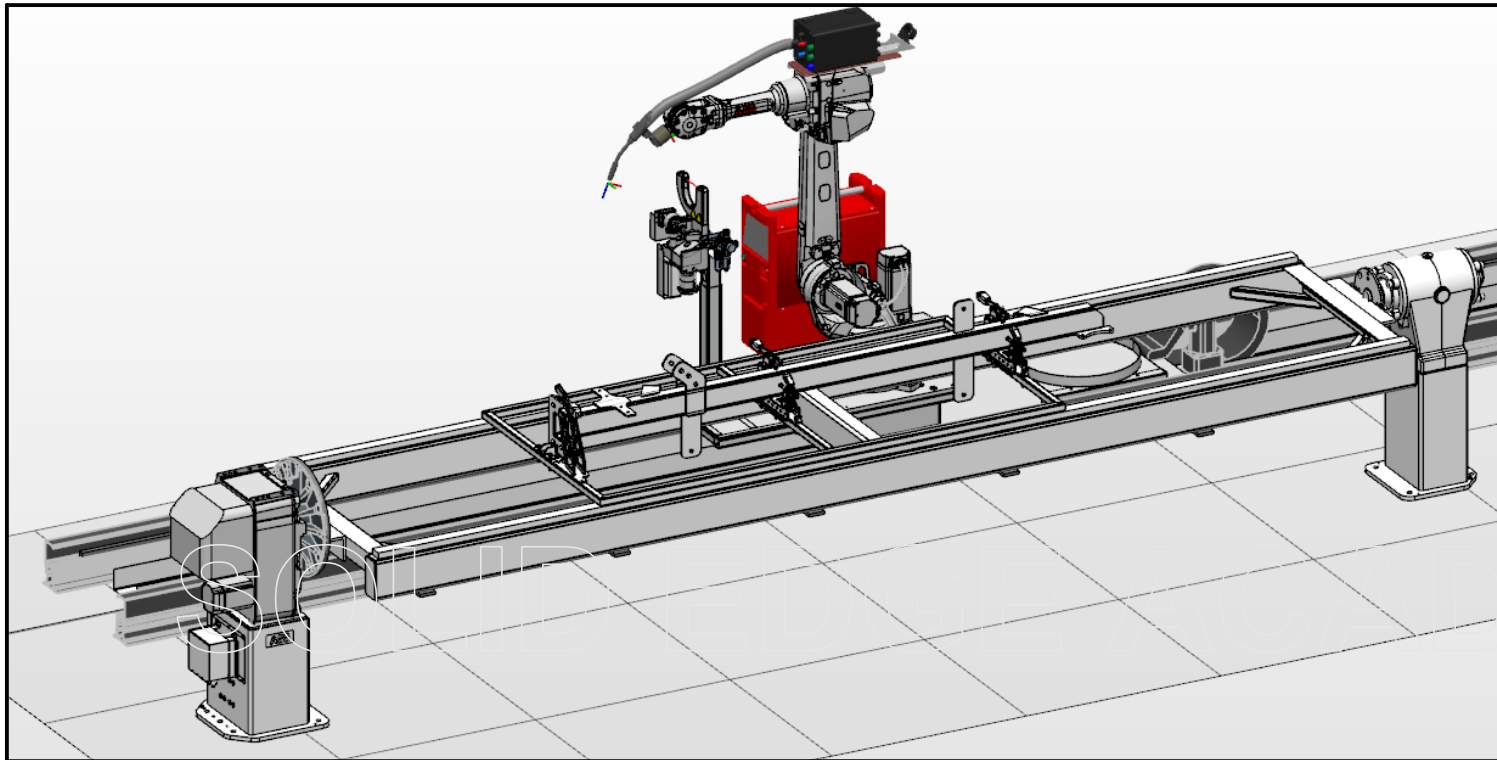
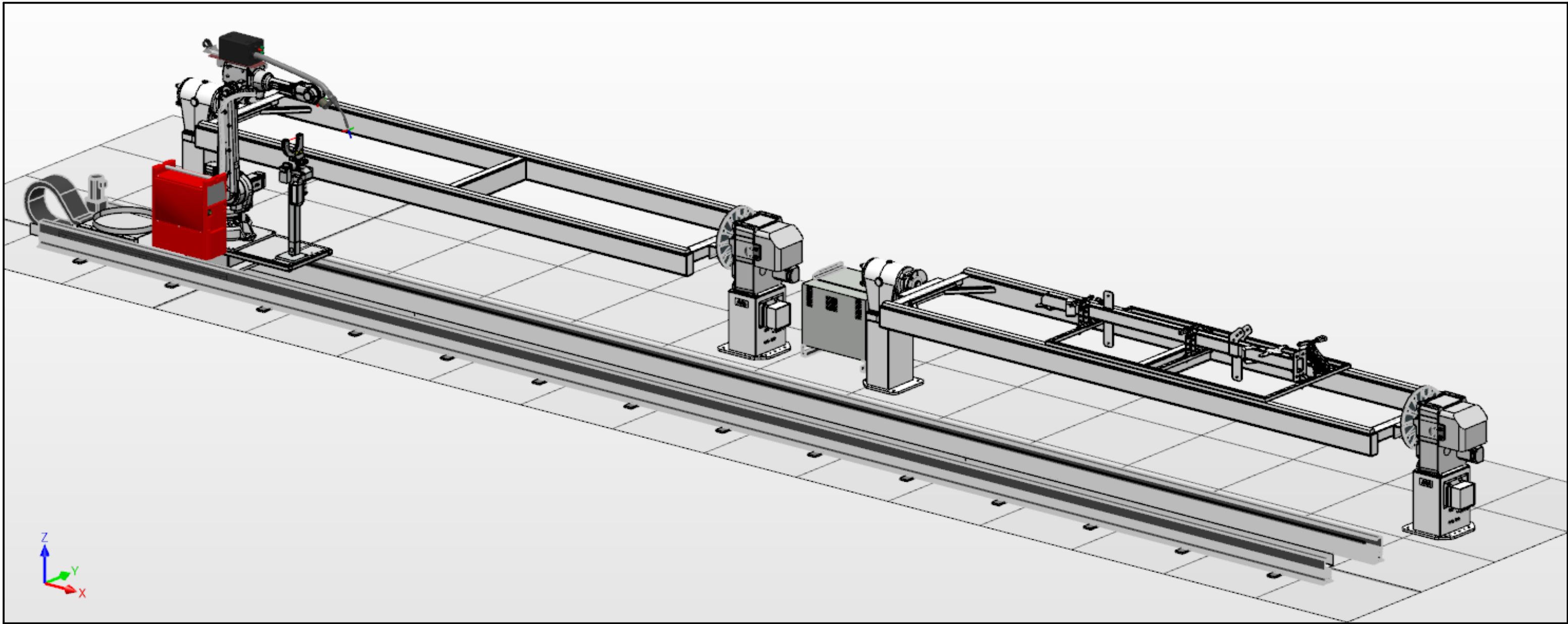
55

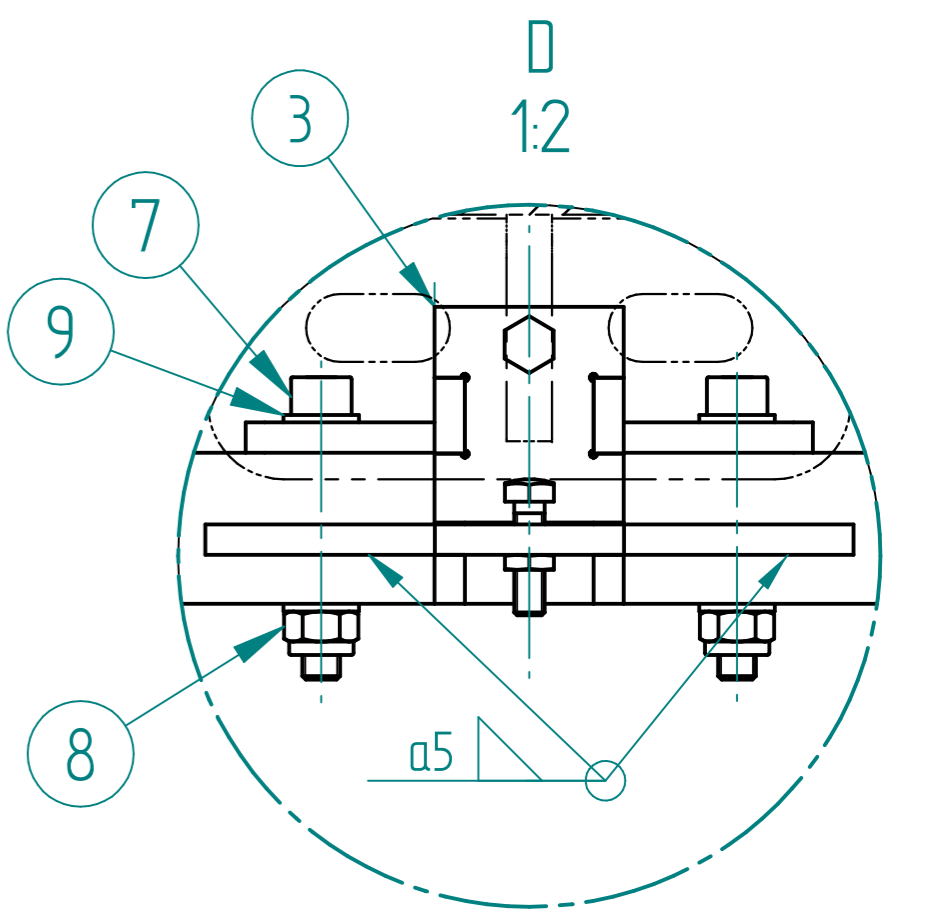
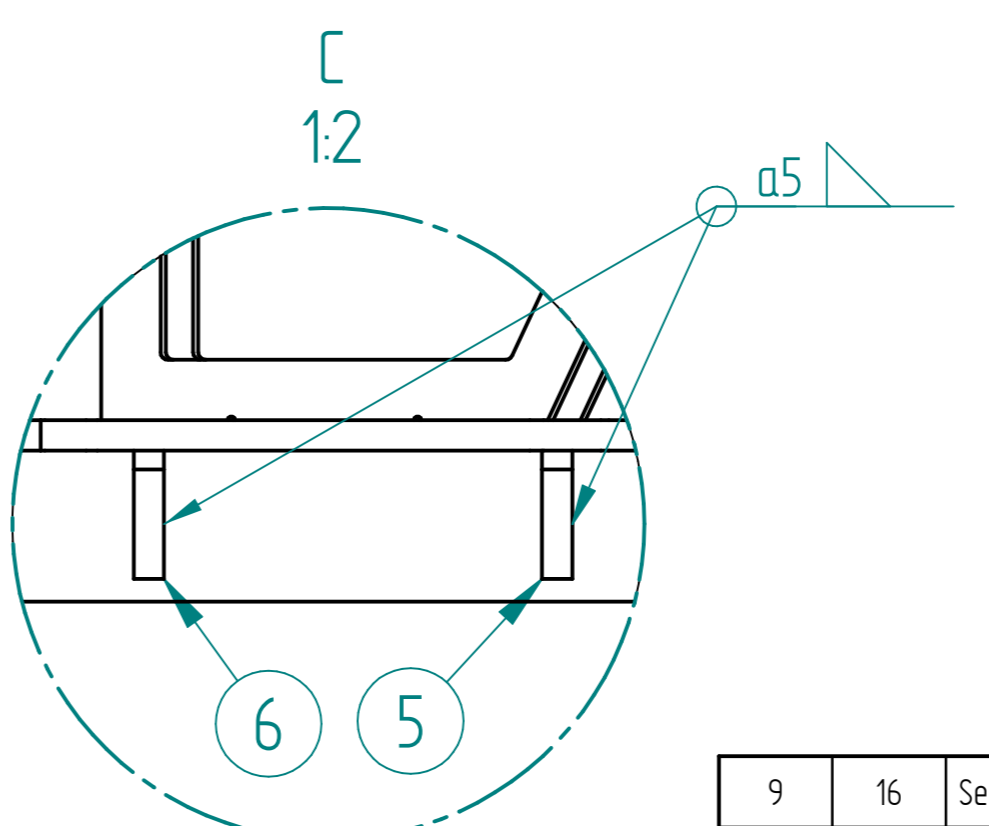
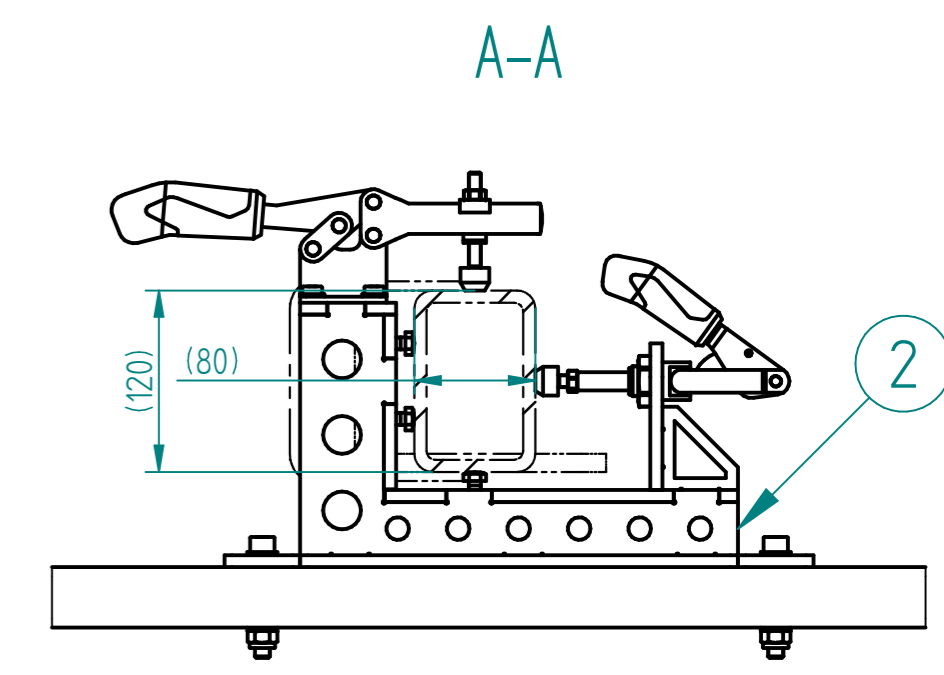
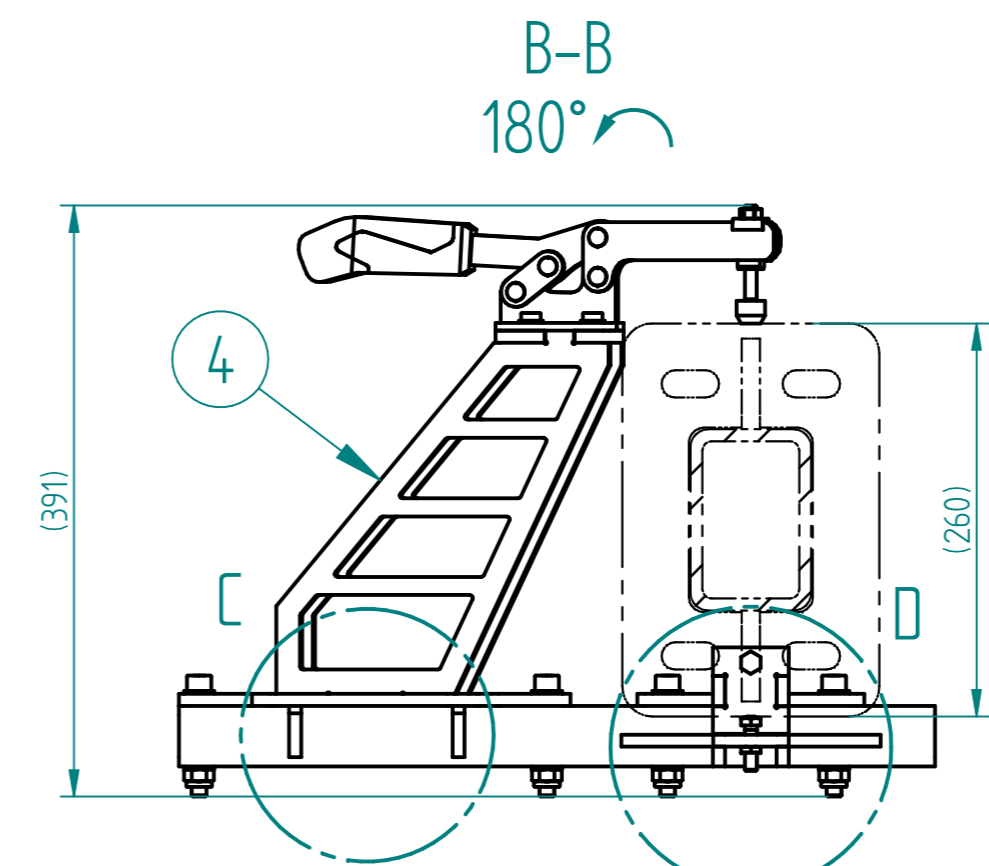
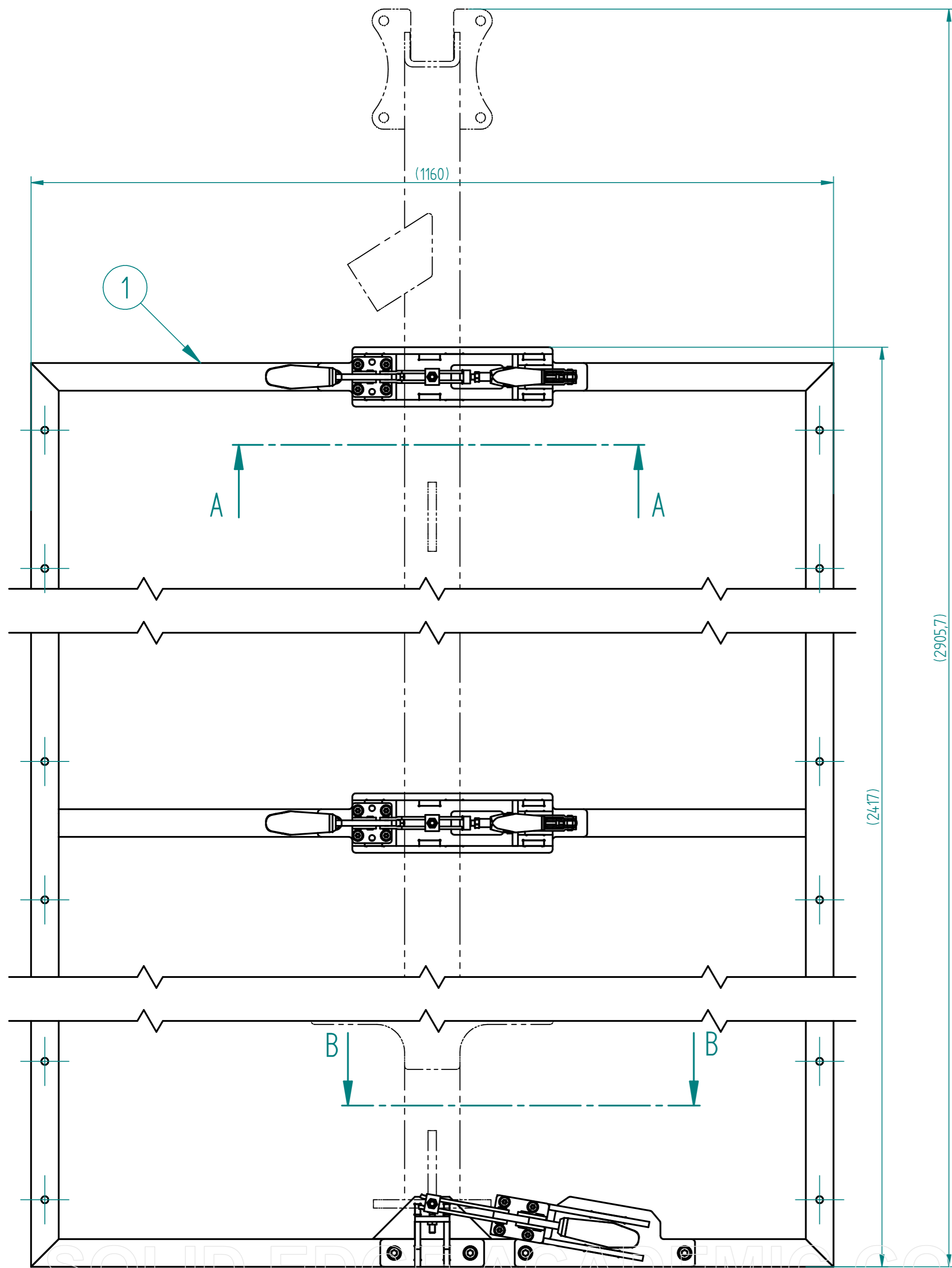
56

57

58



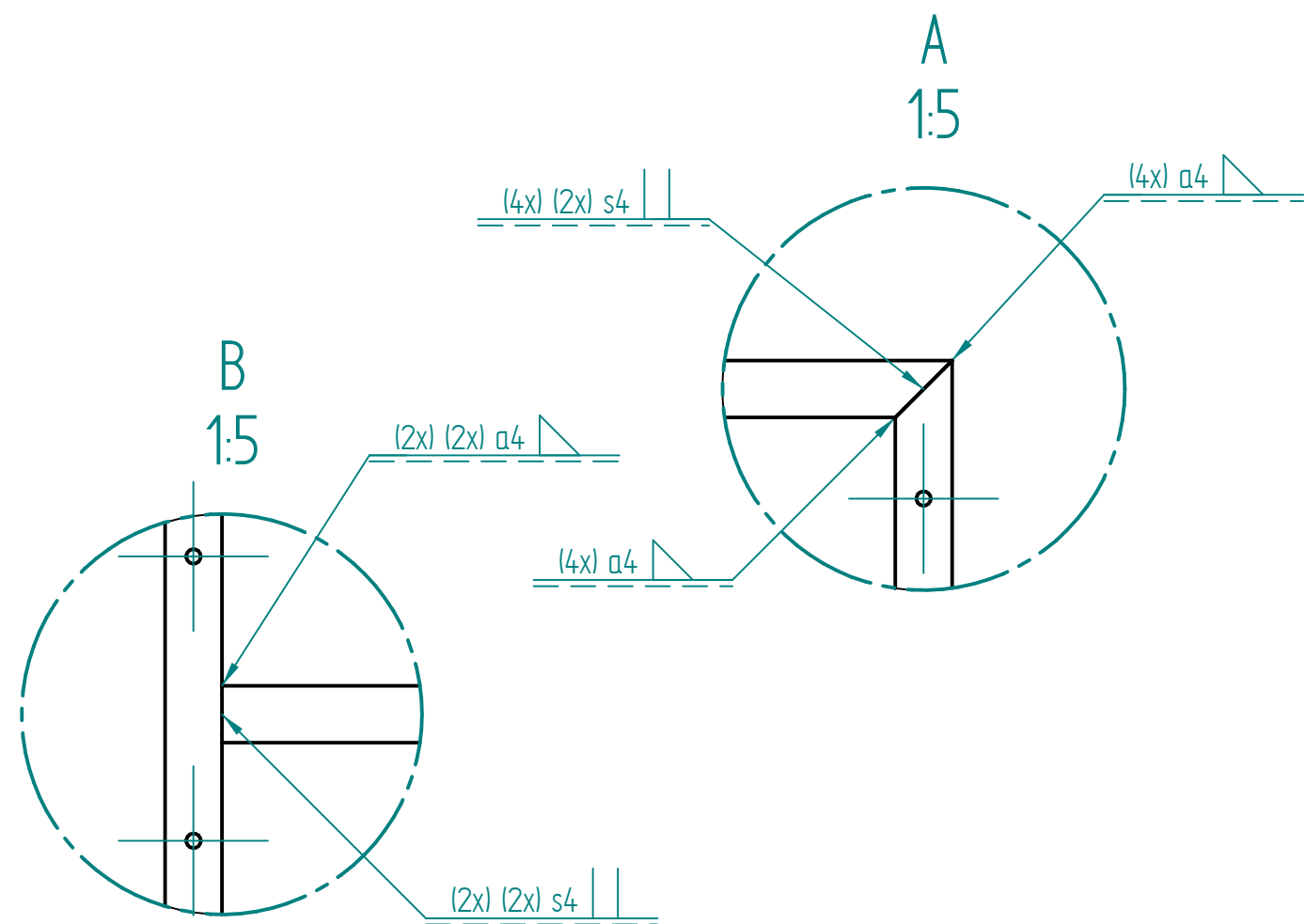
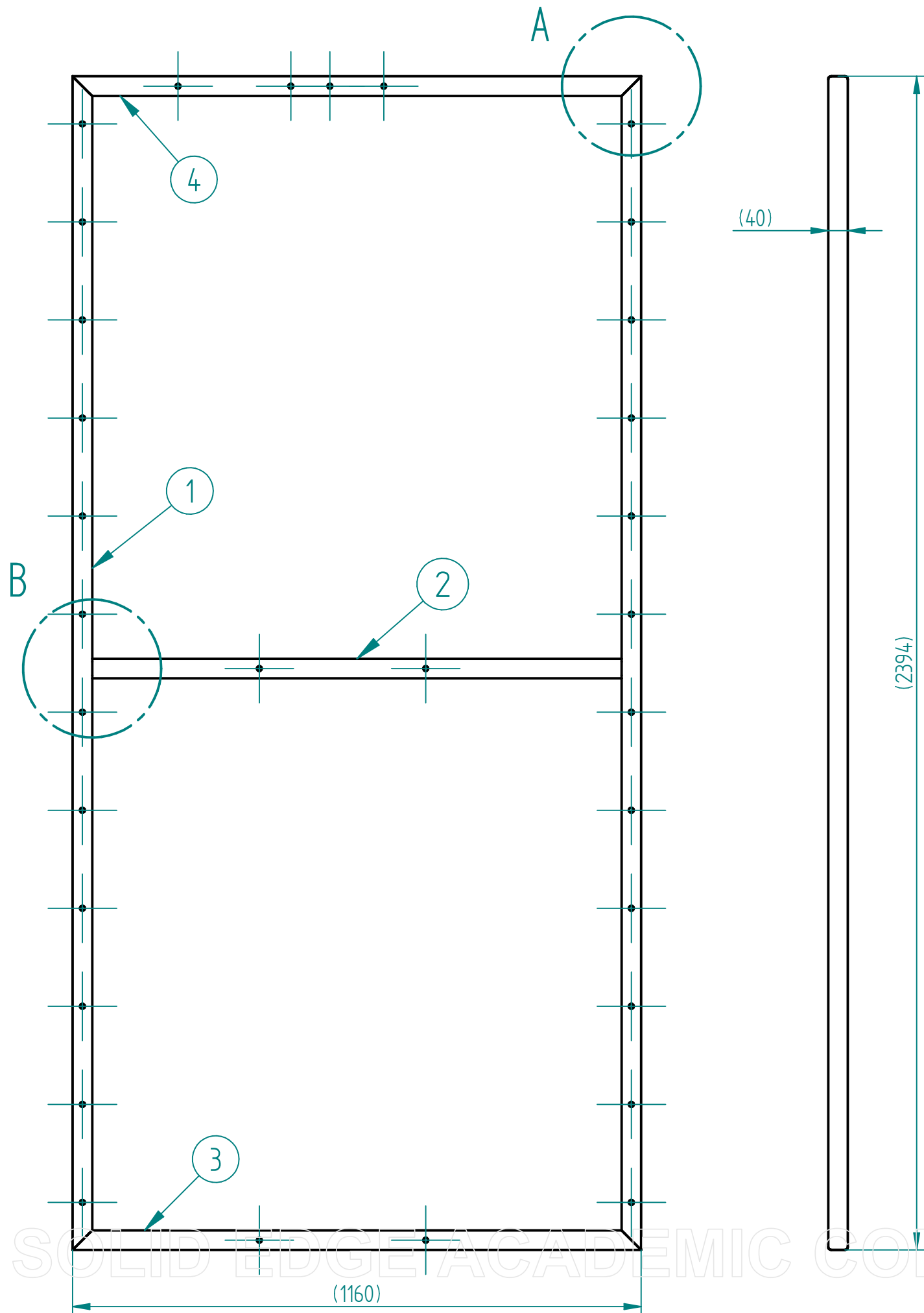




| 9 | 16 | Seib DIN 125 - 10 - st | | | |
|-----|-------|--|-----------|-----------------|--------|
| 8 | 8 | Lukustusmutter DIN 985 - M10 - St | | | |
| 7 | 8 | Sisekuuskantpolt DIN 912 - M10 x 70 - St | | | |
| 6 | 1 | Kinniti posti ribi 2 | | EN 10149 S355MC | |
| 5 | 1 | Kinniti posti ribi 1 | | EN 10149 S355MC | |
| 4 | 1 | Kinniti post | RR1231.04 | | |
| 3 | 1 | Kulgtugi | RR1231.03 | | |
| 2 | 2 | L-tugi | RR1231.02 | | |
| 1 | 1 | Raam | RR1231.01 | | |
| Osa | Kogus | Nimetus | Tähis | Materjal | Märkus |

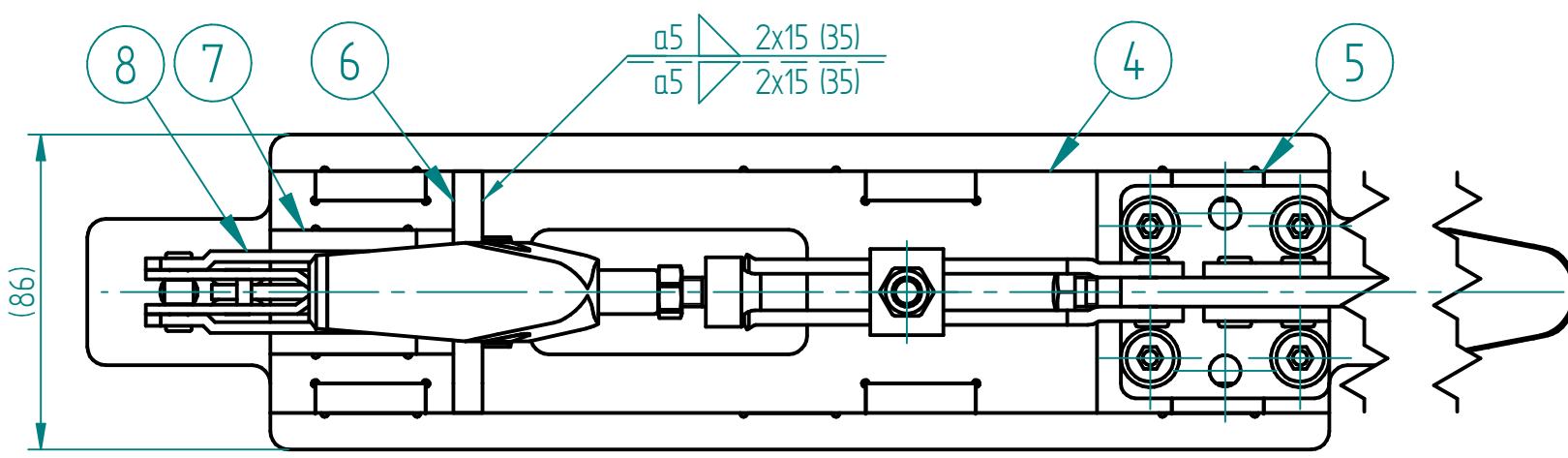
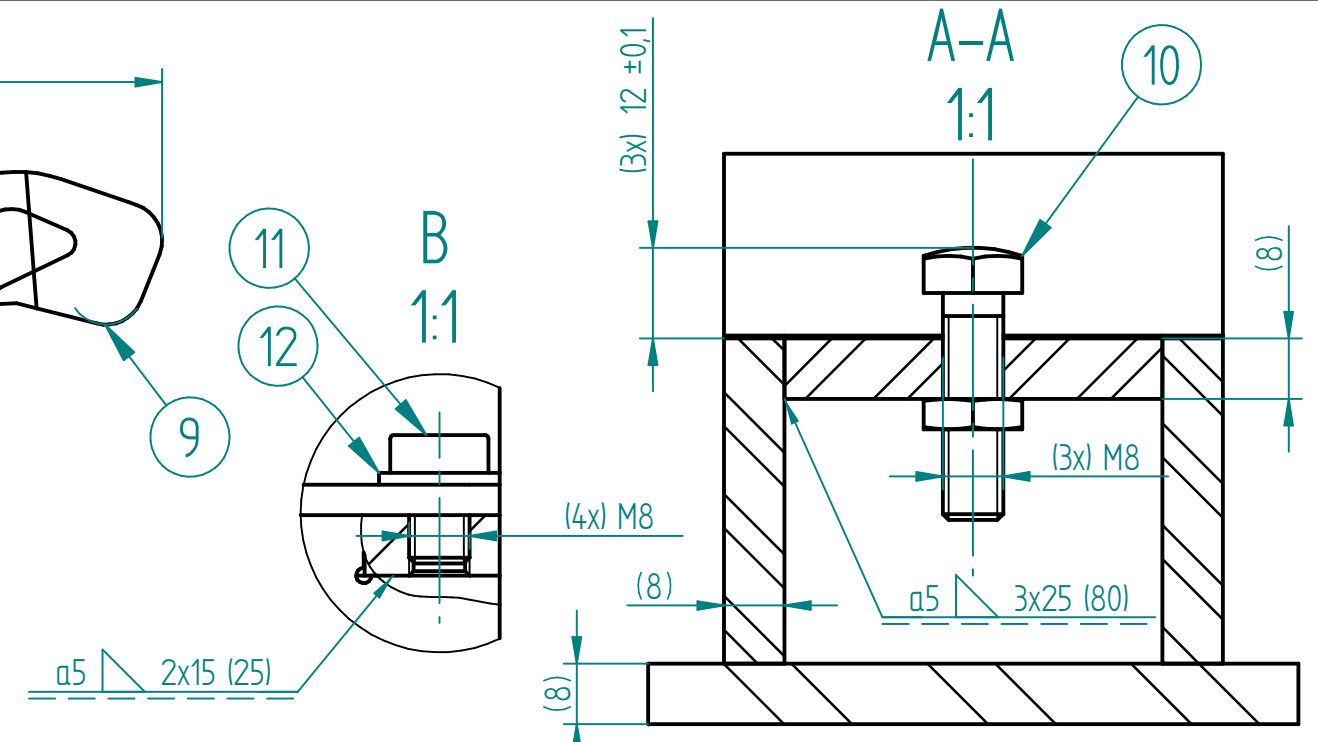
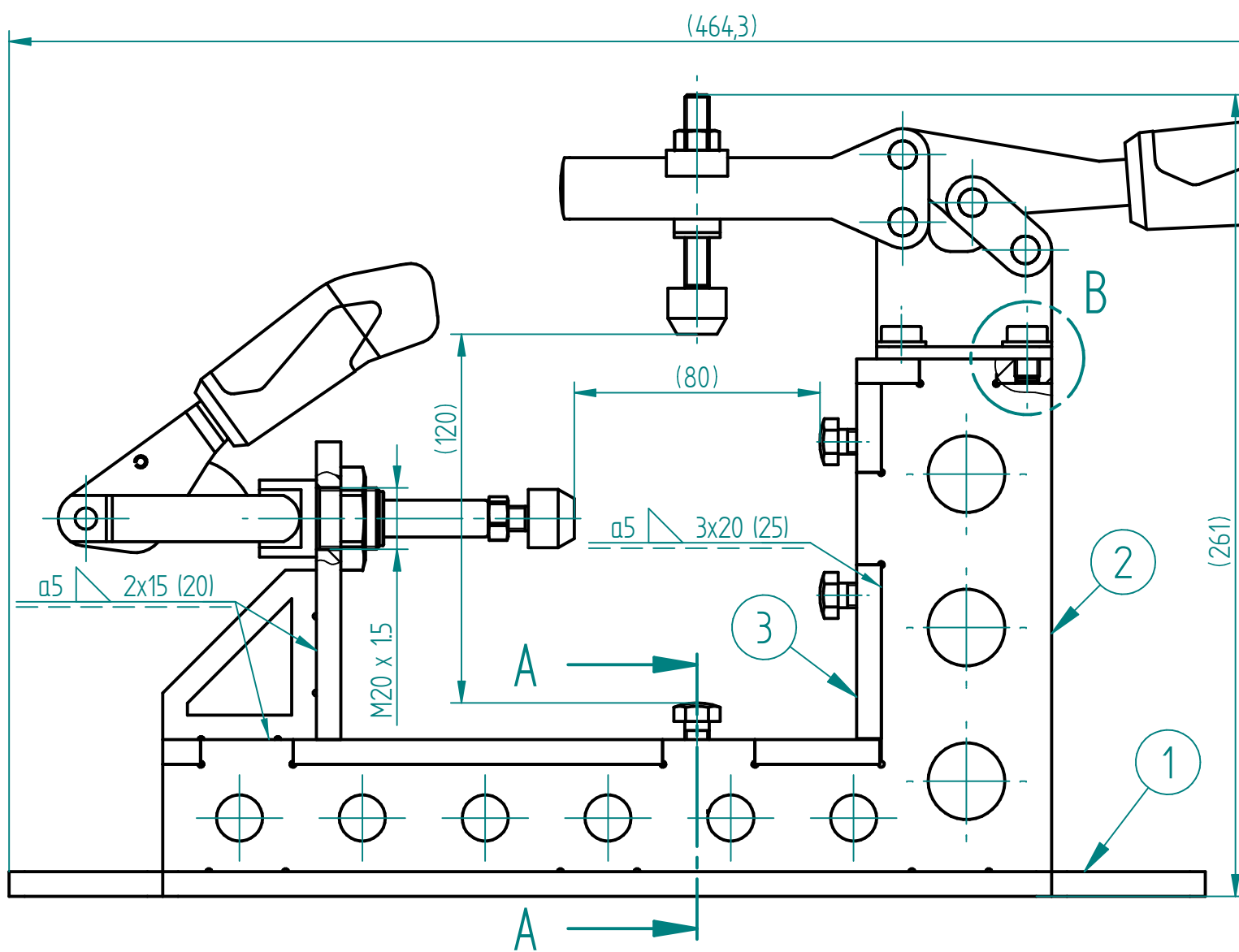
| | | | | |
|--|----------------|-----------------------|----------------|----------|
| | Materjal: | Märkimata piirhälbed: | Mass: | Moot: |
| | | ISO 2768-m | 126 kg | 1,5 |
| Teostas | V. Ševeljonkov | Nimetus: | Faili nimetus: | |
| Kontrollis | M. Sarkans | Robotkeevitusrakis | | |
| Kinnitas | | Leht: | Tähis: | Formaat: |
| | | 1 / 1 | RR1231 | A2 |
| <small>Inseriteaduskond Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn</small> | | | | |

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



| 4 | 1 | Nelikanttoru 40x40x3 - L1160 - Vasak | | EN 10025 S355J0 | |
|---|----------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------|----------------|
| 3 | 1 | Nelikanttoru 40x40x3 - L1160 - Parem | | EN 10025 S355J0 | |
| 2 | 1 | Nelikanttoru 40x40x3 - L1080 | | EN 10025 S355J0 | |
| 1 | 2 | Nelikanttoru 40x40x3 - L2394 | | EN 10025 S355J0 | |
| Osa | Kogus | Nimetus | Tähis | Materjal | Märkus |
| Materjal: | | | Märkimata piirhälbed: | | Mass: 26,3 kg |
| | | | ISO 2768-m | | Möötl: 1:10 |
| Teostas | V. Ševeljonkov | | Raam | | Faili nimetus: |
| Kontrollis | M. Sarkans | | | | |
| Kinnitas | | | | | |
| Inseneriteaduskond Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn | | | Leht: 1 / 1 | Tähis: RR1231.01 | Formaat: A3 |

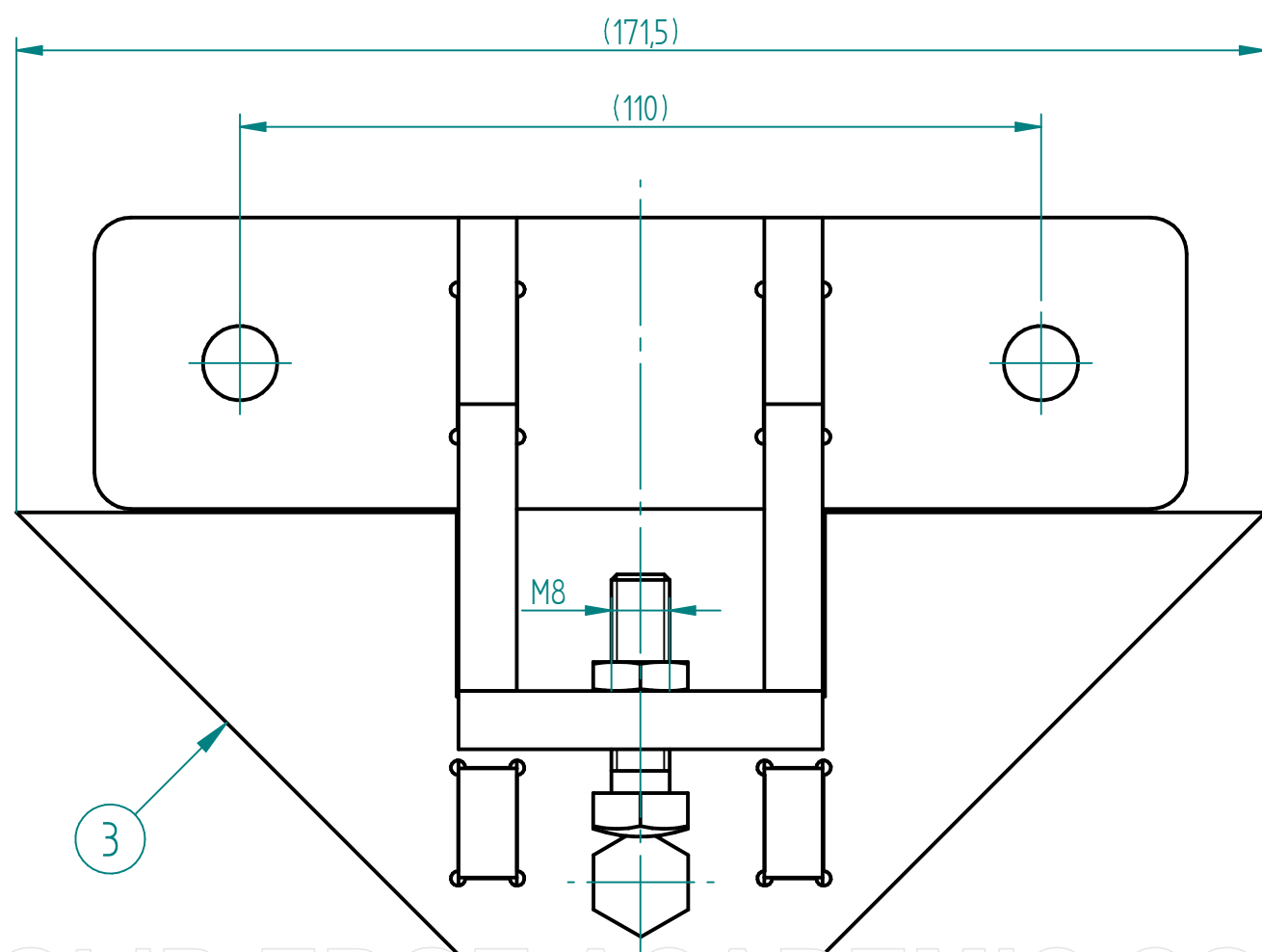
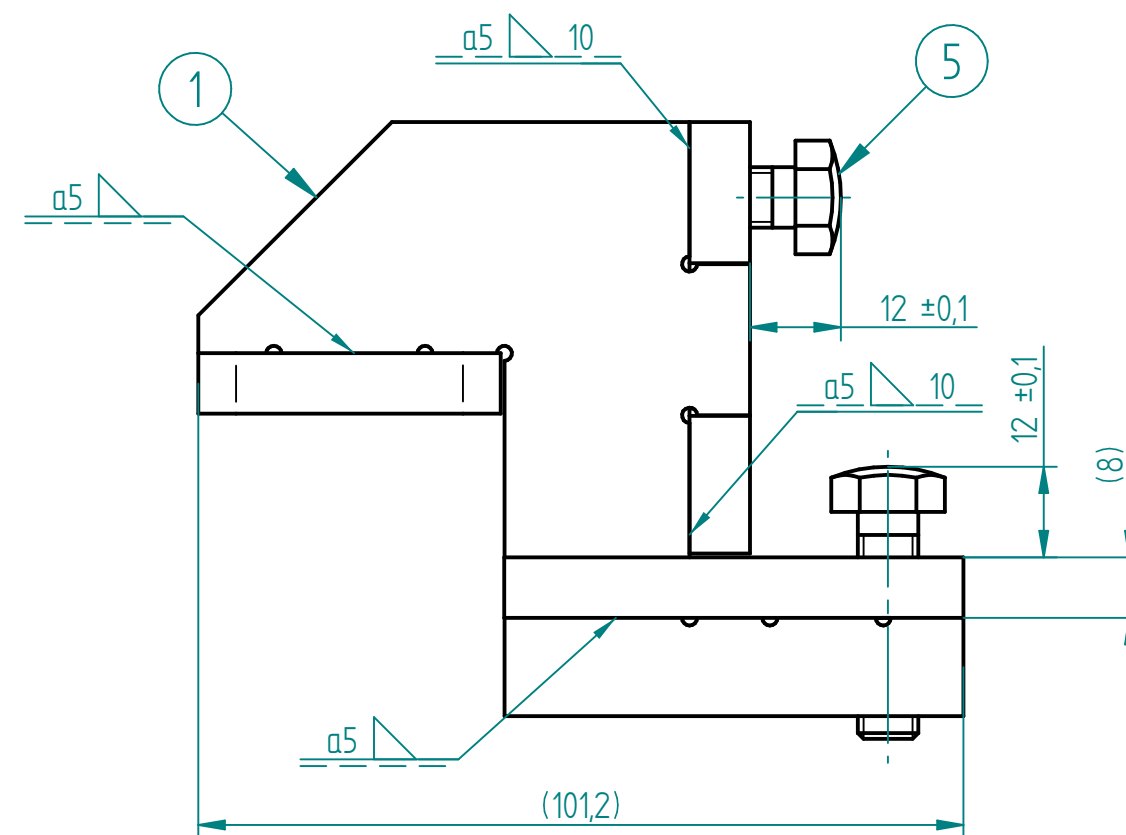
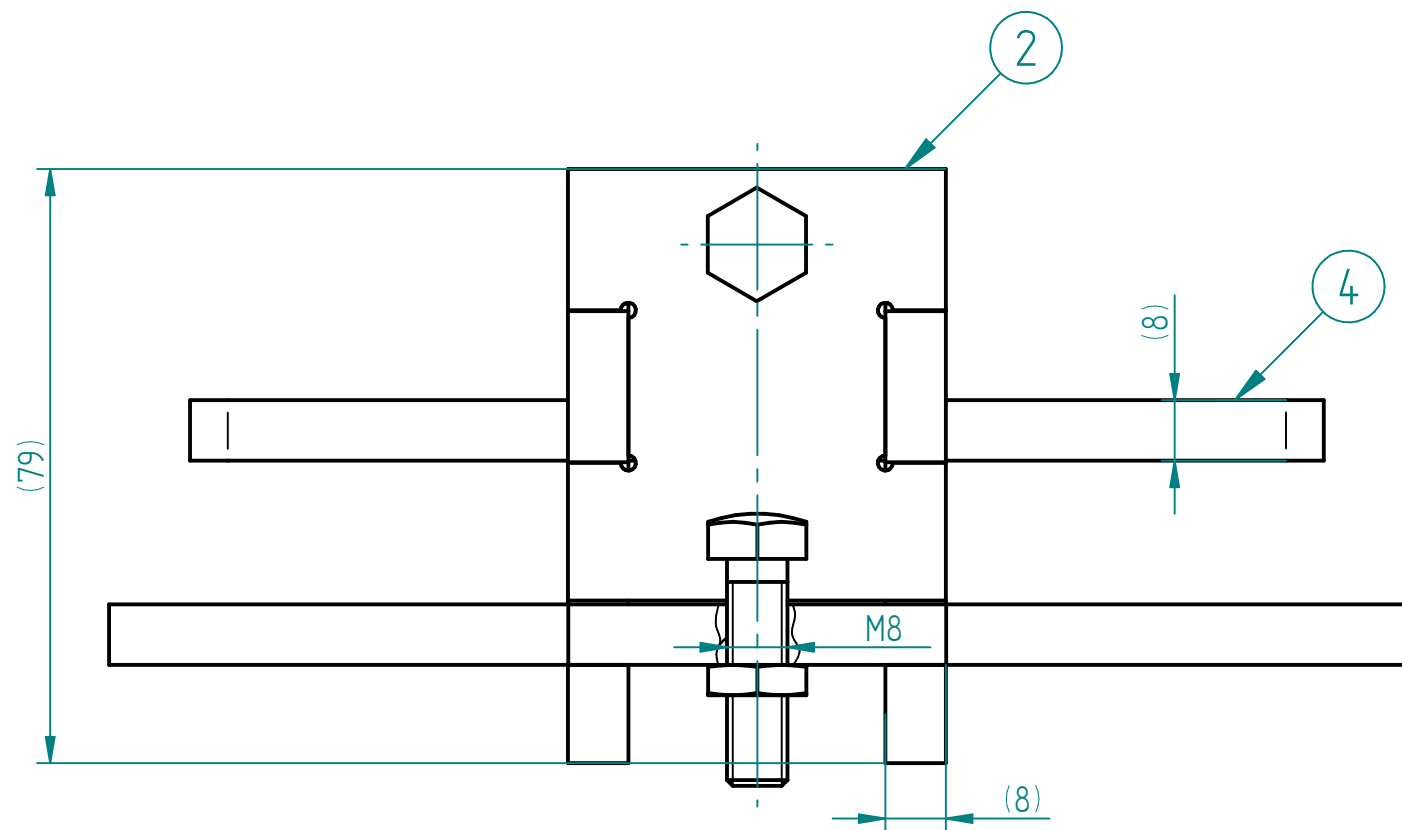
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



| | | | | | |
|----|---|---|-------------|-----------------|--|
| 12 | 4 | Seib DIN 125 - 8 - St | | | |
| 11 | 4 | Sisekuuskantpolt DIN 912 - M8 x 12 - St | | | |
| 10 | 3 | Tugisõrm Norelem 02153 | 02153-08036 | | |
| 9 | 1 | Kiirkinniti AMF 6830-4 | 93047 | | |
| 8 | 1 | Kiirkinniti AMF 6840-3 | 93930 | | |
| 7 | 2 | Kiirkinniti kronsteini ribi | | EN 10149 S355MC | |
| 6 | 1 | Kiirkinniti kronstein | | EN 10149 S355MC | |
| 5 | 1 | L-toe plaat 4 | | EN 10149 S355MC | |
| 4 | 1 | L-toe plaat 3 | | EN 10149 S355MC | |
| 3 | 1 | L-toe plaat 2 | | EN 10149 S355MC | |
| 2 | 1 | L-toe plaat 1 | | EN 10149 S355MC | |
| 1 | 1 | L-toe alusplaat | | EN 10149 S355MC | |

| Osa | Kogus | Nimetus | Tähis | Materjal | Märkus |
|------------|----------------|---|-----------------------|------------------|----------------|
| | | Materjal: | Märkimata piirhälbed: | | Mass: 6,7 kg |
| | | | ISO 2768-m | | Möötl: 1:2 |
| Teostas | V. Ševeljonkov | | Nimetus: | | Faili nimetus: |
| Kontrollis | M. Sarkans | | L-tugi | | |
| Kinnitas | | | | | |
| | | TAL Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn | Leht: 1 / 1 | Tähis: RR1231.02 | Formaat: A3 |

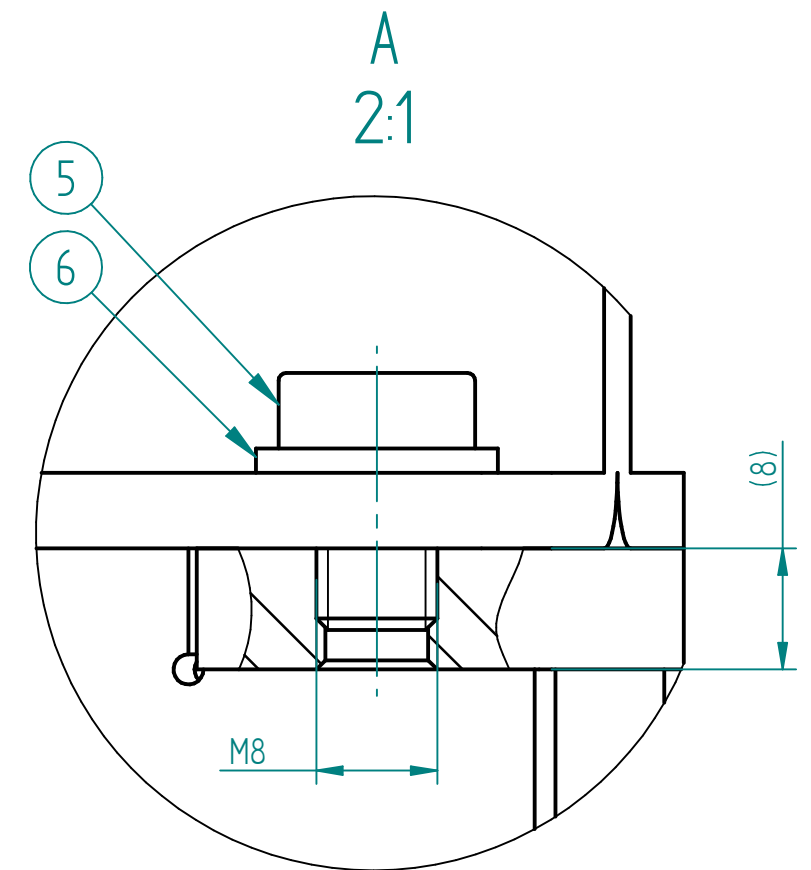
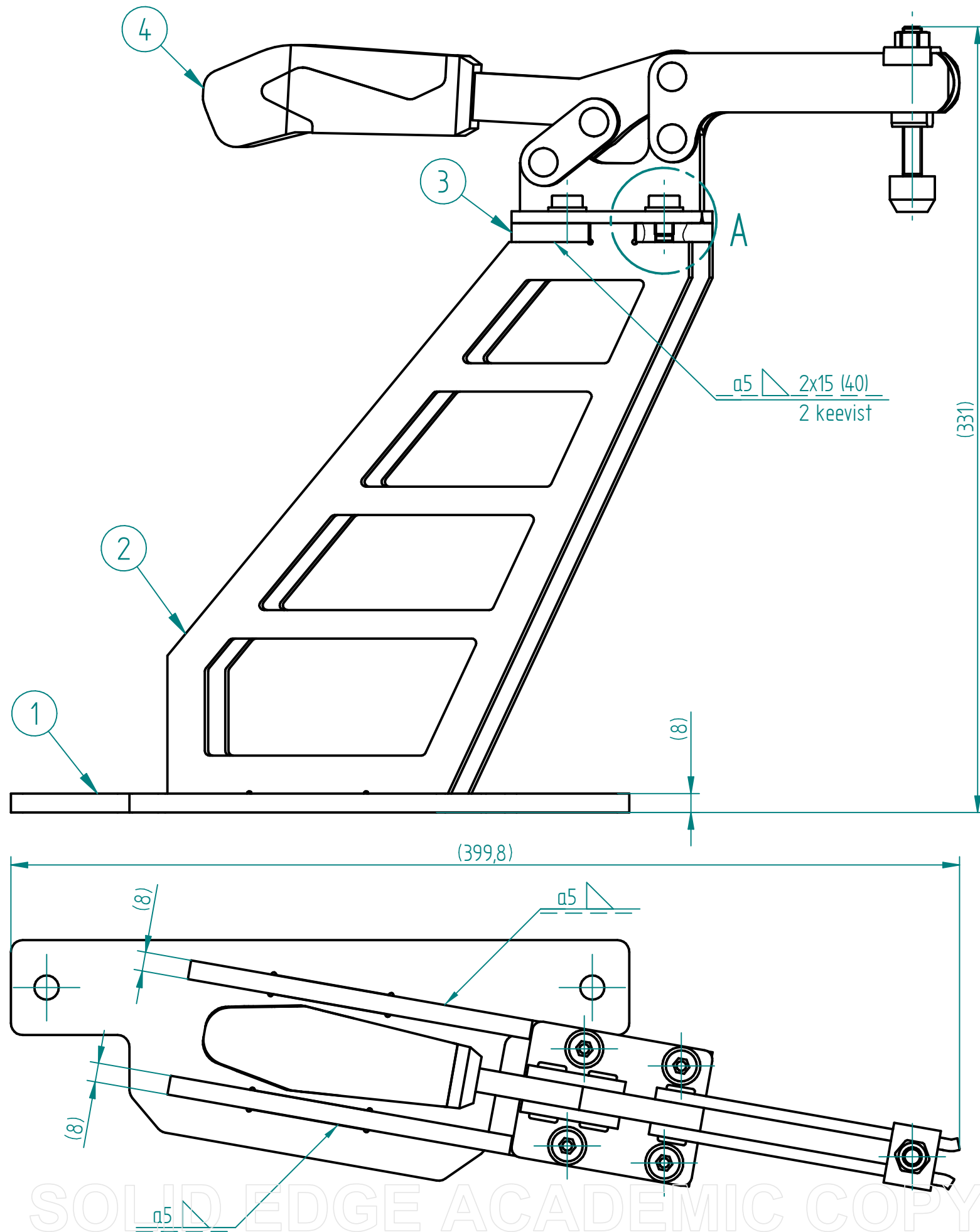
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



| 5 | 2 | Tugisõrm Norelem 02153 | 02153-08036 | | |
|-----|-------|------------------------|-------------|-----------------|--------|
| 4 | 1 | Külgtoe plaat 4 | | EN 10149 S355MC | |
| 3 | 1 | Külgtoe plaat 3 | | EN 10149 S355MC | |
| 2 | 1 | Külgtoe plaat 2 | | EN 10149 S355MC | |
| 1 | 2 | Külgtoe plaat 1 | | EN 10149 S355MC | |
| Osa | Kogus | Nimetus | Tähis | Materjal | Märkus |

| | | | | |
|------------|---|-----------------------|-----------|----------|
| | Materjal: | Märkimata piirhälbed: | Mass: | Möötl: |
| | | ISO 2768-m | 1,3 kg | 1:1 |
| Teostas | V. Ševeljonkov | Nimetus: | Külgtuugi | |
| Kontrollis | M. Sarkans | | | |
| Kinnitas | | | | |
| | Inseneriteaduskond Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn | Leht: | Tähis: | Formaat: |
| | | 1 / 1 | RR1231.03 | A3 |

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



| 6 | 4 | Seib DIN 125 - 8 - St | | | |
|---|----------------|---|-----------------------|-----------------|----------------|
| 5 | 4 | Sisekuuskantpolt DIN 912 - M8 x 12 - St | | | |
| 4 | 1 | Kiirkinniti AMF 6830-5 | 93054 | | |
| 3 | 1 | Kinniti posti plaat 3 | | EN 10149 S355MC | |
| 2 | 2 | Kinniti posti plaat 2 | | EN 10149 S355MC | |
| 1 | 1 | Kinniti posti plaat 1 | | EN 10149 S355MC | |
| Osa | Kogus | Nimetus | Tähis | Materjal | Märkus |
| Materjal: | | | Märkimata piirhälbed: | | Mass: Moot: |
| | | | ISO 2768-m | | 4,3 kg 1:2 |
| Teostas | V. Ševeljonkov | | Nimetus: | | Faili nimetus: |
| Kontrollis | M. Sarkans | | Kinniti post | | |
| Kinnitas | | | | | |
| Inseneriteaduskond Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn | | | Leht: | Tähis: | Formaat: |
| | | | 1 / 1 | RR1231.04 | A3 |

SOLID EDGE ACADEMIC COPY