

Ron Derrick Hibus

**THERMAL DYNAMICS
PLASMALÕIKURI INTEGREERIMINE
KUKA ROBOTILE**

LÕPUTÖÖ

Tehnika instituut

Robotitehnika

Juhendaja: Kristo Vaher

Tallinn 2023

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

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja Kristo Vaher

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Ron Derrick Hibus,
sünnikuupäev: 13.01.2000

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Thermal Dynamics plasmalõikuri integreerimine KUKA robotile

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

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

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

Tallinnas allkirjastatud digitaalselt.

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS	5
1.1 Probleemi püstitus.....	5
2. ANALOOGSETE LAHENDEUSTE ÜLEVAADE	6
2.1 ARC SPECIALTIES - UNIVERSAL ROBOTS, HYPERTHERM	6
2.2 ARC SPECIALTIES -KUKA, HYPERTHERM	7
2.3 PRODEVCO – FANUC, HYPERTHERM - PCR41.....	8
2.4 PRODEVCO – FANUC, HYPERTHERM - PCR42.....	9
2.5 BEAMCUT SYSTEMS - FANUC, HYPERTHERM	10
2.6 VOORTMAN – STÄUBLI, HYPERTHERM - V807	11
2.7 MICROSTEP - MITSUBISHI ELECTRIC	12
2.8 HARSLE - FANUC, HYPERTHERM	13
2.9 KNOPPO AUTOMATION - KNOPPO HYPERTHERM - T400.....	14
3. LAHENDUSTE VÄLJAPAKKUMINE	15
3.1 Roboti valik.....	15
3.2 Plasmalõikuri valik.....	16
3.3 Roboti ühendus plasmalõikruiga läbi I/O-de	17
4. KUKA WORKSVISUALI ETTEVALMISTAMINE	19
KOKKUVÕTE	31
VIIDATUD ALLIKAD	33

SISSEJUHATUS

Alas-kuul soovib arendada välja autonoomse plasmalõikuri, et liigutada Eestit metallilõikuse maailmas edasi. Hetkeseisuga on metallitööstuses suur kitsaskoht, mille tõttu ei suuda firmad rahuldada nõudlust. Praeguse seisuga lõigatakse metalli saega, mis on aeglane ja kulukas, samuti vajab saag iga kord käsitsi tagasi üles tõstmist ja metalli selle alla asetamist. Samal ajal, kui saag lõikab, pole töötajal midagi teha. Pärast seda on vahest vaja lõigata avasid materjali ja seda tehakse käsitsi plasmalõikuriga, selleks on vaja transportida raske metall käsitsi teise tööpunkti ja teine töötaja lõikab ettenähtud avad. See töötaja samuti ei saa teha konstantselt tööd kuna metallilõikus on nii aeglane. Selle töö raames uuritakse, kas ja kuidas mujal maailmas on käsitletud sellist lahendust. Samuti on ülesandeks uurida kas Thermal Dynamics plasmalõikur ja KUKA robot sobivad kokku ja seejärel nende integreerimine.

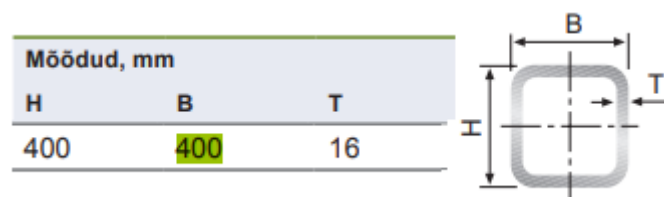
1. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS

Alas-Kuul AS on 1993 aastal loodud tööstusseadmete ja komponentide müügi ja hooldusfirma, kes tegutseb nii Eestis kui ka Lätis. Nende tootevalikusse kuuluvad: laagrid, jõuülekanne tooted, mootorreduktorid, suruõhu kompressorid, vaakumpumbad, pneumaatika komponendid, keevitusseadmed ja -kuluosad, metallilõikus tooted. [1]

1.1 Probleemi püstitus

Hetkel puudub kindel ettevõtte või klient, aga huvilisi on.

Firma soovib lõigata ruuttoru 200x200 kuni 400x400 mõõdus. Materjal on 355 konstruktsiooniteras. Ruukki terastoodete laoprogrammi (Joonis 1) järgi tuleb 400 millimeetrit pikkuse ja 400 millimeetrit laiuse ruudukujuline ristlõike maksimaalne paksus 16 millimeetrit. [2] Toru soovitakse lõigata plasmaga sae asemel kuna saega lõikamine on väga kulukas ja aega nõudev. Robot peab lõikama alt, pealt ja kõrvalt, samuti peab suutma lõigata ringikujulisi avasid toru peale. Klient materjali markeerida ei soovi, ainult lõigata. Klient samuti soovib nurga all lõikeid teha. Robot peab lõikama ainult ühte materjali ja ühte paksust.



Joonis 1. Ruuttoru maksimaalne paksus selle mõõtmete põhjal

2. ANALOOGSETE LAHENDEUSTE ÜLEVAADE

2.1 ARC SPECIALTIES - UNIVERSAL ROBOTS, HYPERTHERM

ARC Specialties tutvustas koostööl põhinevat plasmalõikusrobotit SnapCut (Pilt 1). Idee oli kaasaskantava magnetilise aluse lõikesüsteemi loomisel, mida saaks asetada detailile või selle lähedusse, seejärel lõigata kiiresti ja täpselt kujundeid kohtadest, kuhu tavaliselt ei pääse robotid või põlevad lauad. Kujutage ette magnetilist alustrelli, mis lisaks ümaratele aukudele on võimeline lõikama kolmnurki, ruute, poldiringe, pilusid, kaldeid plaadile ja konstruktsioonivorme nagu torud, I talad, kanalid ja kandilised torud. Selles näites lõi ARC Specialties keevitustehnik Jim Walker võrguühenduseta lõikamisprogrammi, et teha torudele ja vormitud osadele keerulisi sobivaid lõikeid. Lõige on suurepärane, mis muudab järgneva keevitamise kiireks ja lihtsaks. Nagu alati, tegi HyperTherm plasma puhtaid lõikeid suurepäraselt. Universal Robots UR10, milles töötab ARC Specialties SnapCut tarkvara, on lihtne kasutada. Enne SnapCuti töödeldi seda tüüpi liigendeid (Pilt 2) kas 5-teljelise CNC-freesiga või lõigati käsitsi ja seejärel lihviti nurklihviijaga vormi. [3]



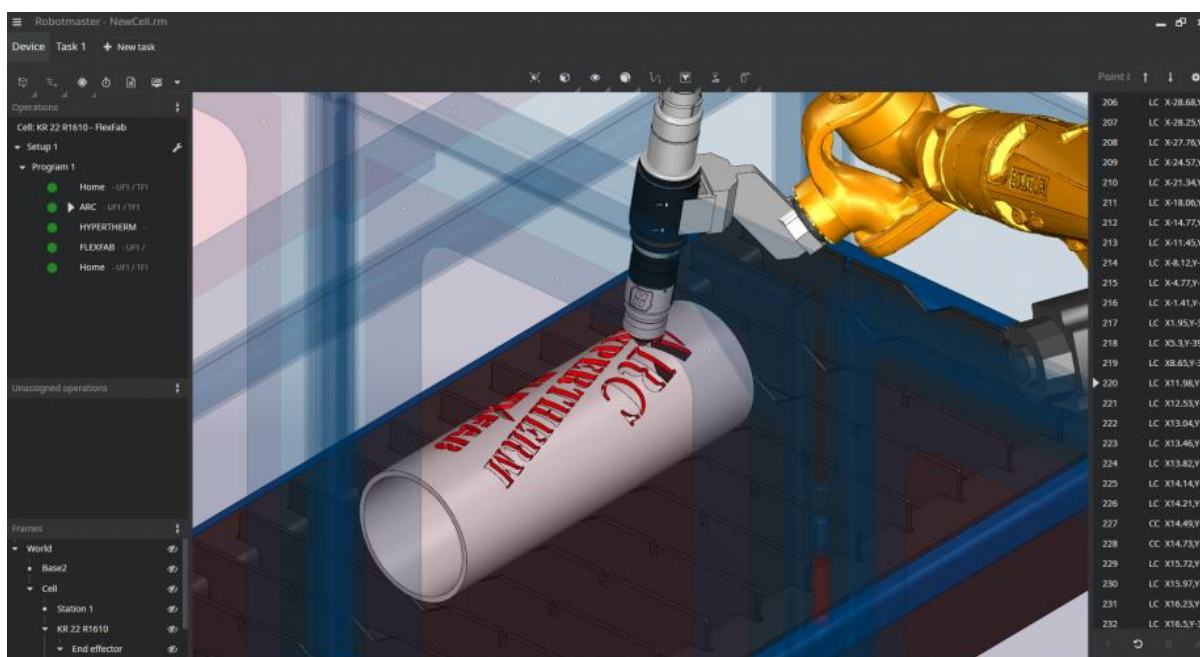
Pilt 1. SnapCut robot programmis ja pärismaailmas



Pilt 2. UR robotiga tehtud kompleks lõige

2.2 ARC SPECIALTIES -KUKA, HYPERTHERM

Kuna aina rohkem tööstusharusid hakkasid nõudma tootmisprotsesse peale traditsioonilise 2D-plaadi lõikamise, pöördus täiustatud lõikelahenduste tootja Hypertherm ARC Specialties poole ideega kavandada ja ehitada automatiseeritud lahendus 3D-robot-plasmalõikamiseks. Tulemuseks oli koostöö. Sellel konkreetsel probleemil oli kolm osa: lõikesüsteem, robot ja tarkvara. Nii Hyperthermi täiustatud plasmalõikussüsteemid kui ka KUKA võimas robotkontroller kasutavad etherCAT-i ühendust, sobivad need hästi kokku. Mõlemal ettevõttel oli juba suhe ARC Specialtiesiga ja nad olid hästi teadlikud integraatori liikumisjuhtimise teadmistest. KUKA soovitas ARC-le tegeleda tarkvara poolega ja integreerida kõik rakukomponendid ainult tugevdas koostööd. Idee oli luua võtmed kätte lahendus, mis suudaks kiiresti ja lihtsalt teisendada CAD-joonised kolmemõõtmelisteks plasmaga lõigatavaks terasdetailiks ilma töömahuka programmeerimiseta. Seal sai Hyperthermi võrguühenduseta programmeerimistarkvarast Robotmaster (Pilt 3) probleemi lahenduse osaks.[4]



Pilt 3. Robotmaster program

2.3 PRODEVCO – FANUC, HYPERTHERM - PCR41

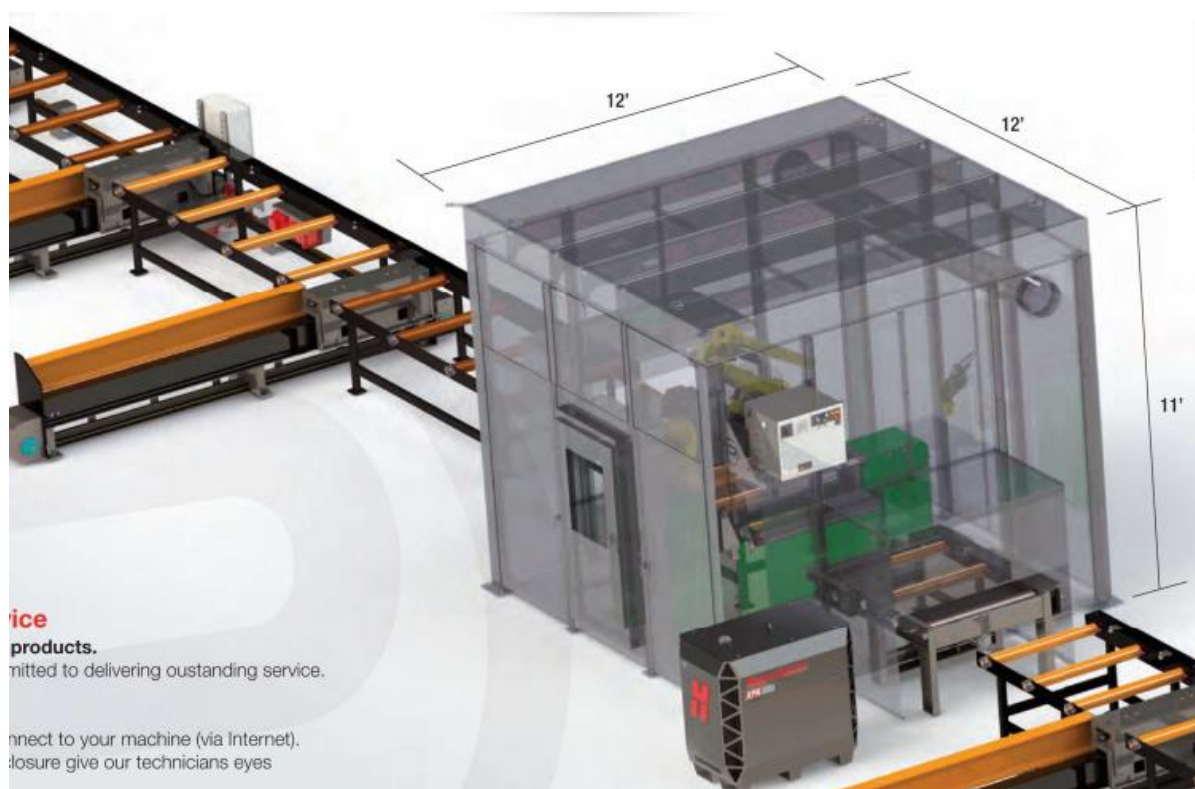
Kasutab Tekla ja SDS 2 tarkvara ja DSTV (NC1) faile. Plussid on kvaliteet ja täpsus, lasermõõtesüsteem leiab tooraine tegelikud mõõtmed ja kompenseerib automaatselt kõik erinevused, nii et lõpptulemus ühtiks joonisega. Lihtne kasutada, tarkvara on välja töötatud ettevõttesiseselt, et töödelda isegi kõige keerukamaid DSTV-faile. Madal hooldus, süsteem loodi madalate hooldusnõuetega. Fanuci robotid on laialdaselt saadaval kogu maailmas ja neil on turu pikimad keskmised ajad enne tõrget. Hypertherm plasma ja nende elektrimootorid on tuntud töökindluse ja vähesa hoolduse poolest. Lühikesed tsükliajad, nende 3D-nägemise mõõtesüsteem võimaldab kiiremaid ja väga täpseid mõõtmisi teha ning teeb seda kordades kiiremini kui seda saaks teha käsitsi. Nelja külje töötlus, PCR 41 (Pilt 4) saab lõigata pilusid, avasid, haake ja märgiseid konstruktsiooniterase kõigile neljale küljele. [5]



Pilt 4. PCR41 ja tema töökeskkond

2.4 PRODEVCO – FANUC, HYPERTHERM - PCR42

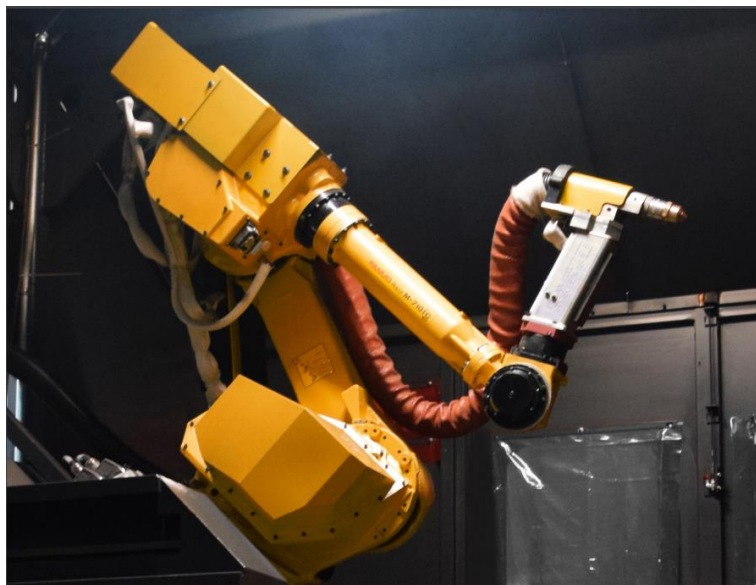
Traditsioonilistest mõõtmismeetoditest kiirem ja täpsem, tipptasemel platvorm ei ole mõjutatud liigsest roostest, prahist, mehaanilisest libisemist ega kulumisest. Nende 3D nägemissüsteem mõõdab tooraine tegelikke mõõtmeid ja kompenseerib automaatselt kõik erinevused. Lõpptulemused vastavad täpselt kaasasolevale DSTV-failile. Nende tarkvara on välja töötatud ettevõttesiseselt, et töödelda isegi kõige keerukamaid DSTV- faile, mis on loodud teie detailitarkvaraga. Süsteem loodi madalate hooldusnõuetega. Fanuci robotid on laialdaselt saadaval kogu maailmas ja neil on turu pikimad keskmised ajad enne tõrget. Hypertherm plasma ja nende elektrimootorid on tuntud töökindluse ja vähese hoolduse poolest. Nende 3D-nägemise mõõtesüsteem võimaldab kiiremaid ja väga täpseid mõõtmisi teha ning teeb seda kordades kiiremini kui seda saaks teha käsitsi. PCR 42 (Pilt 5) saab lõigata pilusid, avasid, haake ja märgiseid konstruktsiooniterase kõigile neljale küljele. Käsitlemise vähendamiseks ja tootlikkuse suurendamiseks võite toorest tükist mitu osa töödelda.[6]



Pilt 5. PCR42

2.5 BEAMCUT SYSTEMS - FANUC, HYPERTHERM

Beamcut Soft on nende patenteeritud tarkvara, mida kasutatakse robotite trajektooride programmeerimiseks. *Beamcut* kasutab DSTV-faile 3D-profiilide koostamiseks ja 2D-ks DXF *AutoCAD*-faile. Kui failid on imporditud, *BeamCut Soft* simuleerib automaatselt lõikamise järjestuse. Automaatne lõiketrajektor on loodud ja kontrollitud joonistusarvutis masina asemel. 6-teljeline robot-CNC-element (Pilt 6), mis kasutab kõrglahutusega plasmatehnoloogiat metallprofiilide lõikamiseks iga konstruktsiooniterase ja mitmesuguse metallitööstuse jaoks. Selle eelised on väiksem tööpinna kasutus, vähene viivitus lõigete vahel, asendab traditsioonilised nurgaliited, tala puurimisjooned, lintsae lõiked ja kõrvaldab käsitsi töötlemise, käsitsi keevitamise ettevalmistamise ja traditsioonilise lõikamise ja lihvimise. [7]



Pilt 6. 6-teljeline robot-CNC-element

2.6 VOORTMAN – STÄUBLI, HYPERTHERM - V807

Voortman kasutab VACAM tarkvara ja loeb DSTV ja DSTV+ faile. Nad on automatiseerinud võimalikult palju protsesse ja sisse ehitanud ka palju nutikaid funktsioone, mis tagavad operaatoritele järjepidevuse. Lõikamise alustades analüüsib VACAM, milline voolutugevus tagab kõrgeima lõikekvaliteedi toote igat tüüpi lõigete puhul. Seejärel soovib parima tööriista roboti külge panna ja siis analüüsib uuesti. Robot vaatab lõikeprotsessis ettepoole, et optimeerida lõiketeed ja kõrvaldada takistusi. Eriti H- või I-profiilide lõikude korral võib põleti äärikute taha kinni jääda. Funktsiooni *Clearance Pocket* abil lõikab robot ära osad jääkmaterjalist, mis võivad põhjustada kokkupõrget ja sillutab teed täiuslikule lõikele. Staubli on üks nende kvaliteedipartneritest ja on nende lõikeroboti tootja. Tänu avatud liidesele saavad nad roboti täpselt ühendada enda tarkvaraga ja integreerida selle oma optimeerimistesse. Selle asend välistab igasuguse impulsi, et tagada lõikamise ajal optimaalse stabiilsuse ja vastupidavuse IP65 robot tolmu ei karda (Pilt 7). Robotit saab lülitada kiiresti plasma ja hapnikukütuse vahel ning sellega saab töödelda laias ulatuses profiile paksuste suhtes. Kõik on integreeritud, ette valmistatud ja peidetud pöörlevasse kettasse ning tagab kiire vahetuse, et suurendada paindlikkust. [8]



Pilt 7. Voortmani robot

2.7 MICROSTEP - MITSUBISHI ELECTRIC

MicroStep on tegelenud spetsiaalse kuni 120° kallutatava pöörleva faasimispea väljatöötamisega torudest ja profiilidest 3D-osade väljalõikamiseks (Pilt 8) , kuplite täpseks lõikamiseks ja lahtiste H, U, I või L profiilide lõikamiseks. Peale lõikepeade on arenduse fookuses ka lõiketehnoloogiate täiustamine, uued meetodid lõiketehnoloogiate füüsiliste piiride kompenseerimiseks, mis on keskendunud lõikeriista suuremale täpsusele, funktsionaalsusele ja pikaajalisele stabiilsusele. Selle arenduse tulemused on näiteks tööriista geometria automaatne kalibreerimine, kohanemisvõimeline kalde kompenseerimine või nutikas põleti kõrguse kontroll muutuvate kaldenurkade lõikamiseks. Lisaks lamedate lehtede lõikamisele on MicroStep pikka aega tegelenud 3D-kujundite lõikamisega. Kas töödeldava detaili pööramisega piki telge koos lõikeriista liikumisega tooriku pinnast kõrgemal või spetsiaalsete mitmeteljeliste lõikepeade abil, mis võimaldavad lõigata staatiliselt masina töösooni asetatud toorikusse. Teatud kliendi vajaduste lahendamisel andis robotkäe rakendamine lootust. Seda tänu sellise käe laiale liikumisulatussele, mis võimaldab lõigata erineva suurusega toorikuid. [9]



Pilt 8. Kompleks nurga all olev nurk

2.8 HARSLE - FANUC, HYPER THERM

Plasmalõiketehnoloogiat kasutatakse suurema paksusega kuni 300 mm lehtmaterjali lõikamiseks võrreldes laserlõikusega, mida kasutatakse õhemate lehtede kuni 15 mm puhul. Plasmalõikamise tehnoloogia on parim ja kulutõhusam lahendus paksude metallide lõikamiseks. Täiustatud kulumaterjalide konstruktsioon parandab lõike järjepidevust ja pikendab märkimisväärselt kulumaterjali eluiga, et vähendada osa maksumust. *True Bevel* lõiketehnoloogia abil on uute tööde seadistamine kiire ning tulemused täpsed ja ühtlased. FANUCi roboti kasutamine annab klientidele erinevaid konkurentsieeliseid: suurem tootlikkus, töökindlus suureneb, kõrgem toote kvaliteet, kulud vähenevad jne. Roboti kere juhatakse kuue teljega, et tagada tootmises paindlik töö. HARSLE maapealse rööbastee abil saavutatakse seitse telge (Pilt 9), et maksimeerida tootmise efektiivsust. [10]



Pilt 9. Harsle roboti seitse telge

2.9 KNOPPO AUTOMATION - KNOPPO HYPERTHERM - T400

H-tala lõikemasina kasutatavad materjalid: Roostevaba terase, süsinikterase, pehme terase, raua lõikamine. Ümmarguse toru, ruudukujulise toru, nurkterase, teraskanalite, H-tala, H-tala, H-terase jne lõikamine. Plussideks on liikumise kõrge täpsus seega masin teab enda positsiooni, kiirust ja pöördemomenti suletud ahela juhtimisel ja lugeda andmeid aegsasti koos kodeerija tagasisidega, et positsiooni võrrelda. Masin omab kaheksat telge (Pilt 10), esimesed kuus telge tulevad robotilt endalt, üks lisandub rullkonveierilt, mis on roboti all ja kaheksas telg on saavutatud materjali keeramisega. [11]



Pilt 10. Kaheksa teljega Knoppo masin

3. LAHENDUSTE VÄLJAPAKKUMINE

3.1 Roboti valik

Parima KUKA roboti valimiseks tegin matrikstabeli (Joonis 2), milles võrdlesin roboti ulatust, kandevõimu, asendi kordavust, lineaarliikumise kiirust, kaalu ja ühendust. Robotid on valitud *Low payload* ja *Hollow wrist* robotite alt. *Low payload* sai valitud kuna püstol, mida robot peab kandma on ligi 2 kg ja *Hollow wrist* kuna sellise lahenduse jaoks on hea kui juhtmed ja traat saab läbi roboti käe tulla, mitte selle ümbert.

Roboti nimi	KR 6 R1840-2 arc HW	KR 6 R1440-2 arc HW E	KR 8 R1440-2 arc HW	KR 6 R2010-2 arc HW E	KR 8 R2100-2 arc HW	KR 8 R1640-2 arc HW
Ulatus	1843 mm	1441 mm	1441 mm	2010 mm	2101 mm	1641 mm
Kandevõim	6kg	6kg	8kg	6kg	8kg	8kg
Asendi kordavus	± 0.04 mm	± 0.04 mm	± 0.04 mm	± 0.04 mm	± 0.04 mm	± 0.04 mm
Lineaar liikumise täpsus	± 0.1 mm	-	± 0.1 mm	-	± 0.2 mm	± 0.1 mm
Kaal	175kg	195kg	167kg	204kg	260kg	172kg
Ühendus(vajalik C4)	C5	C4	C5	C4	C4	C5

Joonis 2. Matrikstabel KUKA robotitest

Ulatus, kandevõim, asendi kordavas ja kaal sobivad neil kõigil.

Kahel robotil(KR 6 R1440-2 arc HW E ja KR 6 R2010-2 arc HW E) puudub info lineaar liikumise täpsuse kohta seega neid ole ka võimalik kasutada.

Kolm robotit(KR 6 R1840-2 arc HW, KR 8 R1440-2 arc HW ja KR 8 R1640-2 arc HW) suudavad ainult suhelda läbi C5 kontrolleri ja see ei sobi kuna me võtsime endale kasutusse C4 kontrolleri.

Seega meie valik on KR 8 R2100-2 arc HW (Pilt 11) kuna ta läbib kõik kriteeriumid.



Pilt 11. KUKA robot KR 8 R2100-2 arc HW

3.2 Plasmalõikuri valik

Järgmisena tuli suhelda ESABi töötajaga, kust läks suund edasi Thermal Dynamics inimeseni, kes uuris, mida Alas-Kuul täpsemalt vajab ja seejärel soovitas „ULTRA-CUT XT 200A“ (Pilt 12) plasmalõikurit.



Pilt 12. ULTRA-CUT XT 200A

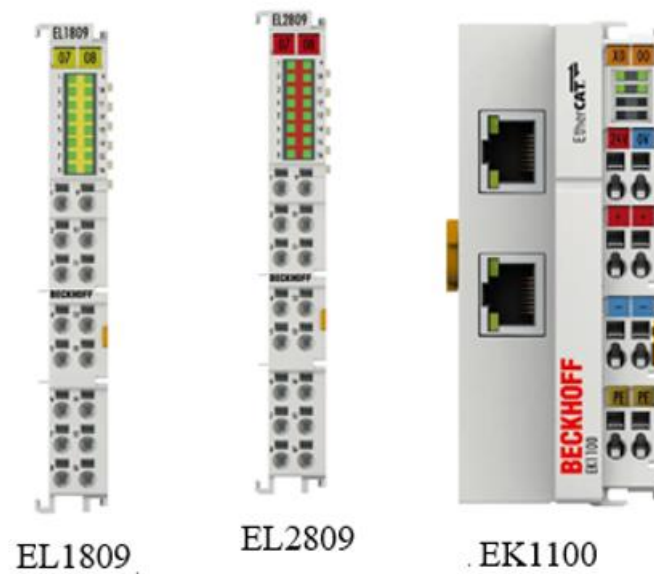
Samuti koos sellega sai mainitud, mis on minimaalsed ühendused (Joonis 3), et masin töötaks.

<i>Remote ON/OFF</i>	see lülitab sisse ja välja plasma sekundaarse külje
<i>Preflow ON</i>	Valikuline, muudab mõnel juhul süütamise veidi kiiremaks
<i>Start/Stop</i>	Lülitab plasma sisse ja välja
<i>Ok to move</i>	Näitab, et kaar on üle kantud ja lõikamise taimerid võivad käivituda
<i>Arc voltage</i>	Annab robotile teada kaare pikkuse (lõikekõrguse)

Joonis 3. Minimaalsed ühendused roboti suhtluse vahel

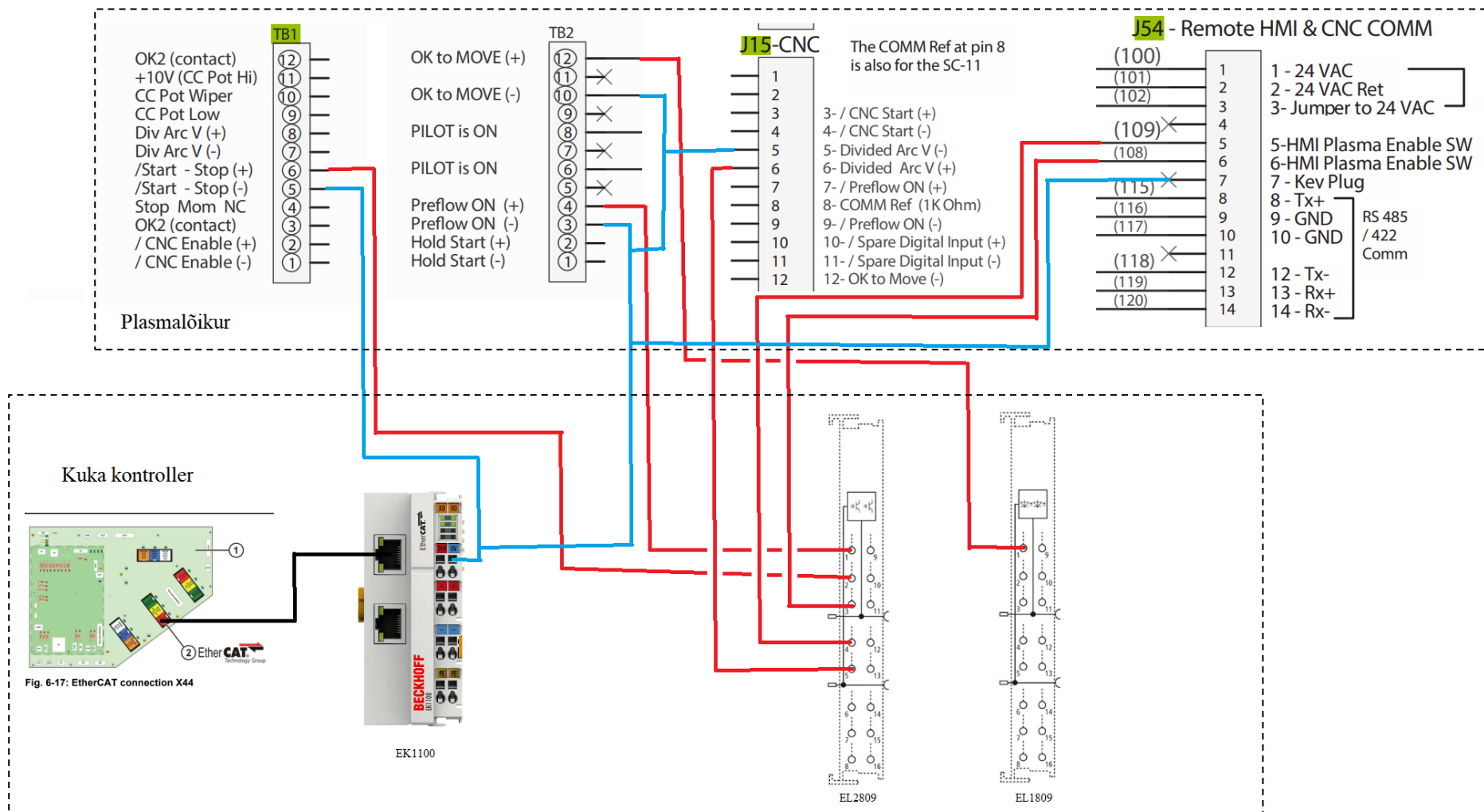
3.3 Roboti ühendus plasmalõikruiga läbi I/O-de

Plasmalõikur suhtleb KUKA robotiga läbi Beckhoff coupleri, mis läheb KUKA kontrolleri sisse. Beckhoff muudab I/O signaalid *Ethercati* signaaliks, mida kontrolleri suudab lugeda. Selleks kasutatakse EL1809 (Pilt 13, esimene detail) ja EL2809 (Pilt 13, teine detail) *Ethercat* Terminali, millest esimene on *input* ja teine on *output* ja nende külge läheb veel EK1100 coupler (Pilt 13, kolmas detail), kust tuleb *Ethercat* ühendus välja.



Pilt 13. Beckhoff detailid EL1809, EL2809 ja EK1100

Järgmisena tegin joonise (Joonis 4) eelmainitud ühendustest, mis on minimaalsed, et plasmalõikur tööle hakkaks.



Joonis 4. Minimaalsed ühendused KUKA kontrolleri ja plasmalõikuri vahel

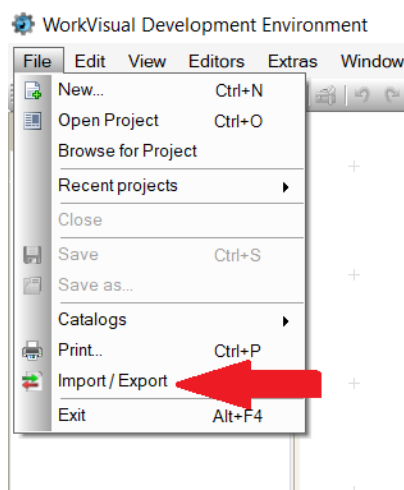
4. KUKA WORKSVISUALI ETTEVALMISTAMINE

Esiteks tuleb avada Workvisual 6.0 (Pilt 14)



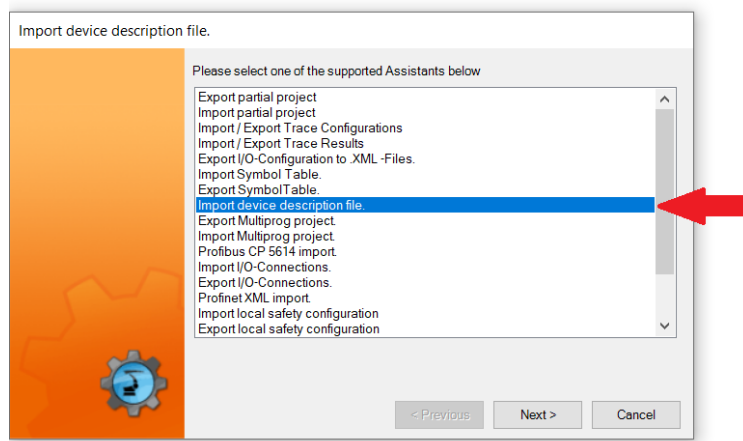
Pilt 14. Workvisual 6.0

Järgmisena tuleb üleslaadida Beckhoff failid nende terminalide jaoks. Selleks võtame „File“ lahtri (Pilt 15) alt „Import/Export“.



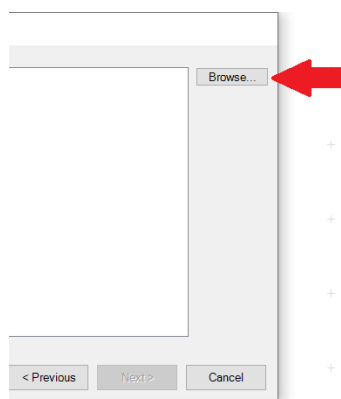
Pilt 15. Faili lahter

Seejärel tuleb valida „Import device description file“ (Pilt 16) ja vajutada „Next“.



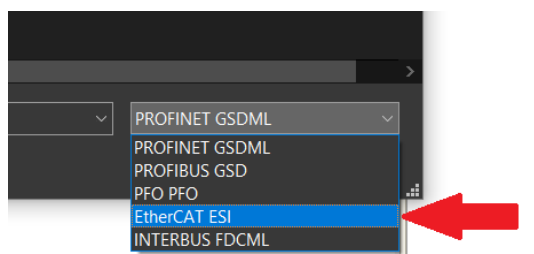
Pilt 16. “Import device description file”

Siis panna „browse“(Pilt 17).



Pilt 17. „Browse“

Kuna vaikismisi otsib programm PROFINET GSDML faile (Pilt 18), tuleb valida „Ethercat ESI“.



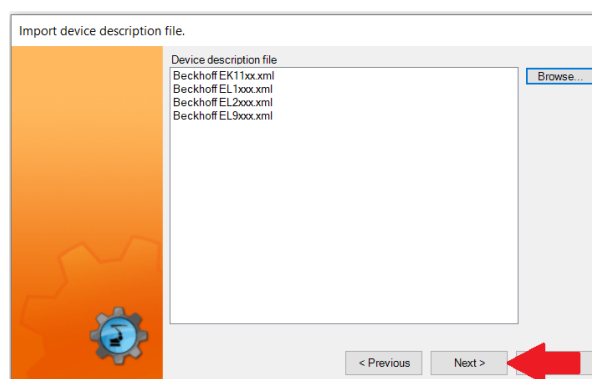
Pilt 18. Failide valik

Järgmisena tuleb valida failid Beckhoff EK11xx, Beckhoff EL1xxx, Beckhoff EL2xxx, Beckhoff EL9xxx (Pilt 19).

Name	Date modified	Type	Size
 Beckhoff EK11xx	15/04/2023 04:00	XML Document	53
 Beckhoff EL1xxx	15/04/2023 04:00	XML Document	3,801
 Beckhoff EL2xxx	15/04/2023 04:00	XML Document	3,651
 Beckhoff EL9xxx	15/04/2023 04:00	XML Document	3,218

Pilt 19. Beckhoffi failid

Kui valik on tehtud tuleb vajutada „Next“ (Pilt 20) ja seejärel uuesti „next“.

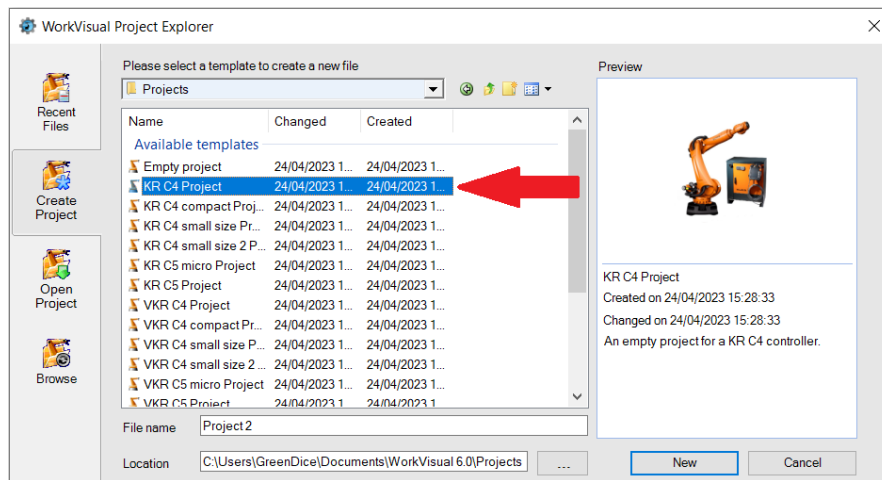


Pilt 20. Pilt valitud failidest

Failide üleslaadimine võib võtta natuke aega. Kui failid on üleslaetud, tuleb vajutada „Close“.

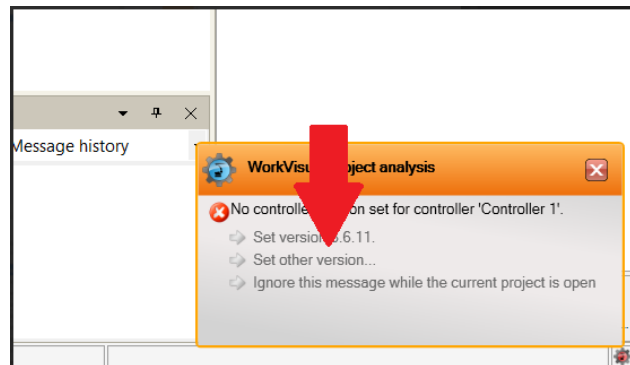
Seejärel tuleb alustada uue projektiga, selleks tuleb vajutada nuppule „New“.

Pärast seda avaneb aken, kus saab valida, mis on kontrolleri versioon. Valime „KR C4 Project“ (Pilt 21).



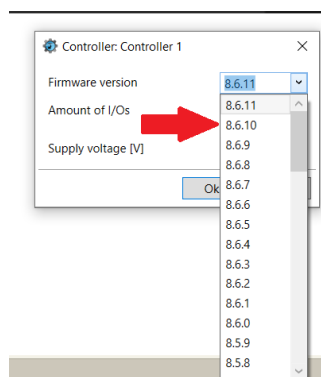
Pilt 21. Kontrolleri valik

Järgmisena küsib programm (Pilt 22), mis on kontrolleri versioon, mida kasutame.



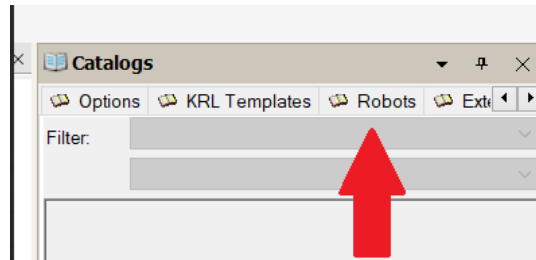
Pilt 22. Kontrolleri versioon

Vajutame „Set other version...“ ja valime 8.6.10 (Pilt 23).

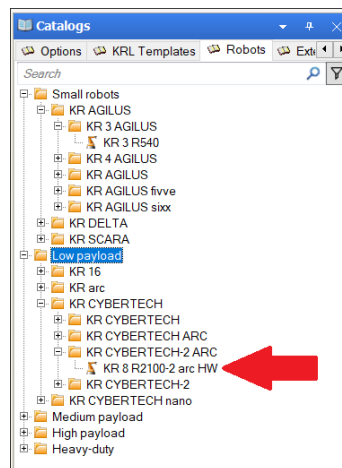


Pilt 23. Versiooni valik

Järgmisena valime paremal üleväl kataloogide alt „Robots“ (Pilt 24), mis avab meile kataloogi KUKA robotitest, sealt valime „Low payload“ > „KR CYBERTECH“ > „KR 8 R2100-2 arc HW“ (Pilt 25).



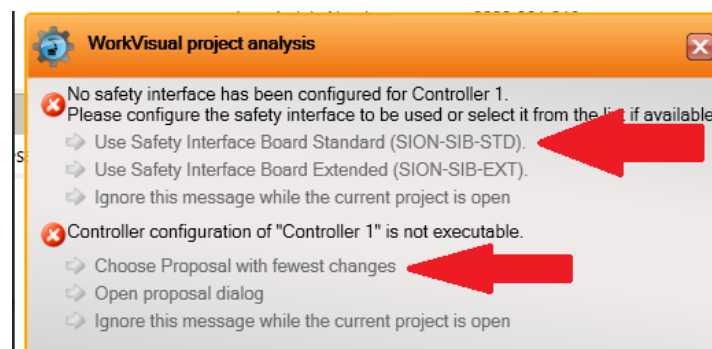
Pilt 24. Roboti kataloogi leidmine



Pilt 25. Roboti valimine

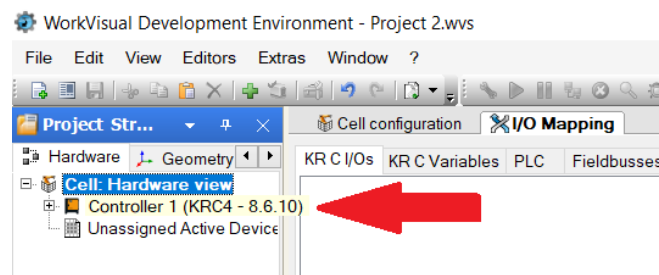
Valime selle ja tõmbame ekraani keskel oleva kontrolleri kasti peale.

Seejärel küsib programm (Pilt 26), millist ohutuseprotokolli kasutada ja millist konfiguratsiooni kasutada selles programmis. Valime mõlemast esimese.



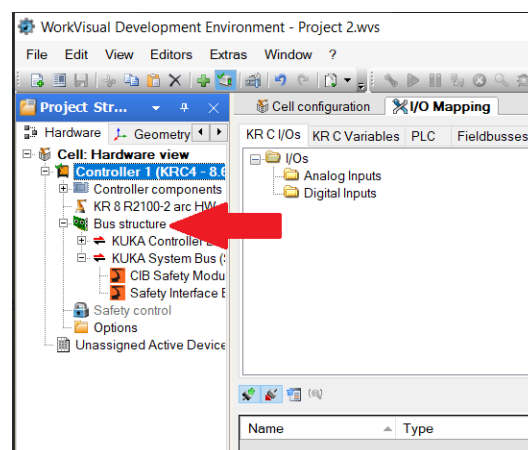
Pilt 26. Ohutusprotokoll ja konfiguratsioon

Järgmisena tuleb kontrolleri aktiveerida, selleks tuleb vasakul üleval kontrolleri peale kaks korda vajutada (Pilt 27).

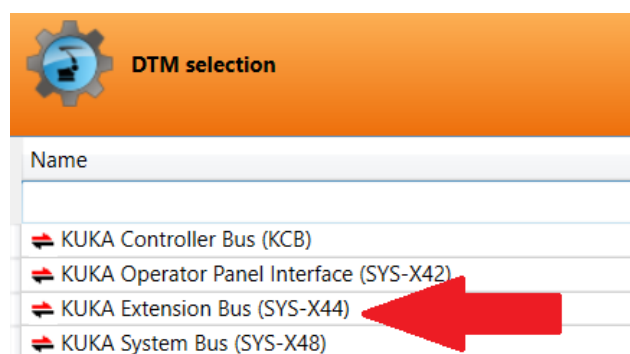


Pilt27. Kontrolleri aktiveerimine

Seejärel aktiveerub kontrolleri ja tuleb lisada vajalikud failid. Selleks paremkülgsame „Bus structure“ (Pilt 28) peale ja vajutame add, siis avaneb „DTM selection“, kust tuleb valida „KUKA Extension Bus (SYS – X44)“ (Pilt 29).

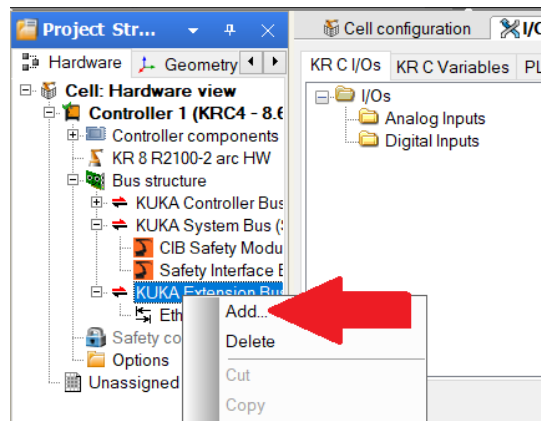


Pilt 28. Failide leidmine



Pilt 29. Faili lisamine

Järgmisena tuleb lisada Beckhoff terminalid (Pilt 30).



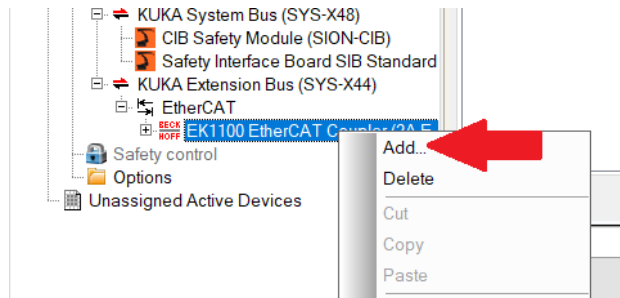
Pilt 30. Beckhoff terminalide leidmine

Seejärel otsida üles EK1100 ja valida versioon V0.16 (Pilt 31).

ek				
BECKHOFF	EK1100 EtherCAT Coupler (05A E-Bus)	Beckhoff Automation GmbH & C EtherCAT	Gateway DTM	V0.0
BECKHOFF	EK1100 EtherCAT Coupler (2A E-Bus)	Beckhoff Automation GmbH & C EtherCAT	Gateway DTM	V0.1
BECKHOFF	EK1100 EtherCAT Coupler (2A E-Bus)	Beckhoff Automation GmbH & C EtherCAT	Gateway DTM	V0.16
BECKHOFF	EK1100 EtherCAT Coupler (2A E-Bus)	Beckhoff Automation GmbH & C EtherCAT	Gateway DTM	V0.17
BECKHOFF	EK1100 EtherCAT Coupler (2A E-Bus)	Beckhoff Automation GmbH & C EtherCAT	Gateway DTM	V0.18

Pilt 31. Beckhoffi failid

Pärast seda selle alt lisada järgmised terminalid: EL1809 V0.18 ja EL2809 V0.18 (Pilt 32) (Pilt 33).



Pilt 32. Beckhoffi terminalide EL1809 ja EL2809 leidmine

DTM selection				
Name	Vendor	Protocol	Type	Version
el1809	x	p	p	p
BECKHOFF EL1809 16Ch Dig Input 24V, 3ms	Beckhoff Automation GmbH & C	EtherCAT	Device DTM	V0.16
BECKHOFF EL1809 16Ch Dig Input 24V, 3ms	Beckhoff Automation GmbH & C	EtherCAT	Device DTM	V0.17
BECKHOFF EL1809 16Ch Dig Input 24V, 3ms	Beckhoff Automation GmbH & C	EtherCAT	Device DTM	V0.18

DTM selection				
Name	Vendor	Protocol	Type	Version
el2809	x	p	p	p
BECKHOFF EL2809 16Ch Dig Output 24V, 0.5A	Beckhoff Automation GmbH & C	EtherCAT	Device DTM	V0.16
BECKHOFF EL2809 16Ch Dig Output 24V, 0.5A	Beckhoff Automation GmbH & C	EtherCAT	Device DTM	V0.17
BECKHOFF EL2809 16Ch Dig Output 24V, 0.5A	Beckhoff Automation GmbH & C	EtherCAT	Device DTM	V0.18
BECKHOFF EL2809-0015 16Ch Dig Output 24V DC, 0.35A, not short-circuit proof	Beckhoff Automation GmbH & C	EtherCAT	Device DTM	V15.16

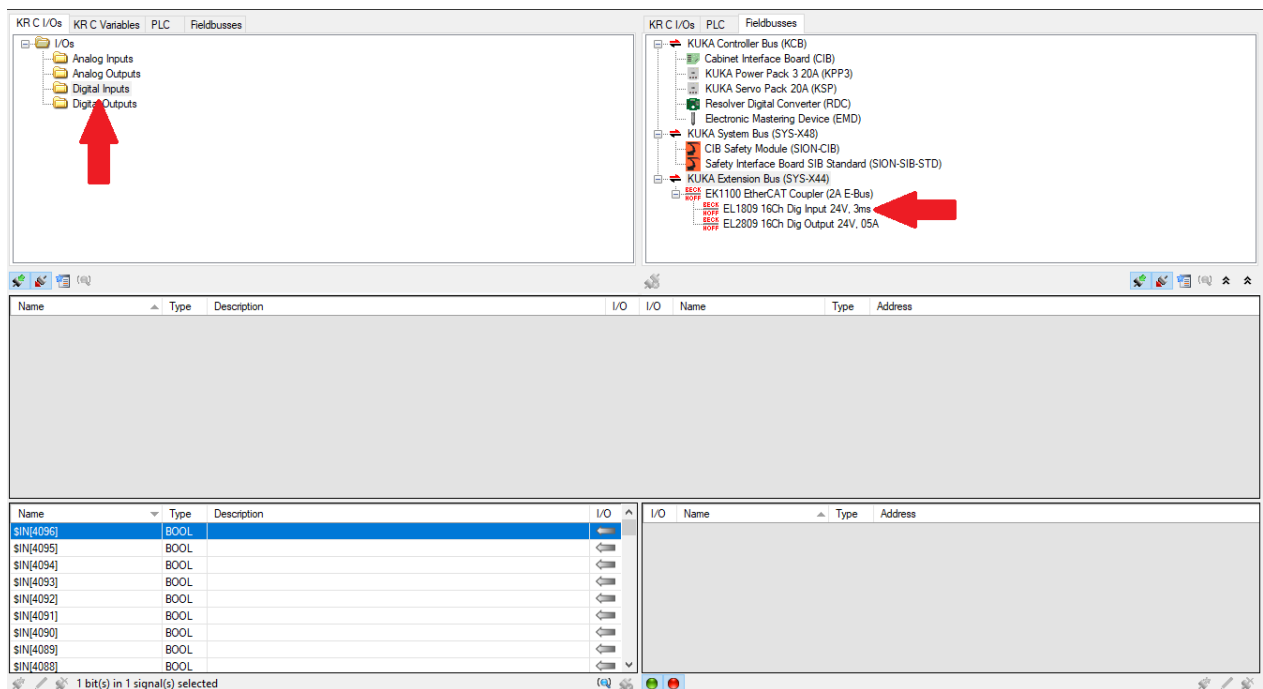
Pilt 33. Beckhoffi failid EL1809 V0.18 ja EL2809 V0.18

Seejärel saab alustada I/O portide seadistamist. Selleks on vaja valida vasakult KR C I/Os ja paremalt „*Fieldbusses*“ (Pilt 34).



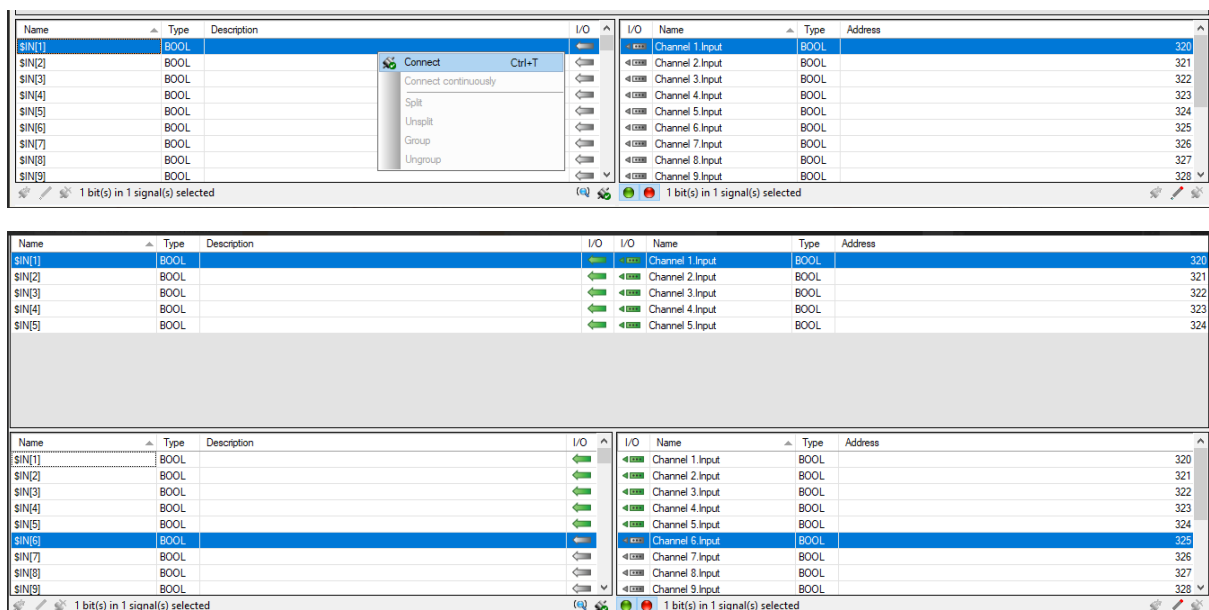
Pilt 34. I/Ode leidmine

Vasakult valida „*Digital Inputs*“ ja paremalt EL1809 16Ch „*Dig Input*“ 24V, 3ms (Pilt 35).



Pilt 35. Sisendite valimine

Seejärel ühendame esimese vasakpoolse ja esimese parempoolse ja teeme seda kuni on ühendatud esimene kuni viies (Pilt 36).



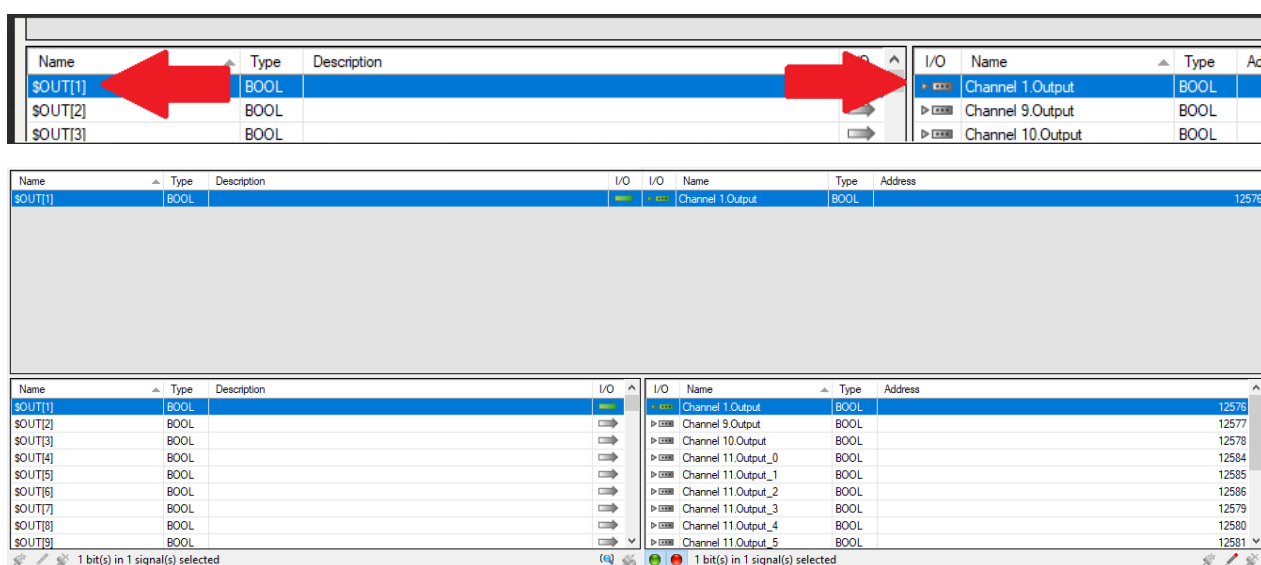
Pilt 36. Sisendite ühendamine

Järgmisena vasakult valida „Digital Outputs“ ja paremalt EL2809 16Ch „Dig Output“ 24V, 05A (Pilt 37).



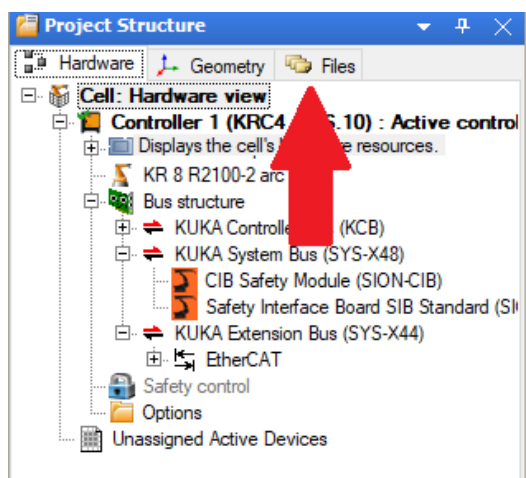
Pilt 37. Väljundite valimine

Siin ühendada ainult esimene vasakpoolne ja esimene parempoolne (Pilt 38).



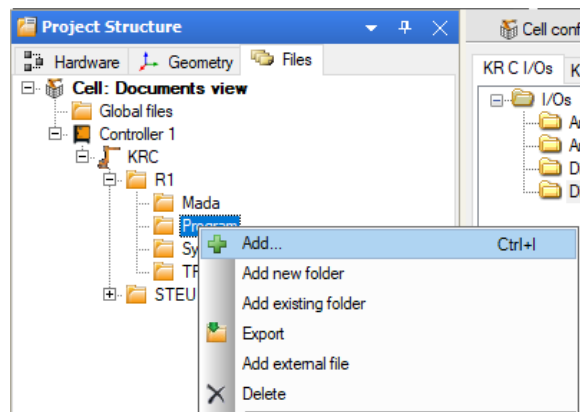
Pilt 38. Väljundite ühendamine

Nüüd saab kirjutada programmi, mis hakkab juhtima robotit. Selleks tuleb minna vasakul ülesse ja vajutada *Files* nuppule (Pilt 39).



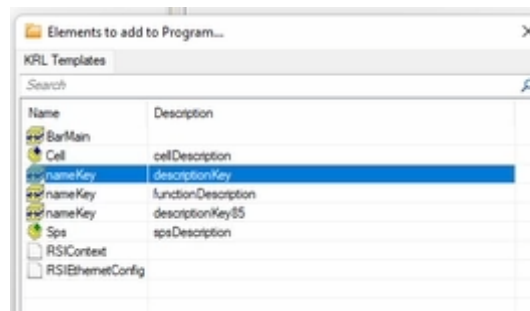
Pilt 119. *Files* nupu asukoht

Seejärel minna Controller 1 > KRC > R1 > Program (Pilt 40) ja paremklõpsu järel vajutada *Add....*



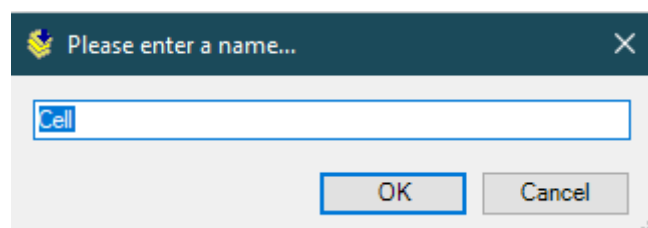
Pilt 40. Programmi lisamine

Seejärel valida *Namekey* (Pilt 41).

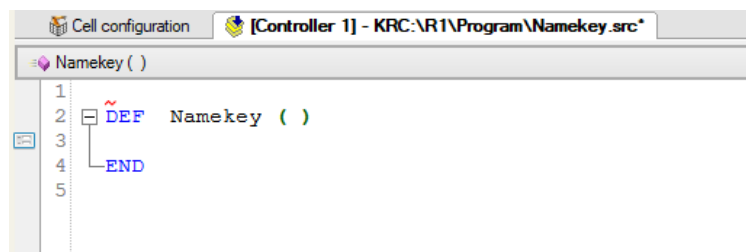


Pilt 41. Valik, kus tuleb valida „Namekey“

Siis avaneb aken, kus saab anda programmile nime (Pilt 42).

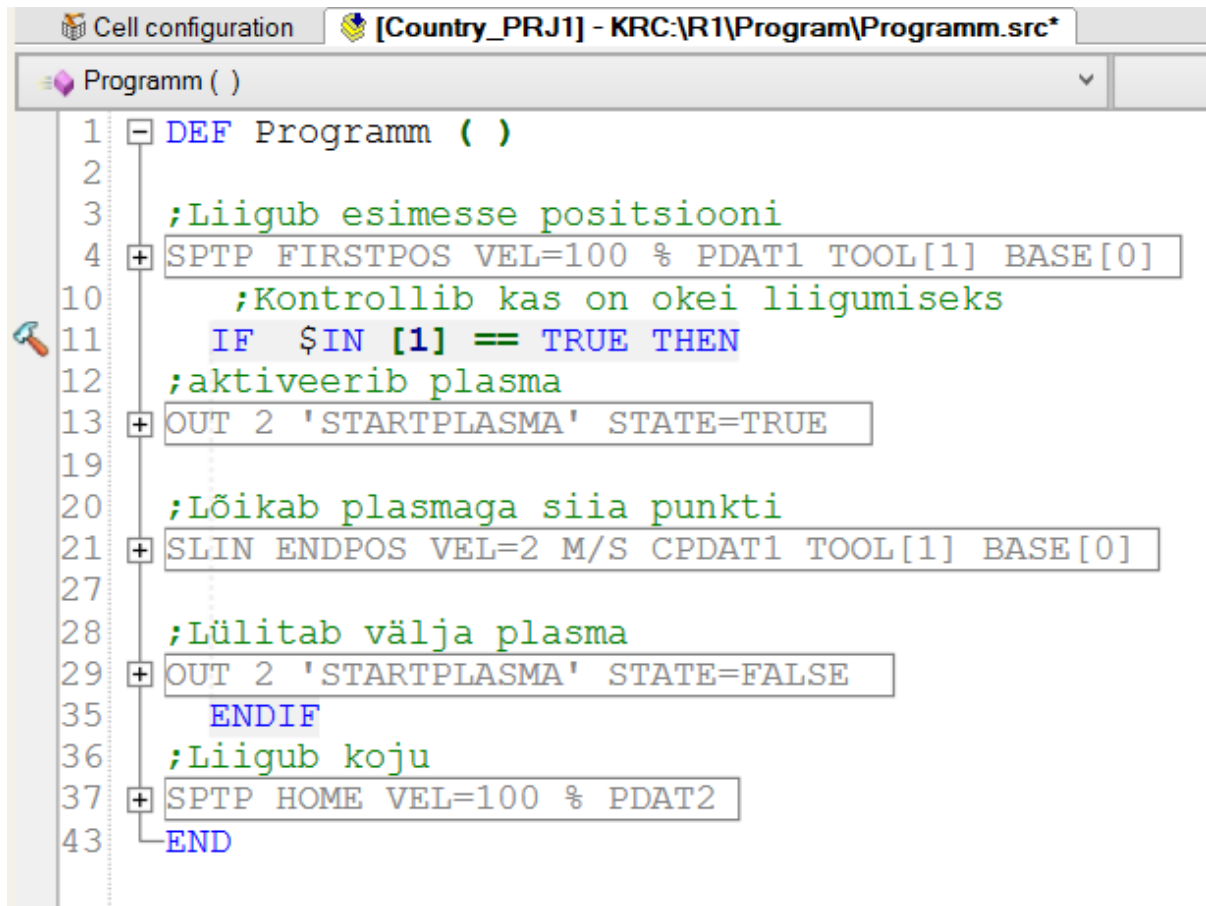


Pilt 42. Programmi nimetus



Pilt 43. Koodi kirjutamis koht

Siia (Pilt 43) saab lisada koodi, mis juhib robotit. Järgnev pilt (Pilt 44) on koodist, mis paneb roboti liikuma oma esimesse positsiooni, aktiveerib plasma, lõikab kuni jõuab teise punkti, lülitab plasma välja ja läheb algpunkti tagasi.



```
1 DEF Programm ( )
2
3 ;Liigub esimesse positsiooni
4 SPTP FIRSTPOS VEL=100 % PDAT1 TOOL[1] BASE[0]
10 ;Kontrollib kas on okei liigumiseks
11 IF $IN [1] == TRUE THEN
12 ;aktiveerib plasma
13 OUT 2 'STARTPLASMA' STATE=TRUE
19
20 ;Lõikab plasmaga siia punkti
21 SLIN ENDPOS VEL=2 M/S CPDAT1 TOOL[1] BASE[0]
27
28 ;Lülitab välja plasma
29 OUT 2 'STARTPLASMA' STATE=FALSE
35 ENDIF
36 ;Liigub koju
37 SPTP HOME VEL=100 % PDAT2
43 END
```

Pilt 44.Näide koodist

KOKKUVÕTE

Selles lõputöös uuriti, kas plasmalõikust on varem integreeritud robotkäele ja kui edukas see on olnud. Leiti, et seda on tehtud paljudel kordadel väga edukalt. Samuti uuriti, kas ja kuidas mujal maailmas on käsitletud analoogseid lahendusi ning on esile tõstetud Arc Specialities, Prodevco, Beamcut systems, Voortman, Microstep, Harsle ja Knoppo poolt välja töötatud lahendused.

Eelised käsitsi plasmalõikuse või saega lõikamise ees on suurem kiirus, ohutus, täpsus ja kasumlikkus. Suurem kiirus tuleneb sellest, et plasmalõikus on tõhusam kui praegu kasutusel olev saagimisel põhinev tööprotsess. Kõrgema ohutuse ni jõuti sellega, et inimene võetakse ohtlikust tööalast ära. Suurem täpsus saavutatakse roboti parema võimega korrata sama lõiget mitu korda. Suurenenud kasumlikkus saadakse sellest, et robot ei vaja pause ega vaja tihedat hooldust.

Töö teises osas pakutakse välja üks lahendus, kuidas saab autori valitud Thermal Dynamics plasmalõikurit ja KUKA-robotit ühendada. Töö koostaja toob välja ja selgitab ka põhjuseid, miks just kindla roboti ja laserlõikuri valikud tehti ning mis on nende tugevad küljed. Autor näitab ja seletab lahti ka sammud, mis on vajalikud, et antud lahendus toimiks ja oleks hästi integreeritud. Samuti tagab see ka lõikuri ja roboti vahelise korrektse suhtluse toimimise.

Lõpetuseks lisas autor töö lõppu koodinäite, mis kontrollib antud KUKA robotit ja Thermal Dynamics plasmalõikurit.

SUMMARY

This thesis investigated whether plasma cutting has been previously integrated onto a robotic arm and how successful it has been. It was found to have been done many times with great success. It was also investigated whether and how similar solutions have been handled elsewhere in the world, and the solutions developed by Arc Specialties, Prodevco, Beamcut systems, Voortman, Microstep, Harsle and Knoppo have been highlighted.

The advantages over manual plasma cutting or saw cutting are greater speed, safety, accuracy and profitability. The higher speed is because plasma cutting is more efficient than the sawing-based work process currently in use. Higher safety was achieved by removing the person from the dangerous work area. Better accuracy is achieved by the robot's better ability to repeat the same cut multiple times. Greater profitability is obtained from the fact that the robot does not need breaks and does not require frequent maintenance.

In the second part of the paper, the author proposes a solution for connecting the Thermal Dynamics plasma cutter chosen by the author and the KUKA robot. The author also offers and explains the reasons why this certain robot and laser cutter were chosen and what their strengths are. The author also shows and explains the steps that are necessary for this solution to work and be well integrated. It also ensures correct communication between the cutter and the robot.

Finally, the author added a code example at the end of the paper, which controls the given KUKA robot and Thermal Dynamics plasma cutter.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] 13. märts 2023 [Online]. Available: <https://www.lumav.ee/tehtud-tood/alas-kuul>
- [2] Ruukki, „Ruukki Terastoodete laoprogramm“. Tallinn 2012, lk 27
- [3] 13. märts 2023 [Online]. Available: <https://www.arcspecialties.com/robotic-plasma-cutting>
- [4] 20. märts 2023 [Online]. Available: <https://www.roboticstomorrow.com/article/2021/01/robotic-plasma-cutting-in-a-3d-world/16164>
- [5] 20. märts 2023 [Online]. Available: <https://prodevcoind.com/products/pcr41/>
- [6] 20. märts 2023 [Online]. Available: <https://prodevcoind.com/products/pcr42/>
- [7] 21. märts 2023 [Online]. Available: <https://beamcut.com/wp-content/uploads/2019/03/Beamcut-EN-2018.pdf>
- [8] 21. märts 2023 [Online]. Available: <https://www.voortman.net/en/products/v807-robotic-profile-cutting-machine>
- [9] 21. märts 2023 [Online]. Available : <https://www.microstep.eu/news/robotic-arm-cnc-cutting/>
- [10] 21. märts 2023 [Online]. Available : <https://www.cncmetalcutter.com/h-beam-fabrication-line-automatic-h-beam-cutting-plasma-robot-machine-product/>