

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
REGIONŲ PLĖTROS INSTITUTAS

KLIDAS URBONAS

Išmaniosios gamybos inžinerijos studijų programos studentas

**VDA 4500 TIPO KONTEINERIŲ PALETAVIMO PROCESO  
MODERNIZAVIMO EFEKTYVUMO TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

Vadovas

doc. dr. S. Rimovskis

ŠIAULIAI, 2020

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
REGIONŲ PLĖTROS INSTITUTAS

**TVIRTINU**

Inžinerinių studijų programų komiteto  
pirmininkas

dr. Dainius Balbonas

2020 06

**VDA 4500 TIPO KONTEINERIŲ PALETAVIMO PROCESO  
MODERNIZAVIMO EFEKTYVUMO TYRIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

**Vadovas**

doc. dr. S. Rimovskis

2020-06

**Recenzentas**

ŠU

Regionų plėtros instituto

lekt. dr. D. Balbonas

2020-06

**Atliko**

RM-18 gr. stud.

K. Urbonas

2020-06

ŠIAULIAI, 2020

Urbonas K. Analysis of VDA 4500 type container palletizing process modernization: Master's Work in Smart Manufacturing Engineering/ supervisor doc. dr. S. Rimovskis, Šiauliai University, Research Institute, 2019, 47 p.

### **SUMMARY**

The goal of all production companies is to increase income, reduce costs, obtain higher profits and ensure high quality of products. To achieve these results, companies are forced to improve and change. With the advent of the new industry revolution, Industry 4.0, companies are beginning to digitize intensively to stay in the market. One of the solutions is to improve or modernize existing processes. This master's thesis analyzes the modernization of the VDA 4500 type container palletizing process.

The analysis of the existing palletizing process has been performed, according to which the most suitable method of process modernization has been selected. Also, according to the type of container to be palletized, a prototype of a robot manipulator gripper was designed and its strength analysis was performed. The costs of the newly designed line have been calculated, and the payback period of the investment has been estimated. A virtual production line is presented, which is modeled with Delfoi Robotics Premium 4.1 program.

**Keywords:** modernization, palletizing, robotization, virtual production.

Urbonas K. VDA 4500 tipo konteinerių paletavimo proceso modernizavimo efektyvumo tyrimas: Išmaniosios gamybos inžinerijos magistro darbas/mokslinis vadovas doc. dr. S. Rimovskis, Šiaulių universitetas, Regionų plėtros institutas, 2020, 47 p.

## SANTRAUKA

Visų gamybos įmonių tikslas – didinti pajamas, mažinti išlaidas, gauti didesnę pelną bei užtikrinti aukštą gaminamos produkcijos kokybę. Norint pasiekti šiuos rezultatus, įmonės yra priverstos tobulėti ir keistis. Ateinant naujai pramonės revoliucijai „Pramonė 4.0“, įmonės pradeda intensyviai skaitmenizuotis, kad išliktų rinkoje. Vienas iš sprendimų – esamų procesų tobulinimas ar modernizavimas. Šiame magistro baigiamajame darbe analizuojamas VDA 4500 tipo konteinerio paletavimo proceso modernizavimas.

Atlikta esamo paletavimo proceso analizė, pagal tai parinktas tinkamiausias proceso modernizavimo būdas. Taip pat, pagal paletuojamą taros tipą, suprojektuotas roboto manipulatoriaus griebtuvo prototipas ir atlikta jo stiprumo analizė. Apskaičiuotos naujai projektuojamos linijos išlaidos, įvertintas investicijų atsipirkimo laikotarpis. Pateikta virtuali gamybos linija, kuri sumodeliuota su *Delfoi Robotics Premium 4.1* programa.

**Prasminiai žodžiai:** paletavimas, proceso modernizavimas, robotizavimas, virtuali gamyba.

## TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	6
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	7
ĮVADAS.....	8
1. PRAMONĖS 4.0 SVARBA.....	10
1.1. Pramonės 4.0 samprata.....	10
1.2. Pramonės 4.0 poveikis darbo rinkai.....	13
1.3. Paletavimo proceso modernizavimas.....	13
2. ROBOTIZUOTO PALETAVIMO PROCESO PROJEKTAVIMAS.....	17
2.1. Esančio paletavimo proceso analizė.....	17
2.2. Modernizuoto paletavimo proceso projektavimas ir analizė.....	21
2.3. Roboto parinkimas.....	21
2.4. Manipulatoriaus griebtuvo projektavimas.....	23
2.5. Griebtuvo svirčių spaudimo jėgos skaičiavimas.....	24
2.6. Griebtuvo grandžių stiprumo analizė.....	27
2.7. Suprojektuoto griebtuvo svorio įvertinimas.....	30
2.8. Vizualinis projektuojamos sistemos našumo patikrinimas.....	32
2.9. Robotizuotos sistemos kainos atsiperkamumo skaičiavimas.....	34
3. IŠVADOS.....	37
LITERATŪRA.....	38
PRIEDAI.....	40

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

2.1.1 lentelė. Darbdaviui tenkančios darbuotojų darbo išlaidos.....	20
2.3.1 lentelė. Paletavimo roboto FANUC M-410iC/140H charakteristikos.....	22
2.5.1 lentelė. Apskaičiuoti grandies parametrai.....	26
2.5.2 lentelė. Pneumatinio cilindro NXD32 charakteristikos .....	26
2.7.1 lentelė. Griebtuvo svorio įvertinimas.....	31

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1.1 pav. Pramonės industrijos vystymosi etapai.....	10
1.1.2 pav. „Pramonė 4.0“: Pokyčiai gamyboje.....	12
1.1.3 pav. Pokyčiai gamybos pramonėje. „Pramonės 4.0“ kontekstas.....	12
1.3.1 pav. Konvejerinė paletavimo sistema.....	14
1.3.2 pav. Robotinė paletavimo sistema.....	14
1.3.3 pav. Skirtingų tipų griebtuvų pavyzdžiai.....	15
2.1.1 pav. VDA 4500 tipo (600×400×300 mm) konteineris.....	17
2.1.2 pav. Paletavimo proceso darbo vietos vizualizacija (Delfoi Robotics Premium 4.1).....	18
2.1.3 pav. Rankinis-mechaninis griebtuvas.....	19
2.3.1 pav. Paletavimo robotas FANUC M-410iC/140H.....	22
2.4.1 pav. Paletavimo roboto griebtuvo prototipas.....	24
2.5.1 pav. Objekto laikymo griebtuvu eskizas iš priekio.....	24
2.5.2 pav. AIRTEC NXD pneumatinis cilindras.....	26
2.5.3 pav. Svirtelę veikiančių jėgų eskizas.....	27
2.6.1 pav. Svirties bandymo rezultatai (įtempiai).....	28
2.6.2 pav. Svirties bandymo rezultatai (poslinkiai).....	28
2.6.3 pav. Roboto judėjimo tam tikru pagreičiu parametrų eskizas.....	29
2.6.4 pav. Svirties bandymo rezultatai su pridėtine jėga (įtempiai).....	30
2.6.5 pav. Svirties bandymo rezultatai su pridėtine jėga (poslinkiai).....	30
2.7.1 pav. Griebtuvo komponentų numeracija.....	31
2.8.1 pav. Modernizuota paletavimo linija iš priekio (Delfoi Robotics Premium 4.1).....	33
2.8.2 pav. Modernizuota paletavimo linija iš viršaus (Delfoi Robotics Premium 4.1).....	33
2.9.1 pav. Išlaidos susijusios su robotizuota paletavimo linija (ROI Robot System Value Calculator skaičiuoklė).....	35
2.9.2 pav. Rezultatai (ROI Robot System Value Calculator skaičiuoklė).....	35
2.9.3 pav. Visos išlaidos ir sutaupymai (ROI Robot System Value Calculator skaičiuoklė).....	35
2.9.4 pav. Kreivė, parodanti atsiperkamumo laikotarpį.....	36

## IVADAS

Šiame magistro baigiamajame darbe atliekamas VDA 4500 tipo konteinerių paletavimo proceso modernizavimo efektyvumo tyrimas. Pagal šiuo metų įmonėje naudojamą taros tipą, projektuojamas roboto manipulatoriaus griebtuvo prototipas, atliekama jo komponentų stiprumo analizė ir modernizuotos sistemos vizualizavimas.

Sparčiai vykstant ketvirtajai pramonės revoliucijai, įvairiose srityse specializuojančiose įmonėse modernizuojami gamybiniai ir pagalbinių procesai. Tai verčia daryti didėjančios gamybos apimtys, gaminiams keliami didesni kokybiniai reikalavimai ir kt. Taip pat būtina atsižvelgti ir į tai, kad vis dar plačiai naudojamas žmogaus fizinis darbas, ypač tokiose monotoniškose ir daug fizinės jėgos reikalaujančiose operacijose kaip paletavimas.

Darbe nagrinėjama VDA 4500 tipo konteinerių paletavimo operacija ir galimybė ją automatizuoti, naudojant šiuolaikines robotizuotas sistemas. Darbo tikslui įvykdyti svarbu išanalizuoti esamą paletavimo proceso situaciją ir jos automatizavimo galimybes, įvertinant tai, koks paletavimo procesas (robotizuotas ar konvejerinis) yra tinkamiausias. Darbe aprašomas atliktas virtualus modernizuotos vietos kūrimas su Delfoi Robotics Premium 4.1 programine įranga.

### **Tyrimo objektas.**

VDA 4500 tipo konteinerių paletavimo procesas.

### **Tyrimo tikslas.**

Apžvelgti paletavimo sistemų tipus, išanalizuoti galimybes modernizuoti paletavimo procesą ir suprojektuoti modernią VDA 4500 tipo konteinerių paletavimo sistemą.

### **Tyrimo uždaviniai.**

1. Apžvelgti pramonės 4.0 poveikį gamybiniams procesams ir darbo rinkai.
2. Išnagrinėti esamą paletavimo procesą įmonėje ir parinkti tinkamą automatizuotą sistemos variantą.
3. Suprojektuoti paletavimo roboto griebtuvo prototipą *Solidworks 2017* programa ir paskaičiuoti optimalų griebtuvo komponentų stiprį.
4. Apskaičiuoti galimą finansinę modernizuotos sistemos naudą pasirinktu laikotarpiu.
5. Sudaryti tiriamo proceso modernizavimo vizualizaciją su *Delfoi Robotics Premium 4.1* ir parašyti paletavimo roboto darbo programą modernizuojamam procesui.



### **Teorinė darbo reikšmė.**

Magistro baigiamajame darbe naudojamos 3D modeliavimo programos Solidworks bei Delfoi Robotics Premium 4.1. Apžvelgiamas VDA 4500 tipo konteinerių paletavimo procesas, sudaroma nauja robotizuota paletavimo linija.

### **Praktinė darbo reikšmė.**

Darbe pateiktas modernizacijos būdas leidžia priimti sprendimą modifikuojant VDA 4500 tipo konteinerių paletavimo proceso gamybos linija. Rezultatai aktualūs, nes suprojektuojamas realus griebtuvo prototipas, apskaičiuojamas parinktų pneumatinių pavaru tinkamumas bei atliekama pavojingiausiai apkrautų elementų stiprumo analizė. Taip pat pateikiami realūs kaštai, investicijos atsiperkamumas ir sistemos vizualizavimas, todėl įmonės, kurios naudoja šio tipo tarą, galės pasinaudoti tyrimo rezultatais.

# 1. PRAMONĖS 4.0 SVARBA

## 1.1 Pramonės 4.0 samprata

Šio amžiaus antrajame dešimtmetyje pasaulis peržengė ketvirtosios pramonės revoliucijos slenkstį [16], bet pati pramonės industrija jau vystosi keletą amžių (žr. 1.1.1 pav.). Tam, kad geriau suprasti šios pramonės revoliucijos esmę, būtina apžvelgti prieš tai buvusias [2].

Pirmoji pramonės revoliucija prasidėjo dar 1784 m.[1], kai buvo pradėti tiesti geležinkeliai, pirmą kartą pramoninėje gamyboje panaudotos mechaninės staklės, varomos tuo metu naujos garo variklių technologijos. Antroji pramonės revoliucija pribaigė XX a. pradžioje, o jos priežastimi buvo elektros energijos atradimas ir panaudojimas bei konvejerinės, masinės gamybos technologijos sukūrimas. Besibaigiant septintajam XX a. dešimtmečiui įvyko pokytis, kuris vadinamas trečiaja pramonės revoliucija. Šis pokytis buvo paremtas informacinių technologijų ir pirmųjų kompiuterių atsiradimu, kurie įgalino gamybos procesų automatizavimą [16]. Įpusėjus antrajam XXI a. dešimtmečiui besivystančių informacinių technologijų dėka pasaulis žengė į ketvirtąją pramonės revoliuciją, kurią įgalina tokios technologinės galimybės, kaip automatizacija, robotika, kiberfizinės sistemos (CPS) daiktų internetas (IoT), dirbtinis intelektas (AI), debesų kompiuterija (angl. *clouds computing*) ir kt.[1].



1.1.1 pav. Pramonės industrijos vystymosi etapai [8]

„Pramonė 4.0“ nuo prieš tai buvusių pramonės revoliucijų skiriasi tuo, kad besivystančios technologijos ir plataus masto inovacijos sklinda daug greičiau ir plačiau nei ankstesnėse revoliucijose [5]. Nors šiuo metu jau esame įžengę į ketvirtosios pramonės revoliucijos erą, tačiau skirtingi regionai vystosi skirtingu tempu. Antrosios industrinės revoliucijos dar nėra patyrę 17 proc. pasaulio, t. y. 1,3 mlrd. žmonijos populiacijos neturi priėjimo prie elektros energijos, o kalbant apie trečiąją industrinę revoliuciją, jos dar nėra patyrę daugiau nei pusė, t. y., 4 mlrd. žmonių. Ši žmonijos dalis neturi priėjimo prie interneto nepaisant to, kad dauguma jų gyvena

išsivysčiusiose šalyse. Akivaizdu, kad technologinės galimybės tiesiogiai prisideda prie veiklos optimizavimo ir atveria galimybes su mažiau padaryti daugiau bei greičiau [5].

Pastaraisiais dešimtmečiais vis daugiau kasdien vykstančių procesų tapo skaitmenizuotais, o vis daugiau priemonių naudojamų kasdieninėje įvairių sričių veikloje tapo kompiuterizuotomis. Šiais laikais būtų sunku surasti sėkmingą verslą, kuris nenaudotų skaitmeninių technologijų ir nebūtų matomas internete, o apie trečdalį pasaulio gamybinių įmonių jau yra aukšto skaitmenizacijos lygio, tačiau prognozuojama, kad tokių gamybinių įmonių skaičius pasauliniu mastu turėtų padidėti net iki 72 proc. per ateinančius penkerius metus [8].

„Pramonė 4.0“ galėtų būti apibūdinama, kaip „reikšminga gamybos industrijos transformacija, sujungiant skaitmenines ir internetines technologijas įprastinėje gamyboje“ [8]. Akivaizdu, kad atėjo laikai kai ne tik žmogaus valdomas kompiuteris gali būti prijungtas prie tinklo, tačiau taip pat ir kiti įvairios paskirties skaitmeniniai prietaisai, kuriems nėra būtinas tiesioginis žmogaus įsikišimas, nes valdymas gali būti patikimas dirbtiniam intelektui. Pramonė 4.0“ yra sudėtingų procesų valdymo sistema, naudojanti tarpusavyje sujungtus intelektualius prietaisus. Šiai sistemai būdinga aukšta skaičiuojamoji galia, didieji duomenys (angl. *big data*) bei platus tinklinis ryšys, o visi šie aspektai leidžia peržengti iki šiol buvusias uždarų industrinių tinklų ribas [10].

Šiomis dienomis daugelis susiduriame su informacijos pertekliumi ir iš to kylančia problema filtruoti ir atskirti vertingą informaciją nuo mažiau svarbios. Tiek asmeniniame, tiek verslo kontekste tai yra itin svarbus aspektas, nes susiduriama su ribotais laiko ištekliais. Turbūt daugelis sutiktų, kad norint išlikti produktyviais, efektyviais ir konkurencingais reikalingas priėjimas prie aktualiausios informacijos priimant sprendimus kiekvienoje situacijoje. Vienas iš „Pramonę 4.0“ charakterizuojančių aspektų yra tas, kad duomenis stebintis dirbtinis intelektas sugeba filtruoti ir pateikti tik aktualiausią informaciją tolimesniam jos apdorojimui [10]. Visa „Pramonės 4.0“ esmė yra paremta duomenų išgavimo ir apdorojimo procesais. Galima būtų išskirti du pagrindinius aspektus įgalinančius „Pramonę 4.0“ sukelti gamybos pramonės revoliuciją, o tai yra kibernetinės sistemos (angl. *Cyber-Physical Systems*, CPS) ir daiktų internetas (angl. *Internet of Things*, IoT). Šie aspektai apima technologijas, kurios susijusios su pažangiais informacijos rinkimo, saugojimo, apdorojimo bei išmaniųjų prietaisų tarpusavio komunikavimo procesais [16].

Analizuodami literatūrą apie „Pramonę 4.0“ galime rasti sąlyginai naują terminą – „**Išmanioji gamykla** (angl. *Smart Factory*)“, kuriuo apibūdinamas neišvengiamas tiesioginis ryšys tarp žmonių, mašinų, gamybos linijos, sandėliavimo, logistikos ir kt. [16]. Tokios atsivėrusios galimybės veda į reikšmingus pokyčius, kurie iš esmės pakeis gamybos industrijos veikimo principus. „Pramonė 4.0“ veda nuo anksčiau vyravusių mažiau lanksčių, sąlyginai rankiniu būdu vykdomos gamybos procesų, prie dinamiškos, paslankesnės, automatizuotos

gamybos (žr. 1.1.2 pav.). Tai rodo, kad dėmesys nuo masinės gamybos pereina prie masinio prisitaikymo, kuris reikalauja lankstumo gamybos procesuose ir užtikrina trumpesnius pristatymo terminus [1].

	Tradicinė gamyba	Gamyba Pramonėje 4.0
 <b>PROCESAI</b>	Rankiniai, Nelankstūs	Automatizuoti, Lankstūs
 <b>PRODUKTAI</b>	Standartizuoti	Personalizuoti, Pritaikomi pagal poreikį
 <b>GAMYBOS MASTAI</b>	Didelės gamyklos, Centralizuota vieta	Mažos gamyklos, Decentralizuota vieta
 <b>TIEKIMO GRANDINĖ</b>	Atsargų planavimas pagal likutį	Dinamiška, Nuspėjama
 <b>SĖKMĖS METRIKA</b>	Žemi kaštai, Aukštas efektyvumas	Didelė investicinė grąža
 <b>RYŠYS SU KLIENTAIS</b>	Silpnas, Netiesioginis	Stiprus, Tiesioginis

1.1.2 pav. „Pramonė 4.0“: Pokyčiai gamyboje [1]

Kita „Pramonės 4.0“ tendencija, kurios dėka numatomas stiprus poveikis, visų pirma gamybinėms įmonėms – yra **3D spausdinimo technologija**. Šis 3D spausdinimo procesas susideda iš fizinio objekto sukūrimo spausdinant jį sluoksnis po sluoksnio, remiantis skaitmeniniu 3D piešiniu ar modeliu. Tai yra priešingas principas nei buvo naudojamas iki šiol, nes norint išgauti atitinkamas objekto formas buvo šalinamas sluoksnis po sluoksnio, kol objektas tapdavo reikiamos formos [5].

Ši industrinė revoliucija suteiks gamybos procesams aukštesnį automatizavimo ir tarpusavio sąveikos lygį tarp daugelio gamyboje egzistuojančių elementų, o dėl šios priežasties numatoma, kad daugelis priemonių ir technologijų ganėtinai skirsis nuo naudotų iki šių dienų (žr. 1.1.3 pav.) [1].



1.1.3 pav. Pokyčiai gamybos pramonėje. „Pramonės 4.0“ kontekstas[1]

„Pramonėje 4.0“ išmanieji įrenginiai patys koordinuos gamybos procesus, sumanūs robotai bendradarbiaus su darbuotojais prie surinkimo linijos, o pažangiosios transporto sistemos užtikrins sklandžią logistiką. Tuo tarpu visą reikiamą informaciją atitinkami darbuotojai galės matyti savo išmaniojo prietaiso ekrane ir priimti reikiamus sprendimus bei pakreipti procesus reikiama linkme keliais mygtuko paspaudimais savo išmaniajame prietaise neatsižvelgiant į buvimo vietą ar laiką [1].

## **1.2 Pramonės 4.0 poveikis darbo rinkai**

Neabejotina, kad „Pramonė 4.0“ daro didelį poveikį darbo rinkai. Numatoma, kad ateityje bus daug profesinės veiklos sričių, kurios taps nepaklausios arba išvis išnyks. Visų pirma – „Pramonės 4.0“ integracija turės stiprų poveikį fiziniams-rutininiams darbams. Daugelis dabar egzistuojančių darbų gamybos sektoriuje, tokių kaip gamybos mašinų aptarnavimas, kokybės kontrolė, detalių surinkimas ir kiti panašūs, monotoniški darbai bus atliekami robotų. Šiuos pokyčius skatins tai, kad kompiuterizuotų-robotizuotų operacijų įdiegimas darbo vietose turi keletą svarbių pranašumų:

- didelė skaičiavimo sparta ir tikslumas;
- mažos paklaidos;
- darbas be poilsio;
- nereikalingas apšvietimas;
- nebelieka galimybių darbuotojams patirti sveikatos traumų;

Išvardintos priežastys labai sumažina žmogaus galimybes konkuruoti su robotu tokio pobūdžio darbinėje veikloje [8].

## **1.3 Paletavimo proceso modernizavimas**

Paletavimas yra vienas iš procesų kuris vystėsi kartu su pramonės revoliucija. Su šiuo procesu susiduriama beveik visuose gamybos ar logistikos kompanijose. Pats procesas apima įvairių prekių dėjimą, rūšiavimą ant paletės ar kito pagrindo. Fizinis, žmonių jėga paremtas, paletavimas yra vienas iš procesų, kuris Pramonės 4.0 revoliucijoje priskiriamas prie fizinių - rutininių darbų, todėl dauguma įmonių paletavimą stengiamasi automatizuoti ar modernizuoti [13]. Gamybinės bei logistikos kompanijos dažniausiai naudojamos dvi pagrindinės automatizuotos paletavimo sistemos, tai konvejerinė sistema (žr. 1.3.1 pav.) ir robotinė sistema (žr. 1.3.2 pav.)



**1.3.1 pav.** Konvejerinė paletavimo sistema



**1.3.2 pav.** Robotinė paletavimo sistema

Kiekviena iš šių sistemų yra naudojamos skirtingais tikslais. Konvejerinės sistemos buvo pradėtos naudoti dar nuo 1950 metų, tačiau nuo 1990 metų, dėl kritusių kainų, jas pradėjo stumti robotinės sistemos. Tuo pačiu metu pramonės įmonės, norinčios supaprastinti operacijas ir sumažinti sąnaudas, pradėjo ieškoti sprendimo, kuris leistų nuo tos pačios gamybos linijos, tuo pačiu metu, paimti keletą skirtingo tipo, dydžio objektų ir vienintelis sprendimas buvo – robotizuotos linijos įdiegimas [20].

Paletavimo proceso modernizavimas įmonėse dažniausiai vykdomas dėl dviejų pagrindinių priežasčių:

- darbuotojų patiriamų traumų nugaros srityje;
- didesnio greičio keliant prekes, daiktus nuo vieno objekto ant kito poreikis [20].

Įprastos automatinės paletavimo sistemos yra labai greitos. Pagal atliekamų ciklų skaičių sistemos gali įvykdyti net 200 ciklų per minutę, todėl jos ir toliau yra diegiamos greitaeigėse gamybos linijose, kurios naudojamos maisto, gėrimų ir plataus vartojimo prekių pramonėje. Šios sistemos plačiai taikomos operacijose, kai reikalingas tik produktų nukėlimas nuo vienos gamybos

linijos, jos nėra pritaikytos dirbti su daugiau linijų vienu metu. Konvejerinės paletavimo sistemos naudojamos tik vieno tipo pakuotėms perkelti, tad, jeigu gamybos linija turi skirtingų tipų pakuotes, šios sistemos nėra priimtinos [21]. Konvejerinių sistemų kaina šiuo metu gali svyruoti nuo 15 iki 50 tūkst. eurų.

Robotizuotos paletavimo sistemos gali atlikti nuo 8 iki 60 ciklų per minutę, tai priklauso nuo roboto tipo, keliamos pakuotės svorio bei kt. technologinių sprendimų. Šios sistemos dažniausiai naudojamos, kai gamybos linijoje reikalingas lankstumas bei universalumas [21]. Pilnos sistemos kaina svyruoja nuo 25 iki 400 tūkst. eurų.

Robotinė paletavimo sistemos yra taikomos įvairiose gamybos srityse, tad priklausomai nuo keliamo objekto tipo, turi būti parenkami atitinkami darbo įrankiai, griebtuvai [22].

Griebtuvo paskirtis – paimti ir išlaikyti manipulatoriaus darbo aplinkoje pernešamą objektą. Transportuojami objektai gali būti įvairios formos, matmenų, masės, stiprumo todėl būtina parinkti tinkamą griebtuvą. Serijinėje gamyboje, kur nuolatos transportuojami tie patys objektai, naudojami specialūs tam pritaikyti griebtuvai, kurie gali būti bet kada pakeisti kitais, jei pernešamų objektų tipai pasikeistų. Griebtuvai gali būti mechaniniai, vakuuminiai, magnetiniai, hidrauliniai, pneumatiniai, priklausomai nuo to, kokia detalė bus transportuojama ir kokia pavara griebtuvui bus naudojama (žr. 1.3.3 pav.) [22]. Perkeliamas objektas gali būti sugriebtas laikant jį iš apačios, suspaudžiant iš šonų, apimant iš visų pusių, pritraukiant slėgiu ar elektromagnetu ir daugeliu kiltų būdų.



1.3.3 pav. Skirtingų tipų griebtuvų pavyzdžiai [22]

Labai dažnai naudojami universalūs, adaptyvūs griebtuvai, galintys sugriebti įvairių formų ir matmenų detales. Jie nėra labai tinkami kai kurioms specifinėms detalėms, pvz., didelių gabaritų stiklui ar metalo plokštėms, tačiau jie labai dažnai naudojami operacijose, kai sudaroma galimybė mechaniškai sugriebti ir pakelti objektą. Kai kuriems darbams atlikti, kai perkeliama objektai yra trapūs arba lankstūs, gali būti naudojami vakuuminiai arba magnetiniai griebtuvai. Naudojant šiuos griebtuvus ant perkeliama objekto paviršius pritraukiamas vakuumu arba elektromagnetais. Vakuuminiam griebtuvams reikia švaraus paviršiaus, pastovaus oro slėgio, specialaus tvirtinimo prie manipulatoriaus. Magnetiniai griebtuvai yra žymiai paprastesni už vakuuminis, taip pat yra saugesni ir lengviau valdomi, tačiau juos galima naudoti tik perkeliama feromagnetinius objektus. Kai manipulatoriai darbo metu perkeliama skirtingus objektus atlieka daugiau nei vieną skirtingą veiksmą, tada yra naudojami universalūs griebtuvai. Pastoviai kintant manipuluojamiems daiktams, atsiranda poreikis naudoti skirtingus sugriebimo tipus. Visi įrankiai, reikalingi objektui pakelti, negali būti pritvirtinti prie griebtuvo vienu metu, nes tai padidintų mechanizmo svorį ir mažintų darbo spartą. Siekiant to išvengti, yra naudojami keičiami įrankiai (gali būti naudojamas atitinkamas prietaisas automatiškai pakeičiantis įrankius [22]).

Kompanijos, kurios galvoja modernizuoti paletavimo procesą, turėtų išanalizuoti esamą situaciją ir priimti sprendimą, kuris modernizavimo sprendimas yra naudingesnis. Būtina atkreipti dėmesį į keletą pagrindinių aspektų [21]:

- kokio svorio pakuotės yra naudojamos ir kiek toks svorio kilnojimas yra žalingas žmonių sveikatai?
- koks pakuotės tipas? (dėžė, maišas, kibiras ar kt.)
- ar naudojamos tik vieno tipo pakuotės?
- kiek pakuočių pateikia viena gamybos linija per tam tikrą laiko intervalą?
- kiek pakuočių perneša žmogus per tam tikro laiko intervalą?
- ar yra naudojamos tik vieno tipo pakuotės?
- kiek žmonių dirba prie vienos paletavimo linijos?
- kiek gamybos linijų turi įmonė?
- ar yra modernizacijos kaštų limitas?

Išanalizavus gamybos principus ir atsakius į šiuos klausimus, kiekviena įmonė turėtų priimti sprendimą ar paletavimo proceso modernizavimas yra reikalingas, jeigu taip – kuris paletavimo sprendimas yra priimtinesnis.



## 2. ROBOTIZUOTO PALETAVIMO PROCESO PROJEKTAVIMAS

### 2.1 Esamo paletavimo proceso analizė

Paletavimo operacijos objektas – maisto produktų pakuočių transportavimo konteineris. Tiriamas paletavimo procesas vykdomas įmonėje, kurioje įdiegta konvejerinė gamyba. Beveik visos įmonėje esančios gamybos linijos yra automatizuotos, tad pagaminta produkcija gamybos ceche, be žmonių įsikišimo, yra dedama į Europos sąjungos standartizuotus plastmasinius konteinerius, kurių matmenys yra 600×400×300 mm (žr. 2.1.1 pav.). Šie konteineriai atitinka VDA 4500 standartą, kurį pradžioje apibrėžė Vokietijos automobilių pramonės asociacija (VDA), tačiau vėliau jis buvo pritaikytas daugelyje kitų gamybos ir laivybos pramonės sričių. Gamybos ceche į konteinerius sudėta produkcija konvejerine linija keliauja į kitą cechą, kuriame vykdomas paletavimo procesas.



2.1.1 pav. VDA 4500 tipo (600×400×300 mm) konteineris

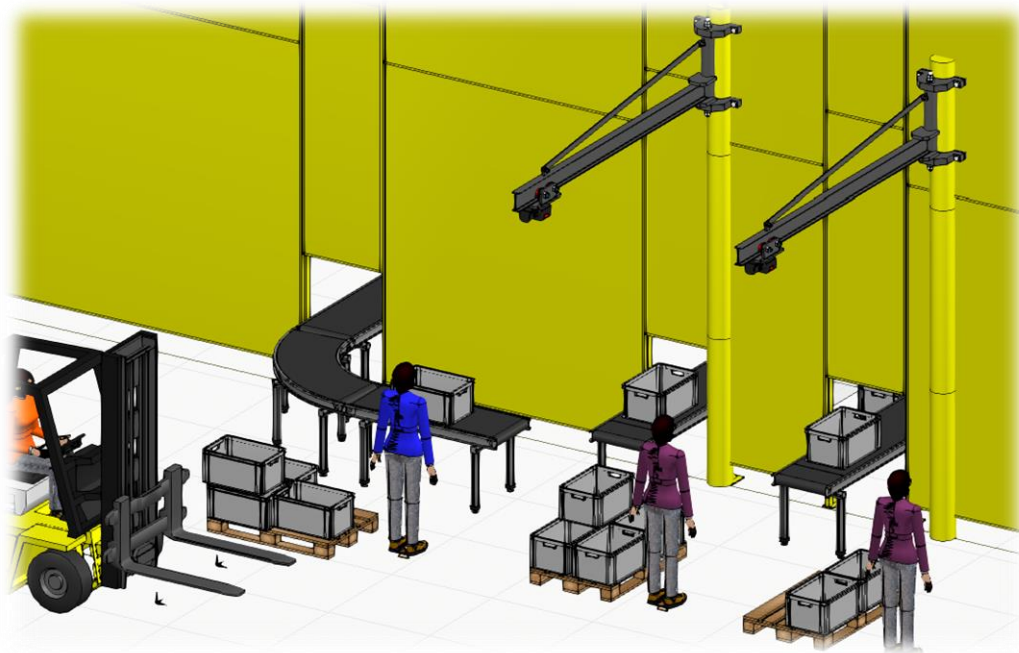
Įmonėje vienas iš nedaugelio neautomatizuotų procesų yra paletavimas, kurio metu pagaminta ir konteineriuose sudėta produkcija sukraunama ant palečių tolimesniam apdirbimui arba išvežimui užsakovams. Šiuo metu šis procesas atliekamas žmonių. Pagrindinės dėl to kylančios problemos:

- darbo monotoniškumas;
- darbo sunkumas (dėl ko darbuotojai daugiau serga);
- didelė darbuotojų kaita;
- sunku surasti šiam darbui tinkamus darbuotojus;
- pasitaikančios klaidos;
- kt.

Kitas svarbus aspektas – augantis darbo užmokestis.

Nagrinėjamame procese prie paletavimo linijos dirba trys darbuotojai. Du nukrauna 25 kilogramų konteinerius su produkcija nuo dviejų konvejerių, o trečiasis grąžintus tuščius konteinerius deda ant grįžtamojo konvejerio.

2.1.2 paveiksle pateikta įmonėje esama paletavimo proceso darbo vietos vizualizacija.



**2.1.2 pav.** Paletavimo proceso darbo vietos vizualizacija (*Delfoi Robotics Premium 4.1*).

Europos saugos ir sveikatos darbe agentūros duomenimis, viena iš dažniausiai darbuotojų patiriamų traumų yra nugaros traumos [5], todėl įmonėje šalia konvejerių yra sumontuotos dvi 600 kilogramų keliamosios galios elektrines krovinių kėlimo gerves, prie kurių yra tvirtinami rankiniai-mechaniniai griebtuvai (žr. 2.1.3 pav.). Mechanizmas sumažina darbuotojų patiriamą fizinį krūvį.

Per vienos pamainos 8 valandų darbo laiką du darbuotojai naudodami elektrines gerves geba pakrauti iki 450 konteinerių, t. y. 225 konteinerių nuo vieno konvejerio. Tačiau užsibrėžtas tikslas visiškai automatizuotos paletavimo sistemos našumą padidinti iki 700 konteinerių per 8 valandų pamainą, naudojant dvi linijas. Plečiant ar didinant savo gamybos pajėgumus, paletavimo operacijos spartinimas yra pakankamai svarbus veiksnys – kuo daugiau produktų yra paruošta išvežimui, tuo didėja įmonės ekonominis pelningumas. Akivaizdu, kad naudojant senus darbo metodus, šio tikslo pasiekti neįmanoma, o didinti darbuotojų skaičių nėra tikslinga.



**2.1.3 pav.** Rankinis-mechaninis griebtuvas

Didindama gamybos spartą, įmonė turi ieškoti sprendimų, kaip pagreitinti patį paletavimo procesą, siekiant sukrauti daugiau konteinerių su produktais ant paletės. Vienas iš sprendimų – trečiosios elektrinės gervės statymas šalia jau dviejų esančių, tačiau dviejų konvejerių aptarnavimas trimis elektrinėmis gervėmis nėra racionalus, nes dabartinis paletavimo linijos darbo plotas yra ribotas ir fiziškai nebūtų kur statyti kitos gervės. Kitas variantas – lengvinti produktų kiekį konteineriuose, kad jis būtų priimtinas kelti rankomis ir atlikti paletavimo darbus tik žmonių fizine jėga. Tačiau tuomet būtų reikalingas ir pačios gamybos linijos modernizavimas, kad būtų pakrautas toks pat produktų kiekis kaip anksčiau. Be to, šis sprendimas nebūtų logiškas, nes tai neišlaisvintų darbuotojų nuo monotoniško darbo ir pats procesas liktų visiškai nemechanizuotas ar automatizuotas.

Vienintelis logiškas bei perspektyvus pasirinkimas – proceso automatizavimas, kuris gali suteikti įmonei didesnę ekonominę naudą. Tam reikės didelių investicijų, tačiau taip bus galima pakeisti žmonių darbą robotizuota paletavimo linija, kurioje robotas ne tik nukraus nuo konvejerių konteinerius su produktais, bet ir tuščius užkraus ant grįžtamosios konvejerinės linijos. Taip būtų sutaupyta daugiau dabar įmonei tenkančių išlaidų. Norint atnaujinti bent vieną gamybos procesą, reikia įvertinti išlaidas ir numatyti šios investicijos atsiperkamumą, pelningumą.

Įmonės, norinčios automatizuoti paletavimo operaciją, pirmiausia turėtų įvertinti modernizavimo kaštus. Paletavimo operacijos metu du darbuotojai (dirbdami prie nukrovimo linijų) uždirba vidutinį darbo užmokesį [15], o trečias darbuotojas (kuris krauna gražintus konteinerius ant grįžtamosios linijos) gauna 80 % šio užmokesčio. 2.1.1 lentelėje pateikiamos išlaidos, kurias darbdavys patiria vienam darbuotojui dirbant prie skirtingų linijų.

## Darbdaviui tenkančios darbuotojų darbo išlaidos

	Nukrovimo darbuotojo išlaidos	Užkrovimo darbuotojo išlaidos
Pajamų mokestis (GPM) 20 %	151.31	95.08
Sveikatos draudimas (PSD) 6,98 %	72.17	55.40
Pensijų ir soc. draudimas 12,52 %	129.45	99.37
„Sodros“ įmoka (VSD) 1,77 %	18.30	14.05
II-os pakopos pensijai	31.02	23.81
Darbuotojui išmokamas atlyginimas	650	520
Bendros darbdavio išlaidos	1033.95	793.66

Vienos pamainos keturių darbuotojų išlaikymas per mėnesį įmonei kainuoja 2661 Eur. Dirbant dviem pamainomis bendras darbo užmokestis įmonei būna 5723 Eur.

Kitos įmonės patiriamos išlaidos yra rankinių-mechaninių keltuvų ir elektrinių gervių eksploatacinės išlaidos. Šalia dviejų gamybos linijų įmonė turi sumontuotas dvi 600 kilogramų keliamosios galios elektrines krovinių kėlimo gerves, prie kurių yra tvirtinami rankiniai-mechaniniai griebtuvai. Pagal Lietuvos Respublikos techninės priežiūros tarnybos ir darbo saugos reikalavimus, techninė neregistruojamų keltuvų, manipuliatorių priežiūra ir patikra yra privaloma. Minėtų įrengimų patikrą ir priežiūrą gali atlikti:

- NKĮ (neregistruojamas kėlimo įrengimas) spec. meistro pažymėjimą turintis asmuo;
- aptarnaujančios įmonės (tiekėjo) atestuoti meistrai.

Kadangi įmonė šiuo metu neturi NKĮ spec. meistro pažymėjimo turinčio asmens, nes orientuojasi tik į pagrindinę gamybos veiklą, tai tenka kreiptis į kitas kėlimo mechanizmus aptarnaujančias įmones ir papildomai už dviejų kėlimo gervių kasmetinę patikrą sumokėti 250 Eur, tačiau kas trejus metus būtinas išsamus kėlimo mechanizmų patikrinimas, kainuojantis apie 500 Eur. Taip pat šie mechanizmai genda ir jiems reikalingos papildomos atsarginės dalys, kurios dar papildomai kainuoja apie 1000 Eur per metus.

Tai pat būtina įvertinti elektrinių gervių elektros sąnaudas įmonėje. Gervių galia yra 0,6 kW, jomis dirbama apie 120 valandų per mėnesį dviem pamainomis. Mėnesinės dviejų elektrinių gervių elektros sąnaudos yra 288 kWh. Tai bendros elektros išlaidos mėnesiui apie 40 Eur.

Apskaičiavę visas išlaidas susijusias su paletavimo procesu, apskaičiuojame, kad bendro šio proceso išlaikymo išlaidos per metus siekia 70 tūkst. eurų.

Atsižvelgdama į patiriamas išlaidas dėl rankinio paletavimo proceso vykdymo ir siekdama jį modernizuoti, įmonė turi priimti sprendimą, kuri iš paletavimo sistemų (konvejerinė ar robotizuota) yra naudingesnė.

Kadangi įmonėje naudojami du produktų nukrovimo konvejeriai ir papildomai norima atsisakyti trečio proceso – tuščių dėžių užkrovimo ant grįžtamosios linijos, tai priimtinesnis variantas būtų robotizuota sistema. Taip pat naudojant konvejerinę paletavimo sistemą tūrėtumėme ją modifikuoti ir pritaikyti plastmasinių konteinerių perkėlimui ant paletės, o tai išaugintų papildomus modernizacijos kaštus. Todėl tolesnis tyrimas apims robotizuotos paletavimo sistemos ir jos sudedamųjų dalių parinkimo ir projektavimo klausimus, bei modernizacijos efektyvumo įvertinimą.

## **2.2 Modernizuoto paletavimo proceso projektavimas ir analizė**

Automatizuojant bet kokį procesą, visada stengiamasi sumažinti kitas įmonei tenkančias išlaidas susijusias su šiuo procesu. Diegiant robotizuotą paletavimo liniją, bus visiškai eliminuotas sunkus fizinis darbuotojų darbas (robotas pakeis du darbuotojus dirbančius prie nukrovimo linijų ir vieną darbuotoją, dirbantį prie dėžių gražinimo linijos), be to, taupant darbo vietos plotą, bus eliminuoti prieš modernizaciją naudoti elektriniai krovimo įrenginiai, kurie taip pat reikalauja nemažai papildomų aptarnavimo išlaidų. Pagrindinės robotizuotos sistemos funkcijos bus: nukrauti konteinerius nuo dviejų produkcijos linijų ir esant poreikiui, uždėti tuščius ant grįžtamosios linijos. Kaip ir prieš modernizavimą, sukrautas paletes ir tuščius konteinerius pristatys darbuotojas dirbantis auto krautuvu.

Robotizuotos paletavimo linijos išlaidos susideda iš šių pagrindinių dalių:

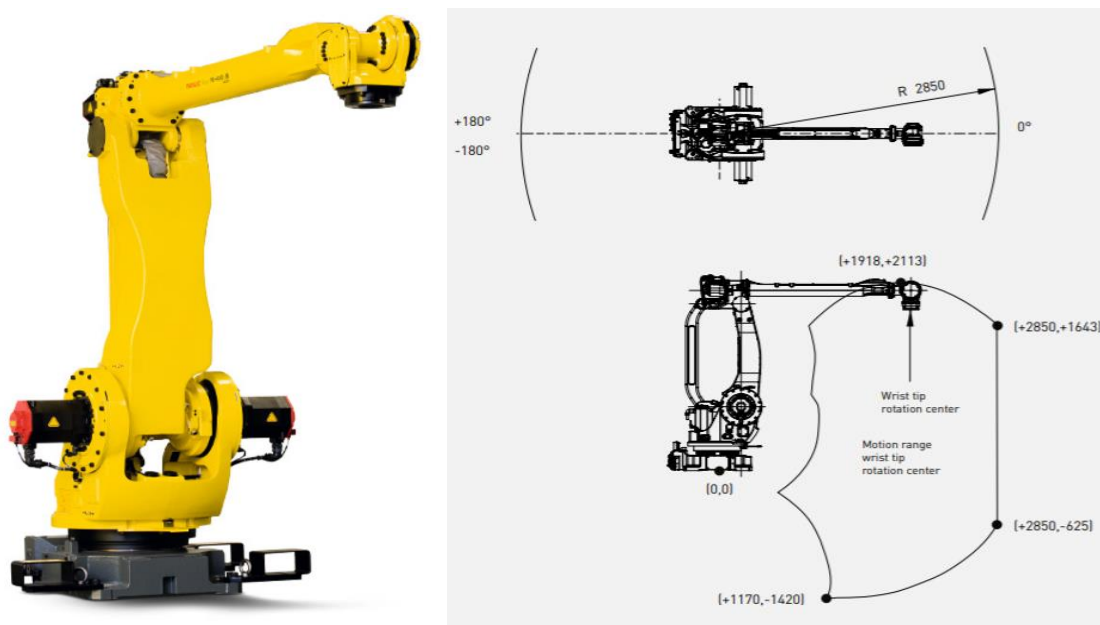
- Roboto kainos;
- Periferinės įrangos (griebtuvo, saugos barjerai, saugos sistemos, saugos sensoriai);
- Projektavimo darbų kainos (programavimo, įdiegimo, palaikymo);
- Projekto vadovavimo darbų kainos [19];
- kt.

Didžiausią šios automatizuotos paletavimo linijos kainą sudarys paletavimo robotas ir naujas roboto griebtuvas.

## **2.3 Roboto parinkimas**

Visos robotizuotos paletavimo sistemos kaina gali svyruoti nuo 25 iki 400 tūkst. eurų. Tokiam dideliame sistemų kainų skirtumui įtakos turi roboto keliamoji galia ir greitis per kurį robotas atlieka vieną ciklą. Gamintojos robotų kainos neįtakoja, tačiau renkantis paletavimo robotą, vis dėl to, reiktų rinktis žinomų gamintojų tokių kaip FANUC, Kuka, ABB ar kt., nes šie gamintojai jau senai dirba robotų srityje ir pasirinkus šiuos robotus gaunama daugiau naujų technologijų, tokių kaip vizualizacijos programos, kurios stipriai palengvina darbą su jais.

Vienas pagrindinių paletavimo roboto parinkimo veiksnių yra keliamoji galia. Žinome, kad reikės pakelti dėžes su produktu, kurių bendras svoris apie 25 kilogramai, taip pat prie roboto tvirtinsis griebtuvas kurio svoris, pagal pasirinktas jo medžiagas ir tam tikras modifikacijas gali siekti 30-40 kg, tad bendras griebtuvo ir roboto svoris turėtų būti apie 65 kilogramų. Pagal gamintojų rekomendacijas, robotą vertėtų pasirinkti bent 1,5...2 kartus didesnės keliamosios galios nei keliamas krovinys. Proceso automatizavimui pasirinktas „FANUC“ gamintojo paletavimo robotas M-410iC/140H. Jis pavaizduotas 2.3.1 paveiksle. Toks industrinis 5 ašių robotas manipulatorius kainuoja apie 120 tūkst. eurų [12].



2.3.1 pav. Paletavimo robotas FANUC M-410iC/140H [17]

Pagrindinės paletavimo roboto charakteristikos pateiktos 2.3.1 lentelėje.

2.3.1 lentelė

Paletavimo roboto FANUC M-410iC/140H charakteristikos

Modelis		FANUC M-410iC/140H
Judančios ašys		5 ašys
Pasiekiamumas		2850 mm
Judėsio diapazonas (Didžiausias greitis)	J1 ašis	360 <sup>0</sup> (140 <sup>0</sup> /s)
	J2 ašis	155 <sup>0</sup> (115 <sup>0</sup> /s)
	J3 ašis	112 <sup>0</sup> (135 <sup>0</sup> /s)
	J4 ašis	20 <sup>0</sup> (135 <sup>0</sup> /s)
	J4 ašis	720 <sup>0</sup> (420 <sup>0</sup> /s)
Maksimali keliamoji galia ties J5 ašimi		140 kg
Vardinis inercijos momentas ties J4 ašimi		147 Nm/kgm <sup>2</sup>

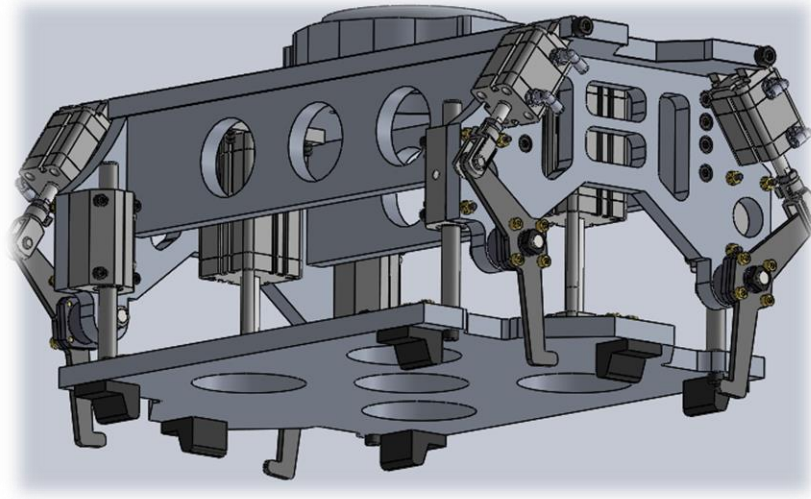
<b>Modelis</b>	<b>FANUC M-410iC/140H</b>
2Vardinis inercijos momentas ties J5 ašimi	53 Nm/kgm <sup>2</sup>
Pakartojamumo tikslumas	± 0.2 mm
Įtampa 50 / 60Hz 3 fazių	380-575 V
Vidutinis energijos suvartojimas	1 kw
Akustinio triukšmo lygis	70 dB
Integruoti signalai ant viršutinės rankos įėjimo / išėjimo	8/8
Svoris	1200 kg
Montavimo aplinka	Aplinkos temperatūra: 0-45 °C Apsauga: IP54

## 2.4 Manipulatoriaus griebtuvo projektavimas

Kitas svarbus aspektas šioje automatizuojamoje paletavimo linijoje – prie manipulatoriaus tvirtinamas griebtuvas. Griebtuvas nėra standartinis mechanizmas, kurį kaip robotą būtų galima išsirinkti iš tiekėjų gaminamos produkcijos. Griebtuvo paskirtis – paimti ir palaikyti manipulatoriaus darbo aplinkoje pernešamą objektą. Šiam darbui atlikti galima taikyti skirtingų tipų griebtuvus, priklausomai nuo to kokioje darbo zonoje dirbama ir kokios objektas yra keliamas. Kadangi tiriamoje modernizacijoje yra keliamos tik vieno tipo ir vieno dydžio plastmasinės dėžės, tad ir griebtuvas bus pakankamai paprastos konstrukcijos, pritaikytas tik šiai operacijai. Pagrindinis keliamas objektas yra konteineris (VDA4500), kuris pavaizduotas 2.1.3 pav. Visi šio tipo konteineriai turi specifines kėlimo angas, kurias reikia įvertinti pasirenkant griebtuvo koncepciją ir projektuojant griebtuvo prototipą.

Atsižvelgus į literatūros šaltiniuose aprašytus griebtuvų tipus, priimama, kad tinkamiausias ir mažiausiai išlaidų reikalaujantis yra pneumatiniiais cilindrais valdomas griebtuvas. Pagal konteinerio matmenis ir pagrindinius techninius paletavimo proceso duomenis sukurto griebtuvo prototipo vaizdas pateiktas 2.4.1 pav. Tokio griebtuvo projektavimo ir pagaminimo kaina turėtų siekti apie 8 tūkst. eurų.

Šis griebtuvas turi surenkamą korpusą ir šešis, suspaustu oru valdomus pneumatinius cilindrų. Keturi cilindrai, per svirteles, atlieka konteinerio užfiksavimą, kėlimą ir perstatymą. Kiti du cilindrai valdo prispaudžiamąją plokštę, kuri prilaiko konteinerį iš viršaus, apsaugant nuo svyravimo į šonus. Visas griebtuvo korpusas bus gaminamas iš 18 milimetrų storo aliuminio 6061 plokštės. Ši medžiaga pasirinkta dėl mažo svorio ir lengvo technologinio apdirbimo.



2.4.1. pav. Paletavimo roboto griebtuvo prototipas

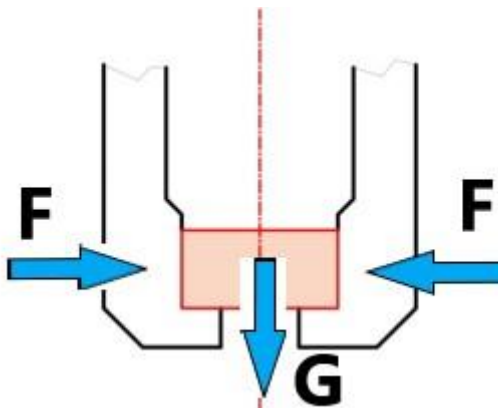
## 2.5 Griebtuvo svirčių spaudimo jėgos skaičiavimas

Projektuojant griebtuvą, labai svarbu apskaičiuoti, kokia svirčių suspaudimo jėga yra reikalinga užduotų parametrų dėžei pakelti ir manipuluoti. Skaičiuojant reikia atsižvelgti į daugelį veiksnių, tokių kaip manipulatoriaus pasiekiamumas ir greitis, judesio metu atsirandančios inercijos jėgos ir aplinkos veiksniai.

Keliamos detalės parametrai:

- Griebiamo krovinio masė: 25 kg.
- Griebiamos detalės ilgis: 600 mm.
- Griebiamos detalės plotis: 400 mm.
- Griebiamos detalės aukštis: 300 mm.

Paletavimo griebtuvas judės horizontalia, vertikalia kryptimis, kils aukštyn ir žemyn, be to, patirs ir sukamuosius judesius. Didžiausios jėgos veikia manipuluojamą detalę, kai griebtuvas juda vertikalia kryptimi ir yra veikiamas gravitacijos ir inercijos jėgų. 2.5.1 paveiksle pavaizduotas eskizas iš priekio, kaip griebtuvas laiko detalę.



2.5.1 pav. Objekto laikymo griebtuvu eskizas iš priekio



Suspaudimo jėga  $F$  yra lygi [23]:

$$F = m_0 \cdot k_s \left(1 + \frac{a_z}{g}\right), \quad (2.5.1)$$

čia:  $m_0$  – keliamos detalės masė, kg;

$k_s$  – atsargos koeficientas.

Priimama, kad  $k_s = 2,4$  [23].

Iš FANUC paletavimo robotų katalogo buvo pasirinktas manipulatorius M-410iC/140H. Kadangi griebtuvas tvirtinasi ant manipulatoriaus galo (5 jungties), skaičiavimai atliekami pasinaudojant 5 ašies greičiu.

Norint atlikti skaičiavimus, duotas manipulatoriaus J5 grandies greitis (rad/s) [23]:

$$J_5 = \omega_{max} \quad (2.5.2)$$

Grandies vidutinis pagreitis paskaičiuojamas pagal formules [23]:

$$a_{vid} = \frac{v_{imax}}{t_{is}}, \text{ m/s}^2, \quad (2.5.3)$$

$$\varepsilon_{vid} = \frac{\omega_{imax}}{t_{is}}, \text{ 1/s}^2, \quad (2.5.4)$$

čia:  $t_{is}$  – pavaros įsibėgėjimo laikas (elektrinėms pavaroms  $t_{is} = (0,3 - 0,5 \text{ s})$  [23]. Laikoma, kad  $t_{is} = 0,4 \text{ s}$ , tada grandies maksimalus pagreitis paskaičiuojamas pagal formules [23]:

$$a_{max} = k_a \cdot a_{vid}, \text{ m/s}^2 \quad (2.5.5)$$

$$\varepsilon_{max} = k_a \cdot \varepsilon_{vid}, \text{ 1/s}^2 \quad (2.5.6)$$

čia:  $k_a$  – elektrinei pavarai 1,5 [23].

Griebtuvo suspaudimo jėga:

$$F = m \cdot k_s \left(1 + \frac{a_{max}}{g}\right) = m \cdot k_s \left(1 + \frac{\varepsilon_{max} \cdot l}{g}\right) \quad (2.5.7)$$

Pagal pateiktas formules apskaičiuoti parametrai pateikti 2.5.1 lentelėje.

## Apskaičiuoti grandies parametrai

Parametras	Reikšmė
Manipulatoriaus J5 grandies greitis (rad/s)	7,3
Grandies vidutinis pagreitis (rad/s <sup>2</sup> )	18,3
Grandies maksimalus pagreitis (rad/s <sup>2</sup> )	27,5
Griebtuvo suspaudimo jėga (N)	539

Skaiciavimai parodė, kad 25 kilogramų svorio konteinerio perkėlimo metu griebtuvo, dviejų svirčių suspaudimo jėga turi būti 539 N. Taigi vienos svirties suspaudimo jėga turi būti 269,5 N. Apskaičiavus reikalingą vienos svirties suspaudimo jėgą reikia apskaičiuoti ar pneumatiniai cilindrai parinkti teisingai ir ar dėžės suspaudimo jėgos užteks.

Svirčių valdymui buvo pasirinkti AIRTEC firmos NXD32, dvigubos eigos, pneumatiniai cilindrai (žr. 2.5.2 pav.).



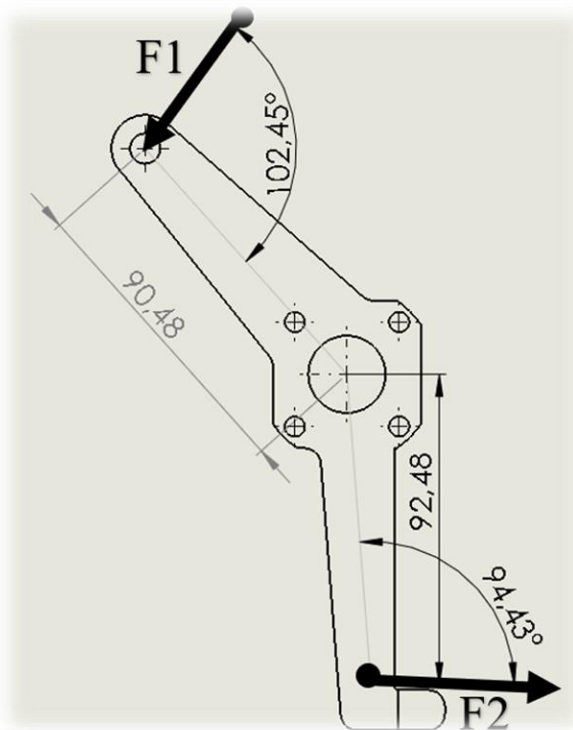
2.5.2 pav. AIRTEC NXD pneumatinis cilindras

Pagrindinės pneumatinio cilindro charakteristikos pateiktos 2.5.2 lentelėje.

## Pneumatinio cilindro NXD32 charakteristikos

<b>Darbinis slėgis</b>	Nuo 1 bar iki 10 bar	
<b>Temperatūros diapazonas</b>	Nuo -10°C iki +80°C	
<b>Stūmoklis diametras</b>	32 mm	
<b>Jėga prie 6 bar</b>	Stumiant	434 N
	Susitraukiant	373 N

Gamintojo pateikiamos pneumatinio cilindro charakteristikos leidžia daryti išvadą, kad cilindro generuojama jėga stumiant pakankama, tačiau ši jėga perduodama per svirteles. Reikia sudaryti veikiančių jėgų eskizą (žr. 2.5.3) ir paskaičiuoti ar šios 434 N jėgos tikrai užteks.



2.5.3 pav. Svirtelę veikiančių jėgų eskizas

Svirties jėga apskaičiuojame pagal lygybę, kuri atspindi atvirkštinį santykį tarp jėgų ir pečių santykių [23]:

$$L_1 \cdot F_1 \sin \theta_1 = L_2 \cdot F_2 \sin \theta_2 \quad (2.5.7)$$

Pasinaudoję 2.5.7 formule, gauname, kad per svirtį veikianti jėga bus lygi 413 N. Šios apskaičiuotos jėgos visiškai užtenka, tad pneumatinis cilindras parinktas tinkamai.

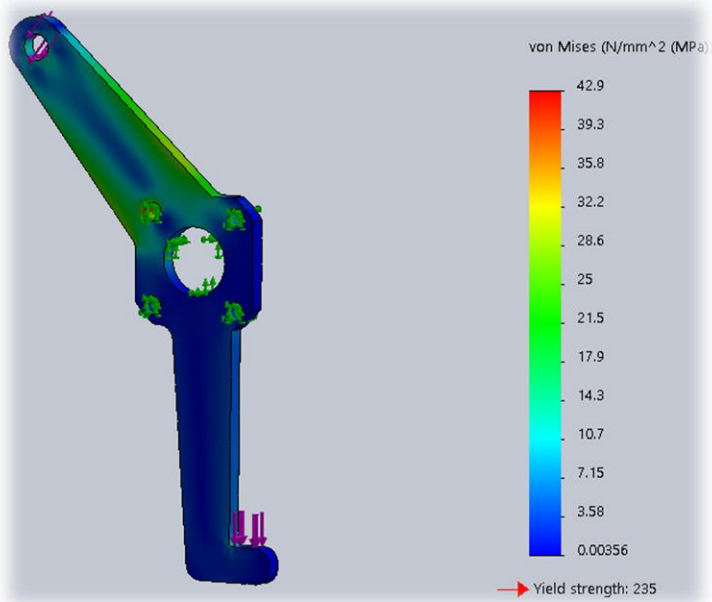
## 2.6 Griebtuvo svirties stiprumo analizė

Atsižvelgus į griebtuvo konstrukcijos ypatumus ir darbo režimus, galima teigti, kad stiprumo požiūriu papildomo įvertinimo reikalauja vienintelis mechanizmo elementas – svirtis. Gaminyje tokių elementų yra 4 vnt. Svirties stiprumo modeliavimas buvo atliktas, naudojant kompiuterinę baigtinių elementų analizės sistemą Solidworks Simulation. Elemento geometrija pritaikyta pagal sudarytą detalės modelį, elemento medžiaga – plienas S235 (takumo riba – 235 MPa; stiprumo riba – 360 MPa).

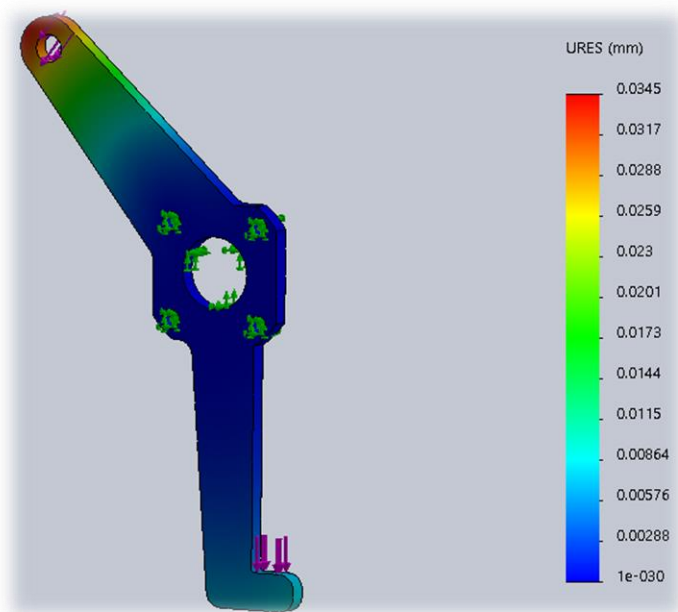
Buvo atlikti du tyrimai. Pirmasis tyrimas apėmė statinį svirties apkrovimą maksimalia pneumatinio cilindro užspaudimo jėga ir veikiant konteinerio su kroviniu (25 kg) svoriui. Šio tyrimo metu gautų von Mises įtempių vaizdas pateiktas 2.6.1 pav., o poslinkių – 2.6.2 pav. Gauti maksimalūs įtempiai siekia 42,9 MPa. Akivaizdu, kad šis apkrovimas nėra pavojingas. Poslinkiai

taip pat nėra dideli (max plokštelės įlinkis siekia 0,03 mm), nedarantys neigiamos įtakos mechanizmo manipuliavimo tikslumui.

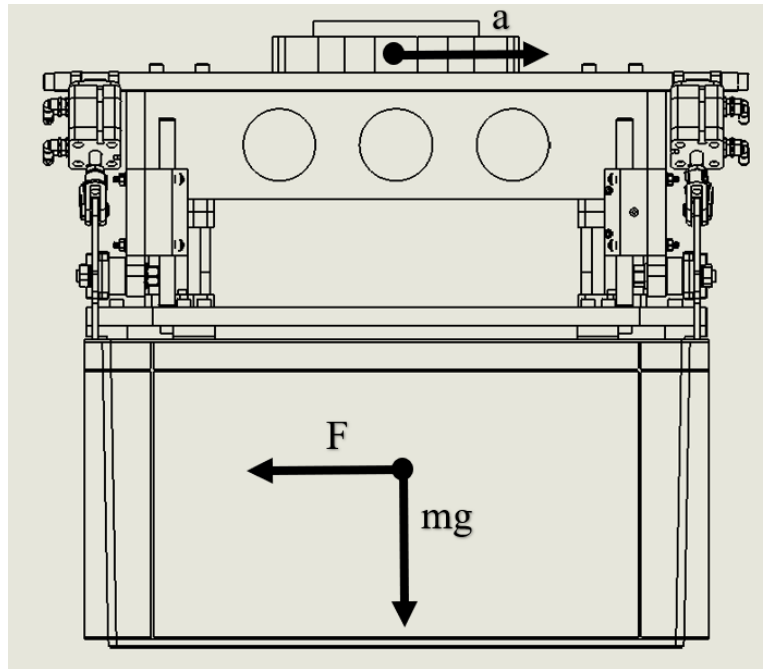
Antrojo tyrimo metu, be minėtų statinių apkrovų buvo įvertintos ir dinaminės apkrovos, t. y., inercijos jėgos kurios atsiranda griebtuvo su kroviniu judesio metu. Svirties stiprumui pavojingiausias šoninis greitėjantis ar lėtėjantis griebtuvo judesys (žr. schemą, pateiktą 2.6.3 pav.).



2.6.1 pav. Svirties bandymo rezultatai (įtempiai)



2.6.2 pav. Svirties bandymo rezultatai (poslinkiai)



2.6.3 pav. Roboto judėjimo tam tikru pagreičiu parametrų eskizas

Judesio metu svirtys veikiamos jėga, kurios dydis priklauso nuo judesio pagreičio:

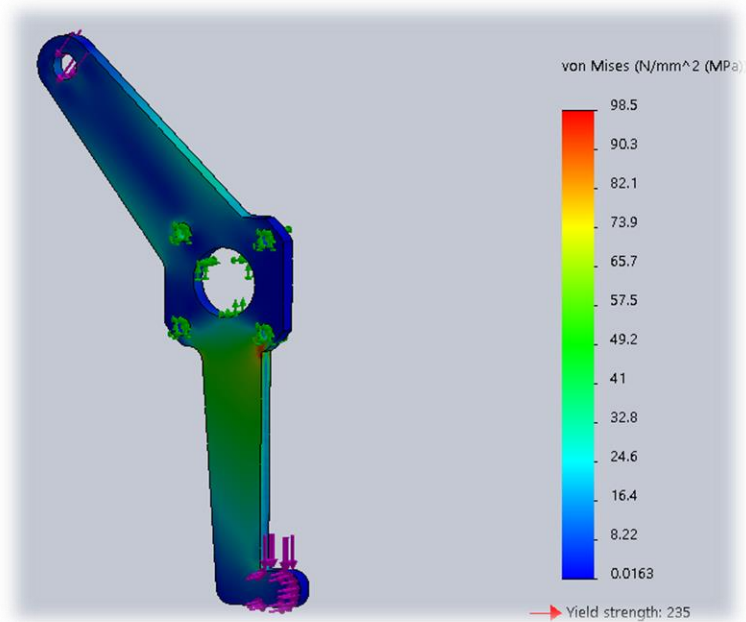
$$F_{max} = m \cdot a_{max} \quad (2.6.1)$$

Čia:  $m$  – krovinio masė, kg;

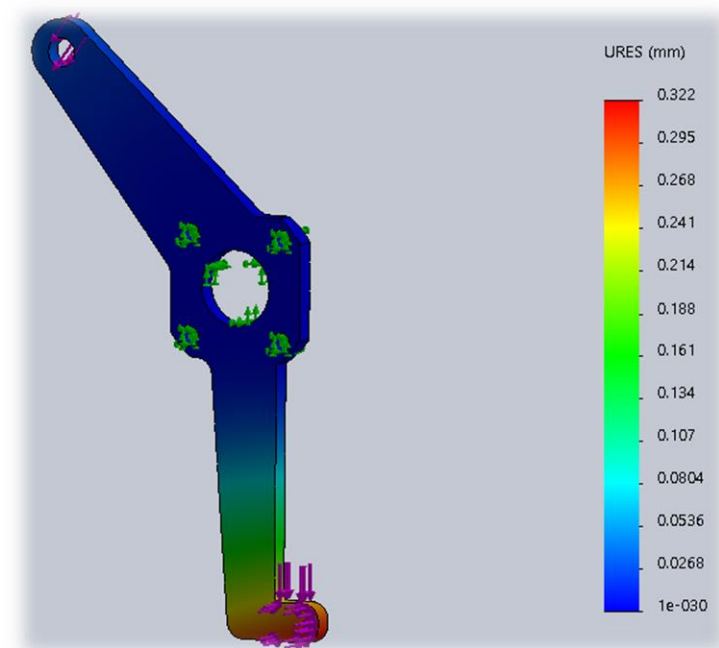
$a_{max}$  – maksimalus griebtuvo pagreitis,  $m/s^2$ , šoninio judesio metu.

Žinome, kad bendra griebtuvo su krovinio masė siekia apie 25 kilogramus. Maksimalus pagreitis judesio pradžios ar stabdymo metu neviršija  $6,9 m/s^2$ . Tad pasinaudojus (2.6.1) formule apskaičiuojama papildoma apkrova dėl inercijos jėgų su atsargos koeficientu 1,3 (dėl galimų perkrovų) siekia apie 230 N. Vienai svirčiai tenkanti šoninė jėga 58 N. Ši jėga pridėta statmenai svirčiai apatinėje elemento dalyje (žr. 2.6.4 pav.). Tame pačiame paveiksle taip pat pateiktas ir von Mises įtempių pasiskirstymas. Analizė parodė, kad detalėje atsirandančių didžiausių įtempių reikšmė lygi 98,5 MPa. Gauti dukart didesni įtempiai, nei pirmojo tyrimo atveju, tačiau jie žymiai mažesni nei tamprumo ribos. Gautas atsargos koeficientas – 2,3. Poslinkių pasiskirstymo vaizdas pateiktas 2.6.5 pav. Gautas maksimalus plokštelės įlinkis – 0,3 mm.

Gauti rezultatai rodo, kad griebtuvo stiprumas eksploatavimo metu bus pakankamas. Papildoma elementų nuovargio analizė dėl ciklinių apkrovų nėra būtina, kadangi gauta didelis atsargos koeficientas.



**2.6.4 pav.** Svirties bandymo rezultatai su pridėtine jėga (įtempiai)



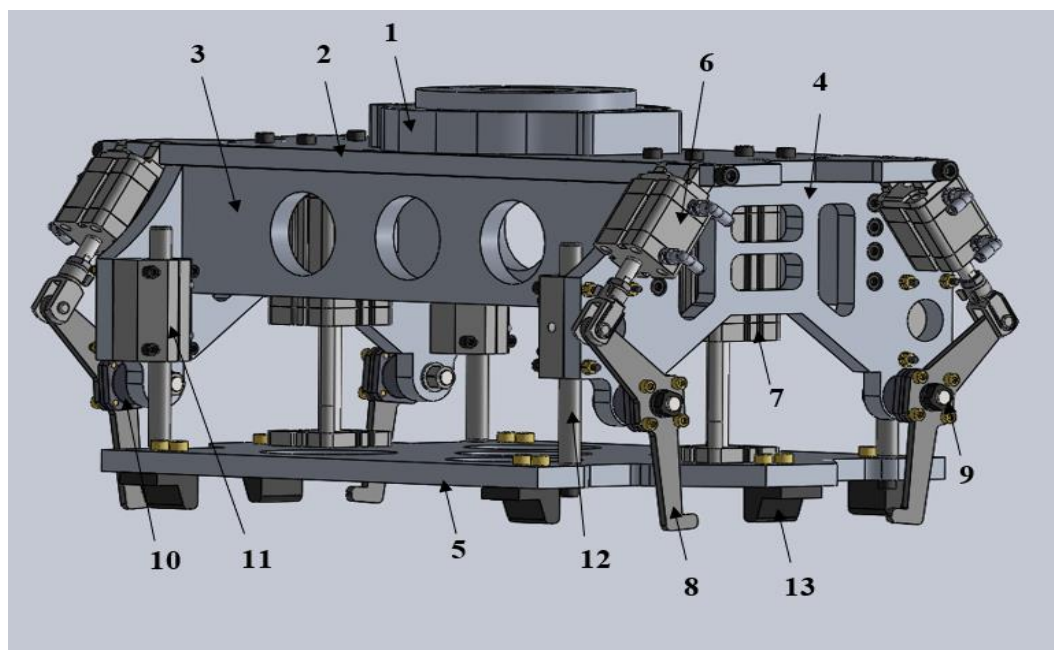
**2.6.5 pav.** Svirties bandymo rezultatai su pridėtine jėga (poslinkiai)

## 2.7 Griebtuvo svorio nustatymas

Įvertinus griebtuvą veikiančias jėgas, patikrinus pneumatinių cilindrų parinkimo pagrįstumą ir atlikus griebtuvo svirčių stiprumo analizę, apskaičiuojama bendra griebtuvo masė. Griebtuvo mechaninės dalies detalizavimas pateikta 2.7.1 pav. Jame neįvertinta pneumatinės įrangos masė, todėl papildomai bendrą griebtuvo masę reiks padidinti apie 3,5 kg, kas papildomai įtraukta 2.7.1 lentelėje.

Bendra griebtuvo masė yra pakankamai svarbi prieš pasirenkant robotą. Suprojektuoto griebtuvo masei nustatyti naudojama Solidworks programinė įranga. Šia programa atliktas visų elementų projektavimas, jiems priskirtos medžiagos ir automatiškai apskaičiuotos detalių masės.

Kadangi griebtuvo korpusas yra didelių matmenų ir jo neveikia jokios didelės jėgos, nuspręsta naudoti aliuminį 6061, kuris yra pakankamai lengvas ir gerai technologiškai apdirbamas. Be to, ši medžiaga yra pakankamai tvirta ir pasižymi geromis antikorozinėmis savybėmis. Griebtuvo svirtims ir ašims parinktas konstrukcinis plienas S235.



2.7.1 pav. Griebtuvo komponentų numeracija

1 – tvirtinimas prie manipulatoriaus; 2 – pagrindinė plokštė; 3 – šoninė plokštė; 4 – svirčių ir šliaužiklių tvirtinimo plokštė; 5 – prispaudžiamoji plokštė; 6 – pneumatinis cilindras NXD-32; 7- pneumatinis cilindras NXD-A-50; 8 – svirtis; 9 – svirties ašis; 10 – svirties laikymo elementas; 11- Rutulinės įvorės elementas; 12 - grūdintas plieninis velenėlis; 13 – atrama.

2.7.1 Lentelė

Griebtuvo svorio įvertinimas

Detalė	Kiekis	Medžiaga	Masė, kg.
Tvirtinimas prie manipulatoriaus	1	Aliuminis 6061	2,61
Pagrindinė plokštė	1	Aliuminis 6061	5,75
Šoninė plokštė	2	Aliuminis 6061	3,47
Svirčių ir šliaužiklių tvirtinimo plokštė	2	Aliuminis 6061	3,39
Prispaudžiamoji plokštė	1	Aliuminis 6061	7,81
Pneumatinis cilindras NXD-32	4	-	1,86
Pneumatinis cilindras NXD-A-50	2	-	1,43
Svirtis	4	Plienas S235	0,92

2.7.1 Lentelė (tęsinys)

Detalė	Kiekis	Medžiaga	Masė, kg.
Svirties ašis	4	Plienas S235	0,27
Svirties laikymo elementas	4	-	0,63
Rutulinės įvorės elementas	4	-	1,65
Plieninis velenėlis	4	Plienas S235	1,23
Atrama	6	Aliuminis 6061	0,45
Pneumatiniai elementai	-	-	3,5
Tvirtinimo, surinkimo elementai	-	-	0,8
<b>Bendra masė:</b>			37,8

Įvertinus visas griebtuvo komponentų mases, gauta bendra griebtuvo  $m = 37,8$  kg.

Suprojektuoto griebtuvo masė gauta su rezervu, kas leis užtikrinti patikimą paletavimo procesą per visą sistemos eksploatavimo laikotarpį.

## 2.8 Vizualinis projektuojamos sistemos našumo patikrinimas

Parinkus paletavimo robotą, suprojektavus griebtuvo prototipą ir apskaičiavus pagrindinius jo parametrus, turime įvertinti ar projektuojama sistema bus pakankamai naši. Tai galima atlikti virtualios gamybos programomis, kurios yra sukurtos būtent šiam tikslui. Virtuali gamyba – modeliavimu paremtos technologijos naudojimas, siekiant padėti inžinieriams apibrėžti, modeliuoti ir vizualizuoti produkto gamybos procesą kompiuterinėje aplinkoje. Darbe naudojama Delfoi Robotics Premium 4.1.

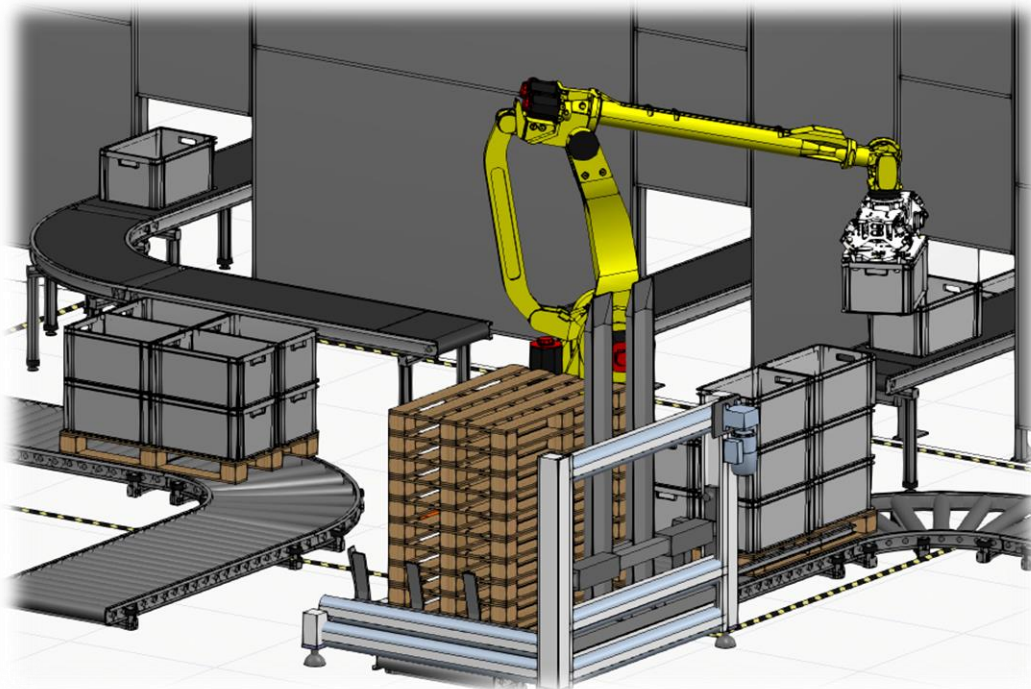
Norint sudaryti projektuojamo proceso vizualizaciją, šioje programoje turi būti sukurti visi pagrindiniai komponentai. Robotizuotai sistemai parinktas „Fanuc“ paletavimo robotas jau yra integruotas į sistemą, taigi jo papildomai integruoti nereikia. Norėdami vizualizuoti ir naudoti suprojektuotą roboto griebtuvo prototipą, turime jį integruoti į šią sistemą. Visas griebtuvo integravimo procesas pateikiamas 1 priede.

Pagal 2.1 poskyryje apžvelgtą esamą paletavimo situaciją, žinome, kad užsibrėžtas tikslas yra automatizuotos paletavimo sistemos našumą padidinti iki 700 konteinerių per 8 val. Projektuojant vizualizaciją programinėje įrangoje, nustatoma, kad gamybos linijos konvejeriai paduos po 1 konteinerį kas 30 sekundžių. Taigi paletavimo robotui per 1 minutę teks perkelti du konteinerius. Šis skaičius yra nedidelis, nes tokio manipulatoriaus našumas gali siekti net iki 40 ciklų per minutę. Ppapildomai, sudarant vizualizacijos programą, nustatome, kad robotas taip pat perkels grąžintus konteinerius ant grįžtamosios konteinerių linijos. Bendras roboto darbo ciklas bus 4 konteineriai per 1 minutę. Paletavimo roboto darbo programos fragmentas pateikiamas 2 priede.

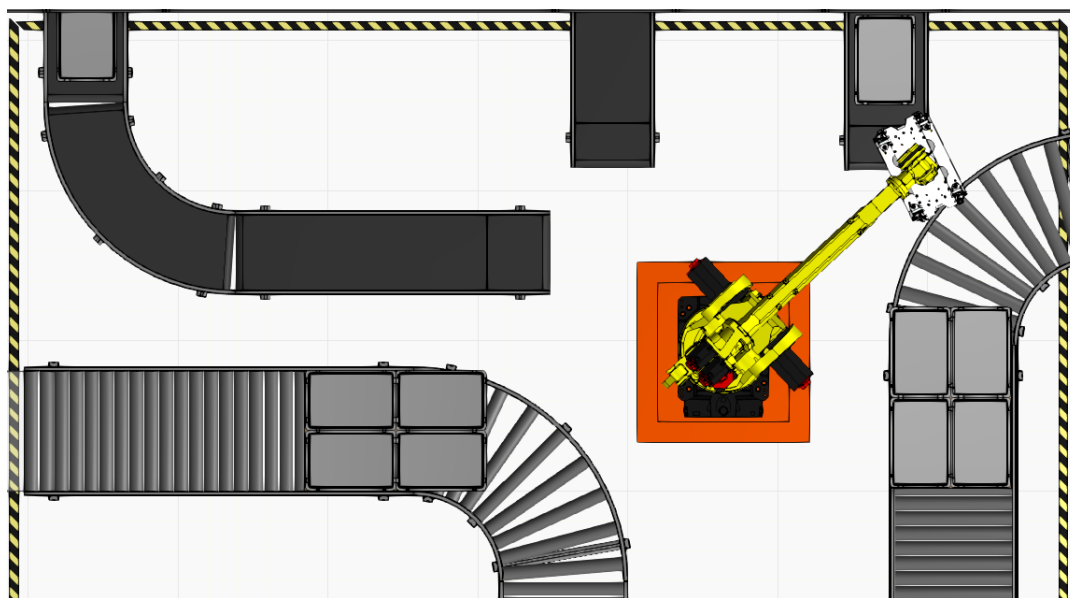


Sudarius proceso simuliaciją įsitikinta, kad projektuojamos sistemos našumas yra tinkamas ir sistema geba perkrauti daugiau 700 konteinerių kiekį per 8 val. Atliekant vizualizacijas galima panaikinti nesklandumus, kurie atsiranda įgyvendinant bet kokį modernizacijos projektą. Dažnu atveju taip sutaupomos nereikalingos išlaidos ir proceso modernizavimas tampa efektyvesnis. Pasitelkiant simuliacijos programas, vizualizacijų sukūrimas įvykdomas pakankamai greitai, jos padeda numatyti operacijų seką, vizualiai sukurti būsimą darbo vietą, ją tobulinti.

2.8.1 ir 2.8.2 paveiksluose pateikti paletavimo linijos modernizacijos vizualizacija.



2.8.1 pav. Modernizuota paletavimo linija iš priekio (Delfoi Robotics Premium 4.1)



2.8.2 pav. Modernizuota paletavimo linija iš viršaus (Delfoi Robotics Premium 4.1)

## 2.9 Robotizuotos sistemos kainos atsiperkamumo skaičiavimas

Parinkus paletavimo robotą, suprojektavus roboto griebtuvą ir apskaičiavus pagrindines jo charakteristikas liko įvertinti bendrą visos sistemos kainą. Kaip jau apžvelgta anksčiau, roboto kaina yra 120 tūkst. eurų, griebtuvo kaina siekia apie 8 tūkst. eurų. Be šių išlaidų reikia numatyti visos roboto periferinės įrangos išlaidas, kurios sieks apie 30 tūkst. eurų. Papildomai prie roboto sistemos kainos prisidės pradinės atsarginės dalys kurių kaina sieks apie 7 tūkst. eurų. Kitos išlaidos bus susijusios su roboto programavimu bei įdiegimu, kurių bendra kaina sieks 25 tūkst. eurų. Įdiegus robotą, įmonė turės galimybę nusipirkti paletavimo programą, kurios kaina sieks apie 25 tūkst. eurų. Ši programa yra naudinga tuo, kad ateityje keičiant ar perprogramuojant robotą, nereikia kreiptis į įmones, kurios atlieka roboto perprogramavimo ar diegimo darbus, nes ši programa yra pakankamai paprasta ir joje galima atlikti visus veiksmus supaprastintai. Be šių paminėtų išankstinių išlaidų, įmonė turės ir kasmetinių aptarnavimo ir priežiūros išlaidų kurios sieks apie 500 eurų, taip pat prisidės ir susidėvėjusių dalių kaina apie 5 tūkst. eurų po penkių metų.

Taigi, bendra visos sistemos kaina – 210 tūkst. eurų išankstinių išlaidų ir 500 eurų kasmetinių išlaidų.

Visos sistemos atsiperkamumą paskaičiuosime pasinaudoję investicijų pelningumo rodiklio skaičiuokle (angl. ROI - Return of Investment) [24].

Pirmajame šios sistemos lange suvedama visos sistemos kaina ir robotų skaičius, kuris bus naudojamas. Toliau programa reikalauja įvesti roboto sistemos naudojimą: kiek pamainų robotai dirbs per dieną, kiek dienų per savaitę, kiek savaitių per metus, koks mokamas atlyginimas darbuotojams, kiek darbuotojų pakeis robotai, kokios dalies darbuotojų užmokesčio reikės operacijai prižiūrėti, koks bus naudingumo padidėjimas ir koks yra papildomas sutaupymas.

Įmonė dirba dviejų pamainų darbo grafiku, kuris vyksta 5 dienas per savaitę. Metinės išlaidos vienam darbuotojui siekia apie 12 tūkst. eurų. Robotizuota paletavimo linija pakeis tris darbuotojus. Proceso išlaikymo išlaidos siekia 41 % vieno darbuotojo atlygio. Todėl nuo visų pakeičiamų darbuotojų tai sudaro 13 %. Tikėtinas produktyvumo augimas bus 50 %. Papildomai bus sutaupomos elektros sąnaudų išlaidos ir elektrinių gervių aptarnavimo ir apžiūros išlaidos. Visi duomenys suvedami į skaičiuoklės lentelę, kuri yra pateikta į 2.9.1 pav.

2.9.2 pav. pateikti rezultatai. Sistemos atsipirkimas numatomas per 3 metus. Tai yra trumpas laikas robotizuotai sistemai atsipirkti, tad galima teigti, kad pasirinktas modernizacijos variantas yra naudingas ir priimtinas[7].

2.9.3 pav. pateikta lentelė su bendromis išlaidų bei sutaupymų sumomis. Lentelėje pateikiami kiekvienų metų duomenys.

**1 Robot System Usage:**  Shifts/Day  Days/Week  Weeks/Year  
Disclaimer: Average Robot Electrical costs are roughly \$.50 per hour

**2 Annual Labor Costs per Operator, Including Fringe Benefits:** \$   
Disclaimer: Average Robot Electrical costs are roughly \$.50 per hour

**3 Number of Operators per Shift Removed:**

**4 Percentage of Labor Retained to Operate System per Shift:**  %

**5 Expected Productivity Gain:**  %

**6 Other Estimated Savings:** \$   
Additional Statement: We have found that there are often a number of additional unforeseen or industry specific values associated with the installation of Robotic Systems, such as: Scrap/Rework Saving, Material Savings, etc.

2.9.1 pav. Išlaidos susijusios su robotizuota paletavimo linija (ROI Robot System Value Calculator skaičiuoklė)

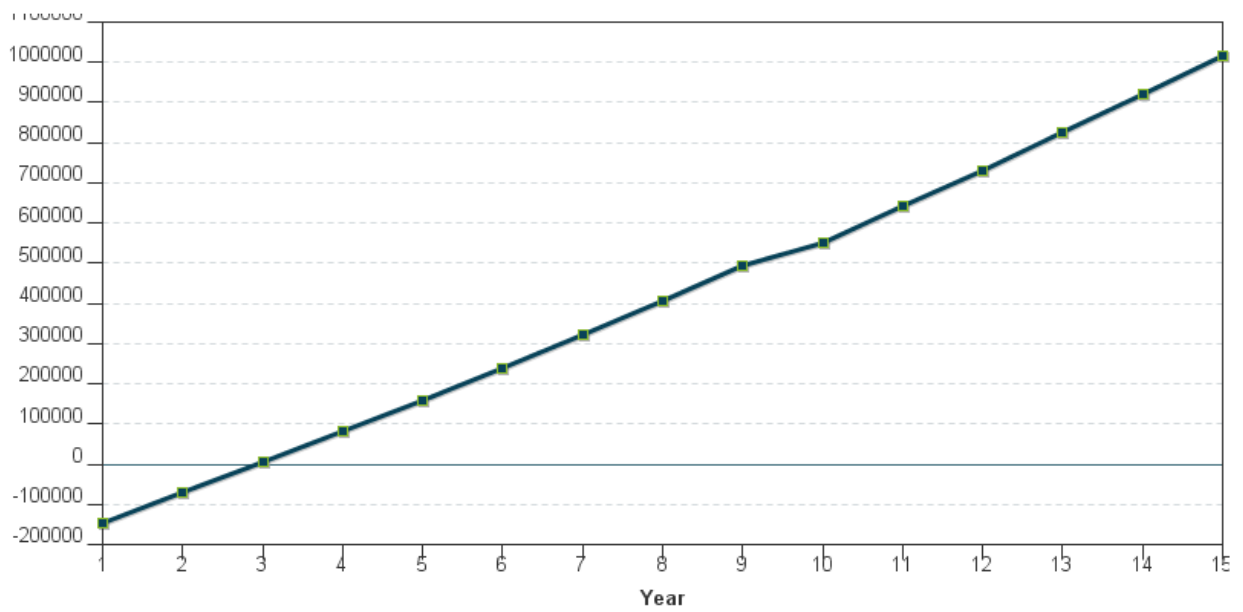


2.9.2 pav. Rezultatai (ROI Robot System Value Calculator skaičiuoklė)

Year	System Costs	Maintenance Costs	Operating Costs*	Labor Savings**	Productivity Savings***	Other Savings	Yearly Cash Flow	Cumulative Cash Flow
1	\$ 220,000	\$ 500	\$ 3,000	\$ 62,640	\$ 12,528	\$ 2,000	\$ -146,332	\$ -146,332
2		\$ 500	\$ 3,060	\$ 63,893	\$ 12,779	\$ 2,000	\$ 75,111	\$ -71,221
3		\$ 500	\$ 3,121	\$ 65,171	\$ 13,034	\$ 2,000	\$ 76,584	\$ 5,363
4		\$ 500	\$ 3,184	\$ 66,474	\$ 13,295	\$ 2,000	\$ 78,085	\$ 83,448
5		\$ 5,000	\$ 3,247	\$ 67,804	\$ 13,561	\$ 2,000	\$ 75,117	\$ 158,565
6		\$ 500	\$ 3,312	\$ 69,160	\$ 13,832	\$ 2,000	\$ 81,179	\$ 239,744
7		\$ 500	\$ 3,378	\$ 70,543	\$ 14,109	\$ 2,000	\$ 82,773	\$ 322,517
8		\$ 500	\$ 3,446	\$ 71,954	\$ 14,391	\$ 2,000	\$ 84,398	\$ 406,916
9		\$ 500	\$ 3,515	\$ 73,393	\$ 14,679	\$ 2,000	\$ 86,056	\$ 492,972
10		\$ 30,000	\$ 3,585	\$ 74,861	\$ 14,972	\$ 2,000	\$ 58,247	\$ 551,219
11		\$ 500	\$ 3,657	\$ 76,358	\$ 15,272	\$ 2,000	\$ 89,472	\$ 640,692
12		\$ 500	\$ 3,730	\$ 77,885	\$ 15,577	\$ 2,000	\$ 91,232	\$ 731,924
13		\$ 500	\$ 3,805	\$ 79,443	\$ 15,889	\$ 2,000	\$ 93,026	\$ 824,950
14		\$ 500	\$ 3,881	\$ 81,032	\$ 16,206	\$ 2,000	\$ 94,857	\$ 919,807
15		\$ 500	\$ 3,958	\$ 82,652	\$ 16,530	\$ 2,000	\$ 96,724	\$ 1,016,531
<b>TOTALS</b>		\$ 41,500	\$ 51,880	\$ 1,083,260	\$ 216,652	\$ 30,000		

2.9.3 pav. Visos išlaidos ir sutaupymai (ROI Robot System Value Calculator skaičiuoklė)

Skaičiuoklėje taip pat yra pateikiamas grafikas, kuriame matomas modernizacijos atsiperkamumo lūžio taškas, jis yra po beveik 3 metų (žr. 2.9.4 pav.).



**2.9.4 pav.** Kreivė, parodanti atsiperkamumo laikotarpį

## IŠVADOS

1. Darbe atlikta VDA 4500 tipo konteinerių paletavimo proceso analizė, pateiktos rekomendacijos, kaip pasirinkti tinkamą šio proceso modernizavimo sistemą.
2. Atliktas robotizuoto VDA 4500 tipo konteinerių paletavimo proceso projektavimas, parinktas robotas, suprojektuotas griebtuvas, atlikta jo stiprumo analizė.
3. Atlikta paletavimo proceso vizualizacija, naudojant Delfoi Robotics Premium 4.1.
4. Po sistemos modernizavimo paletavimo proceso našumas buvo padidintas daugiau kaip 50 %. Esant poreikiui, šis rodiklis gali būti padidintas iki 80-90 %. Modernizuotos sistemos atsiperkamumas – iki 3 m.

## LITERATŪRA

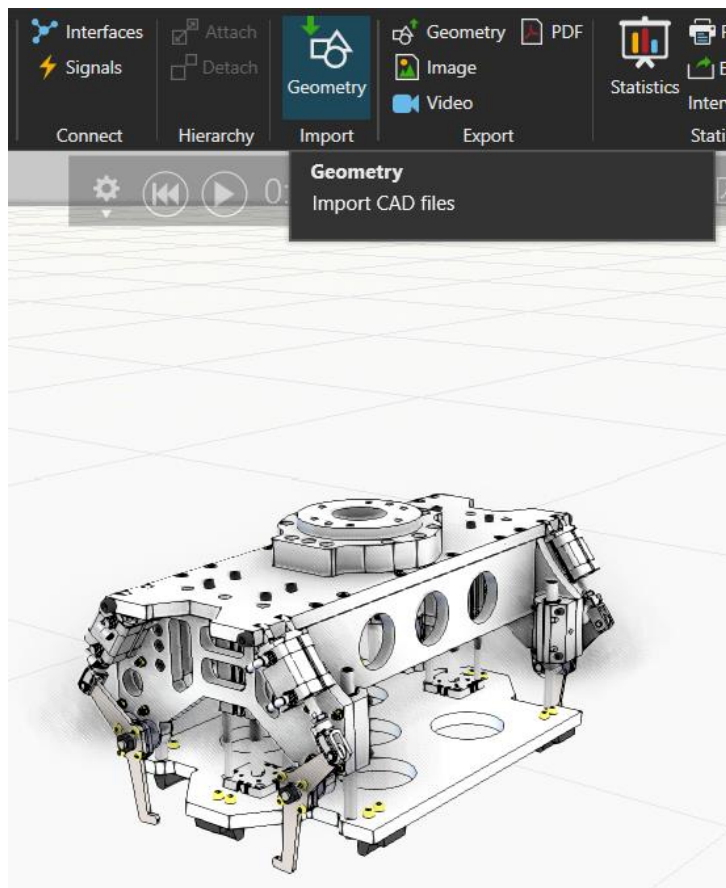
1. Berger R. (2016). Skill Development for Industry 4.0. BRICS Skill Development Working Group. Whitepaper.
2. Abramavičius, P. Darbuotojų antrepreneriškumo sąsajos su gebėjimu prisitaikyti ir pasitenkinimu karjera „Pramonė 4.0“ kontekste. Magistro baigiamasis projektas. KTU, 2019.
3. Burke, C. S., Pierce, L. G., & Salas, E. (2006). Understanding Adaptability: A Prerequisite for Effective Performance Within Complex Environments. Amsterdam: JAI Press Inc.
4. Schwab, K.M. (2016). The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond. World Economic Forum Agenda.
5. Su krovinių krovimu rankomis susiję rizikos veiksniai darbo vietoje. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-08]. Prieiga per internetą: <https://osha.europa.eu/lt/publications/factsheets/73>
6. Stancioiu, A. (2017). The Fourth Industrial Revolution „industry 4,0”, Fiabilitate si Durabilitate – Fiability & Durability No 1/2017 Editura “Academica Brancusi”, Targu Jiu, ISSN 1844-640X (1), 74-78
7. Protecting Biodiversity when Money Matters: Maximizing Return on Investment. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-08]. Prieiga per internetą: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2212107/>
8. Newell J., (2016). DAQ in Industry 4.0. Environmental Engineering DAQ & Sensors.
9. Sue Ferguson A. Workplace design guidelines for asymptomatic low-back injured workers. Applied Ergonomics, Nr. 36–1, 2005. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-13]. Prieiga per internetą: <http://www.elsevier.com/locate/apergo>
10. Friedman H. H., Gerstein M., Hertz S. (2018). Employee Adaptability and Organizational Agility: The Secret Elixir that Produces Outstanding Performance. Proceedings of the Northeast Business & Economics Association, [s. l.], p. 105–109.
11. Sabaitė, E. Krovos rankomis darbų tyrimas metalo gaminių įmonėje. Magistro baigiamasis darbas. ASU, 2012.
12. Robot System Cost Series. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-19]. Prieiga per internetą: <https://motioncontrolsrobotics.com/range-robot-cost/>
13. Conventional vs. Robotic Palletizing. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-19]. Prieiga per internetą: [https://www.intelligranted.com/sites/default/files/resources/10081-%28CVRWP%29-ConventionalvsRobotic\\_WhitePaper\\_FINAL\\_LR\\_0.pdf](https://www.intelligranted.com/sites/default/files/resources/10081-%28CVRWP%29-ConventionalvsRobotic_WhitePaper_FINAL_LR_0.pdf)
14. Gabriel, M. & Pessl, E., (2016). Industry 4.0 and Sustainability Impacts: Critical Discussion of Sustainability Aspects with a Special Focus on Future of Work and Ecological Consequences. Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara, pp.131–136.

15. Pozicija Sandėlio darbuotojas - Transportas, Pervežimas, Logistika darbo rinkoje. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-03-02]. Prieiga per internetą: <https://www.manoalga.lt/salaryinfo/transportas-pervezimas-logistika/sandelio-darbuotojas?search=1>
16. Baldassari P., Roux J.D. (2017). Industry 4.0: Preparing for the Future of Work. People & Strategy. Vol. 40 Issue 3, p20-23.
17. Palletizing robots. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-03-02]. Prieiga per internetą: <https://www.fanucamerica.com/solutions/manufacturing-applications/palletizing-robots>
18. Bersin J. (2017). Future of Work. The People Imperative. Bersin by Deloitte. Principal, Deloitte Consulting LLP.
19. Economic Justification for Industrial Robotic Systems. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-03-11]. Prieiga per internetą: [http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/5286c3ec6a838e50482572eb00028dfe/\\$file/Robotics+seminar+-+Economic+Justification.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/5286c3ec6a838e50482572eb00028dfe/$file/Robotics+seminar+-+Economic+Justification.pdf)
20. The Advantages of Robotic Palletizers Compared To Conventional Layer Palletizers. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-03-11]. Prieiga per internetą: <https://www.esstechnologies.com/pdf/Robotic-vs-Traditional-Palletizers.pdf>
21. Intelligrated Conventional vs Robotic Palletizing. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-03-11]. Prieiga per internetą: <http://www.mhi.org/downloads/learning/cicmhe/awards/Intelligrated-ConventionalvsRoboticPalletizing.pdf>
22. Lankauskas, P. Manipulatoriaus griebtuvo kūrimas ir tyrimas. Magistro baigiamasis projektas. KTU, 2015.
23. Bakšys B., Fedaravičius A. // Robotų technika. Kaunas: Technologija, 2004.- 493 p
24. ROI Robot System Value Calculator. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-30]. Prieiga per internetą: <https://www.robotics.org/roi-calculator.cfm>

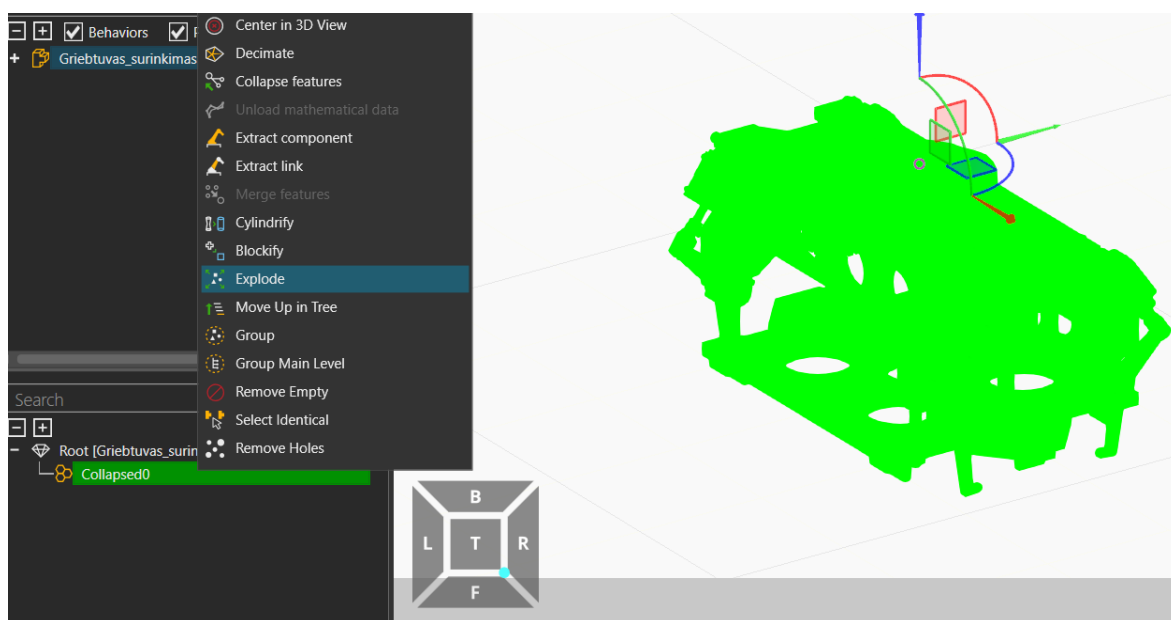
# **PRIEDAI**



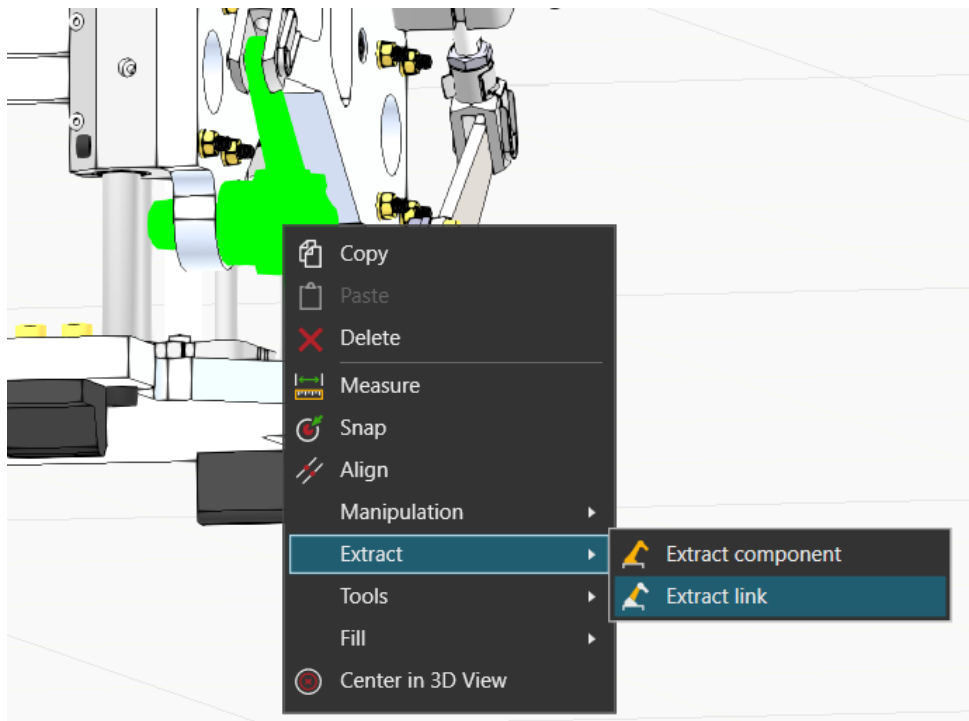
## 1 PRIEDAS. Griebtuvo prototipo integravimas į Delfoi Robotics Premium 4.1 programą.



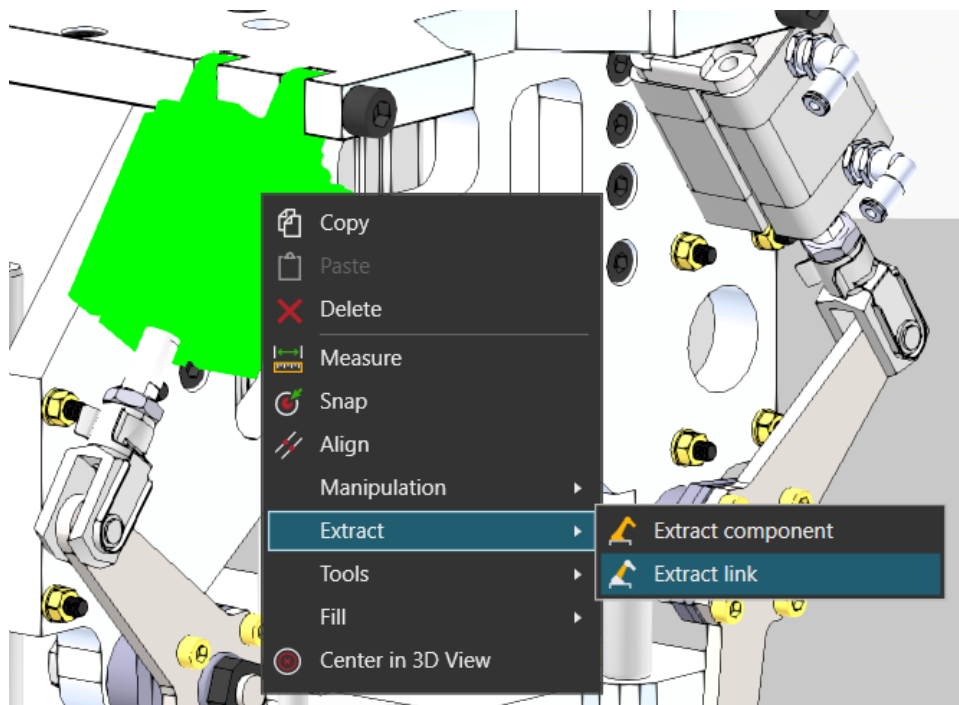
**P.1.1 pav.** Griebtuvo prototipo įkėlimas į Delfoi Robotics Premium 4.1 programą



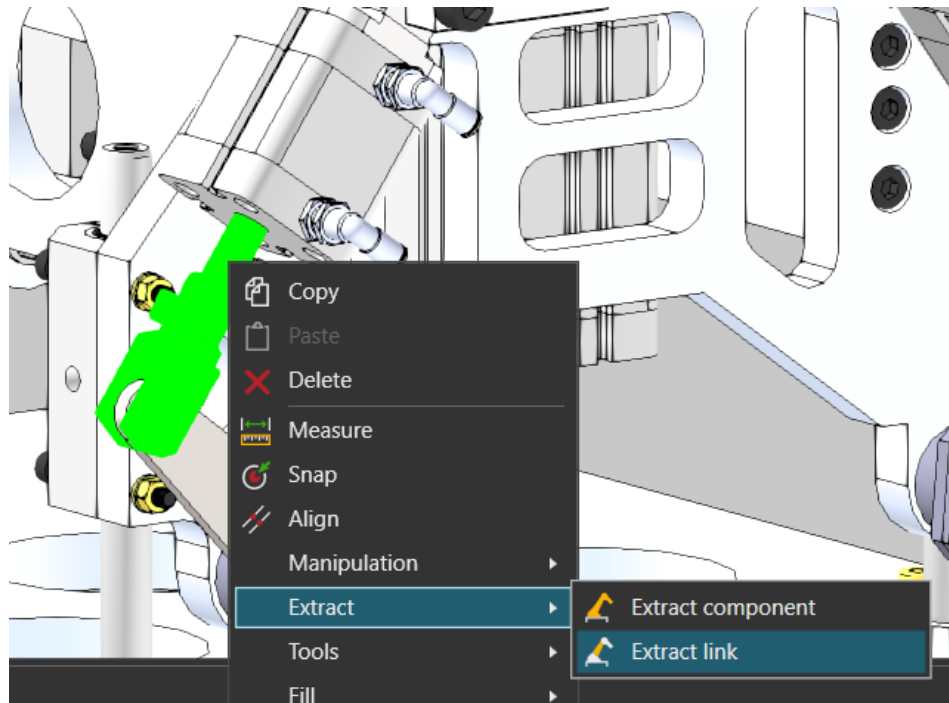
**P.1.2 pav.** Griebtuvo sudedamųjų dalių išskleidimas į atskirus komponentus



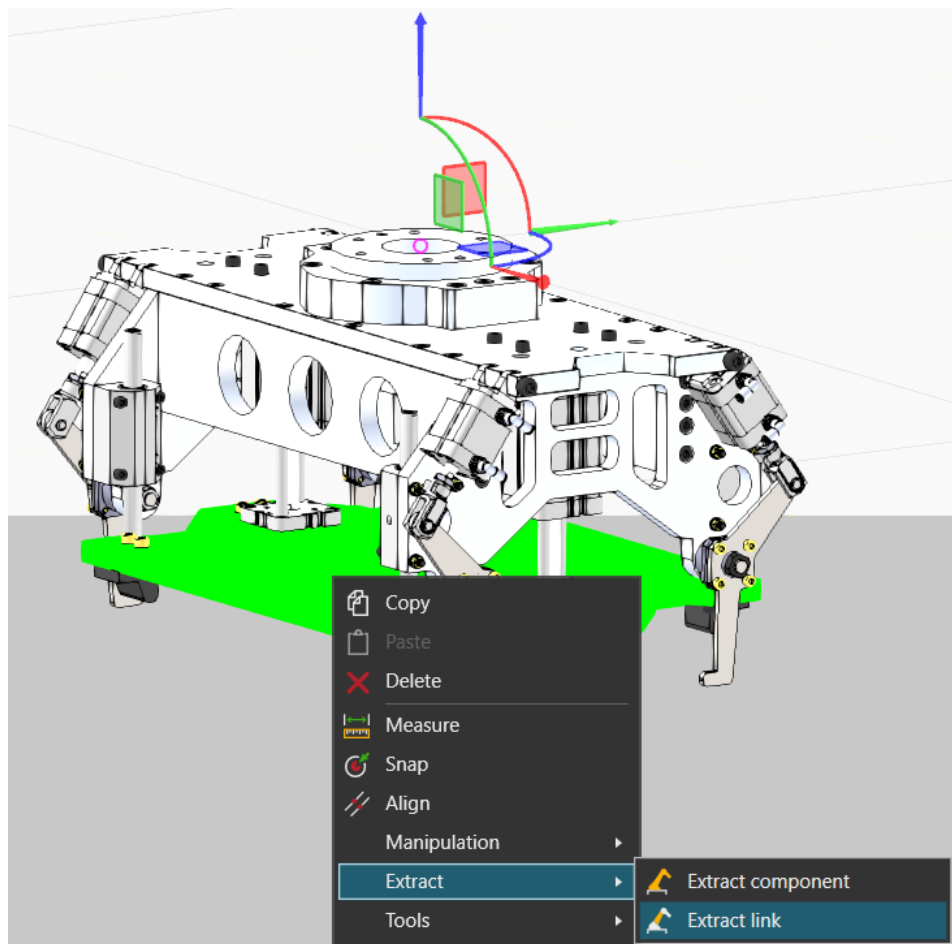
**P.1.3 pav.** Griebtuvo svirtelės judėjimo nuorodos sudarymas



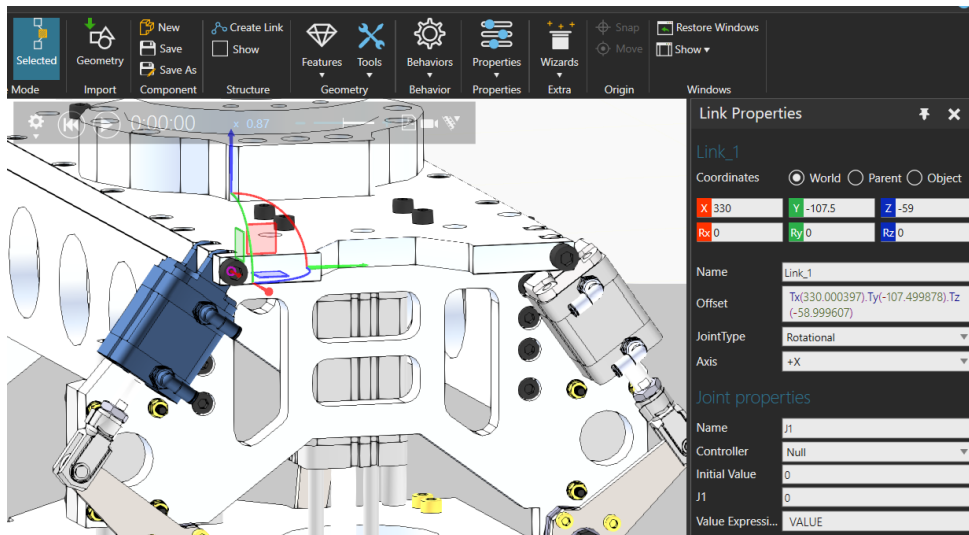
**P.1.4 pav.** Pneumatinio cilindro judėjimo nuorodos sudarymas



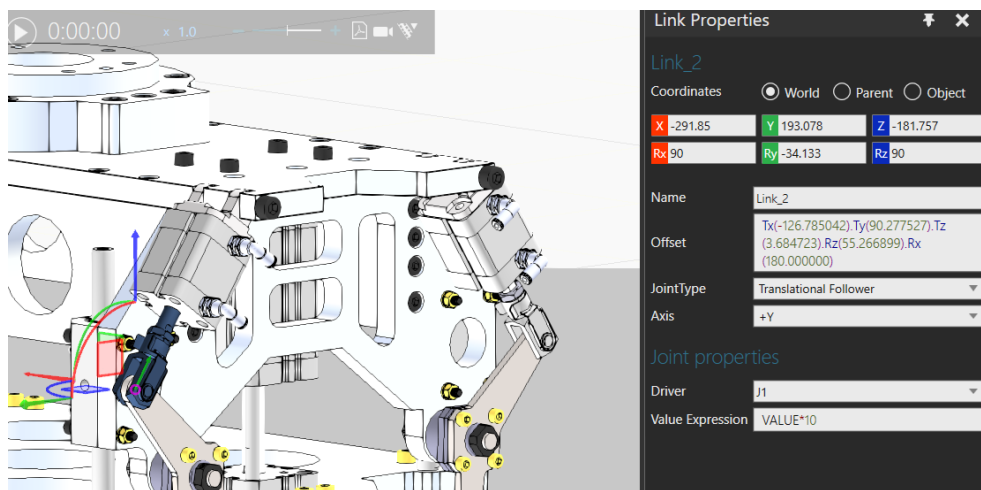
P.1.5 pav. Pneumatinio cilindro ašies judėjimo nuorodos sudarymas



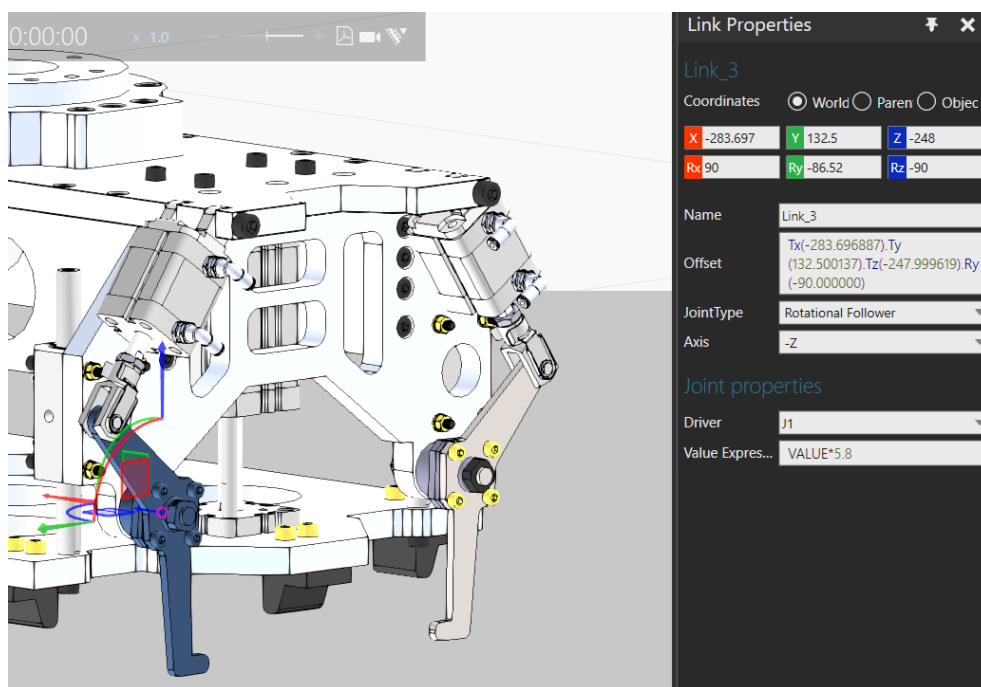
P.1.6 pav. Konteinerio fiksavimo plokštės judėjimo nuorodos sudarymas



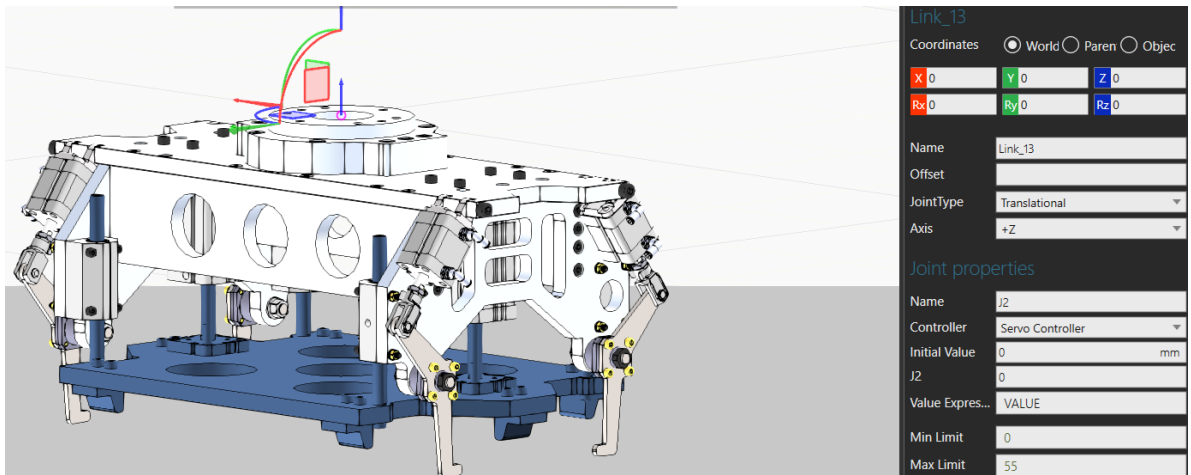
P.1.7 pav. Pneumatinio cilindro judėjimo ašies bei krypties reikišmių nustatymas



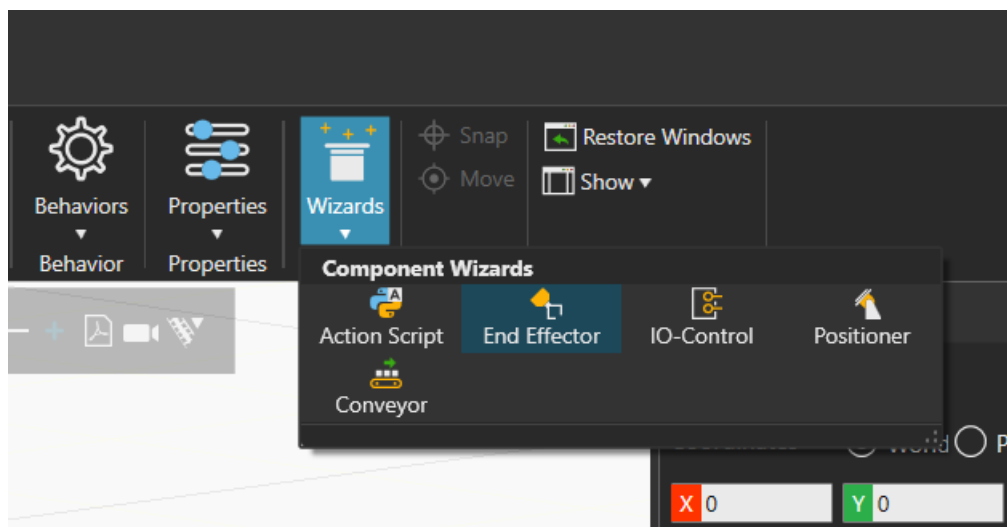
P.1.8 pav. Pneumatinio cilindro ašies krypties judėjimo reikišmių nustatymas



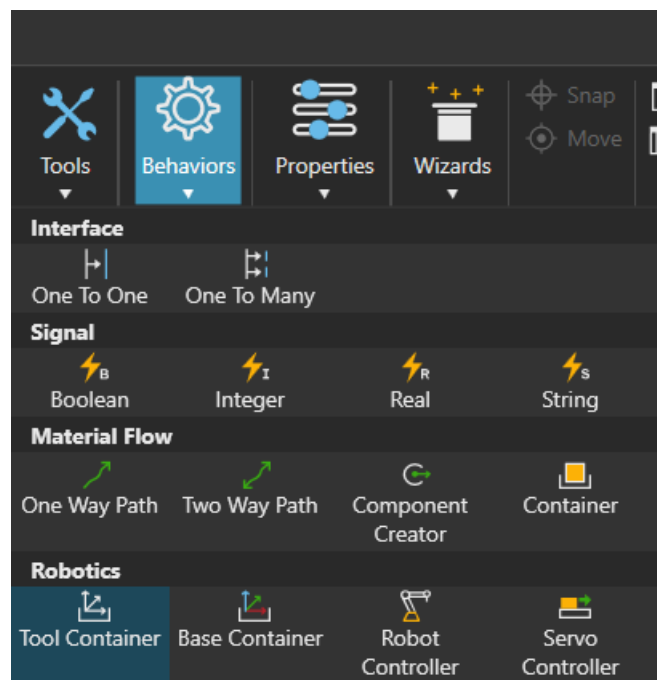
P.1.9 pav. Svirtelės judėjimo ašies ir krypties reikišmių nustatymas



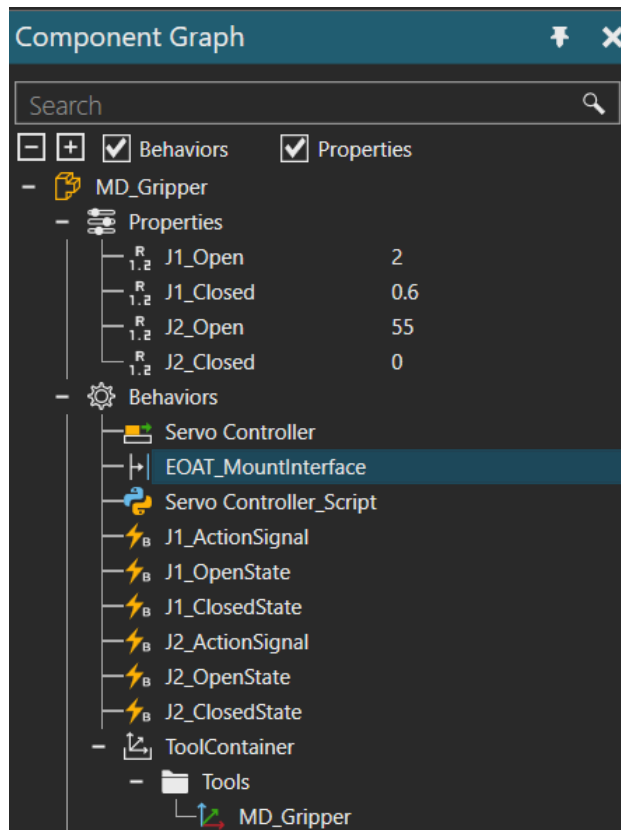
P.1.10 pav. Fiksavimo plokštės judėjimo ašies ir krypties reikšmių nustatymas



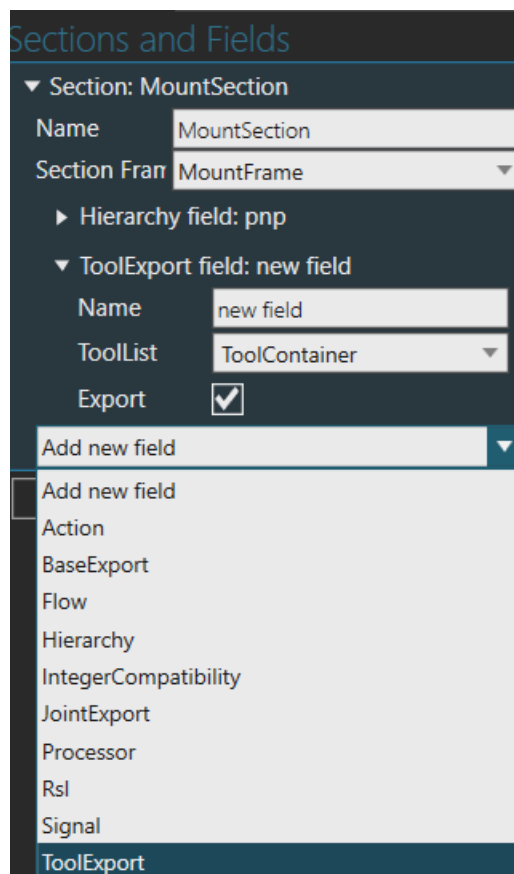
P.1.11 pav. Griebtuvo nusatymas galiniu darbo įrankiu detalės manipuliavimui



P.1.12 pav. Griebtuvo judėjimo krypčių funkcionalumo parinkimas

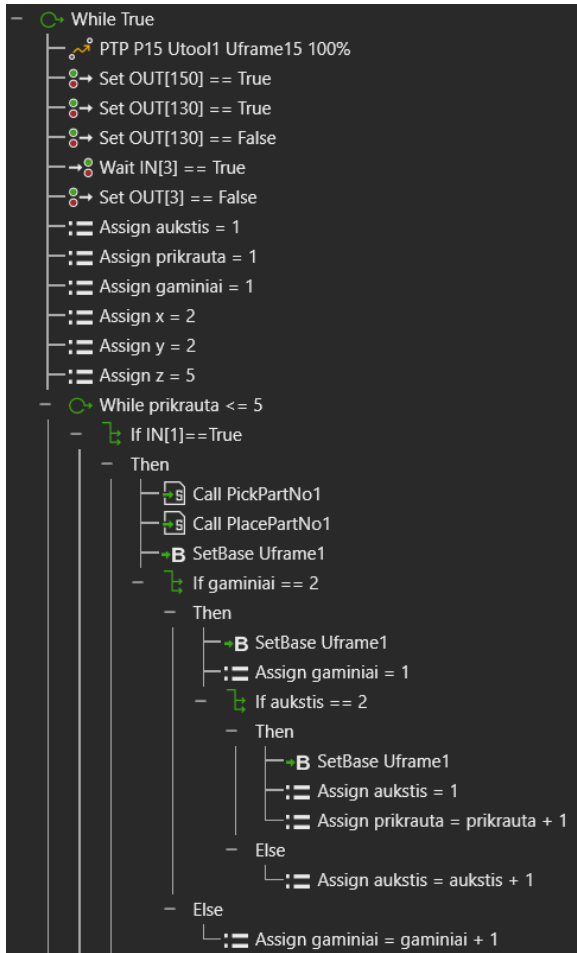


**P.1.13 pav.** Manipulatoriaus galinio darbo įrankio sąsajos parinkimas

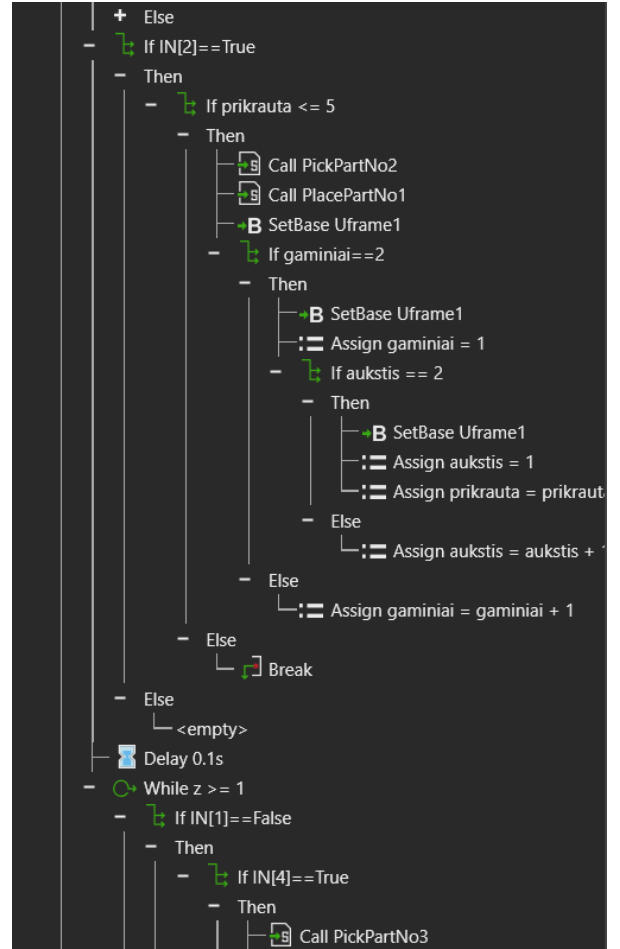


**P.1.14 pav.** Griebtuvo galutinis eksportavimas pririšimui prie manipulatoriaus

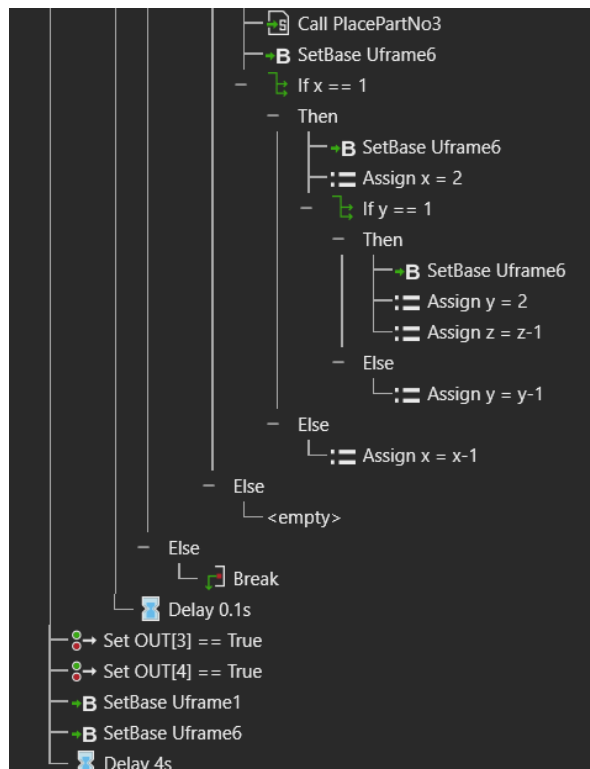
## 2 PRIEDAS. Roboto darbo programa, kuri sukurta Delfoi Robotics Premium 4.1



P.2.1 pav. Roboto darbo programa



P.2.2 pav. Roboto darbo programa (tęsinys)



P.2.3 pav. Roboto darbo programa (tęsinys)