



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Masinaehituse instituut
Tootmistehnika õppetool

MER70LT

Maksim Timofejev

**AUTOMAATLAO SÜSTEEMI TEHNILISE LAHENDI
VÄLJATÖÖTAMINE ROBOTKOMPLEKSILE
NORCAR BSB EESTI AS BAASIL**

Autor taotleb
tehnikateaduse magistri
akadeemilist kraadi

Tallinn
2015

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis dots. Martinš Sarkans'i juhendamisel

“.....” 2015. a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....” 2015. a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

Tootmistehnika õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....” 2015. a.

..... allkiri

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2015. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Maksim Timofejev, 124452MATMM

Õppekava: MATM

Eriala: Mehhanotehnika

Juhendaja: dotsent, Martins Sarkans

Konsultandid: Juhan Anvelt, arendusjuht, Norcar BSB Eesti AS, 56560450

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

Automaatlaosüsteemi tehnilise lahendi väljatöötamine robotkompleksile Norcar BSB Eesti AS baasil

The development of technical solution of automated warehouse system for robot cell in Norcar BSB Eesti Ltd

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Tehniliste ülesande püstitus. Ettevõtte üldiseloostus. Automaatsüsteemi ideekavand.	01.2015
2.	Paindootmissüsteemi (FMS) üldiseloostus. Ettevõtte robotkeevitusekompleksi kirjeldus.	02.2015
3.	Toodete etteandesüsteem (ideekavand). Toodete ja tootmismahu analüüs.	03.2015
4.	Laosüsteemi koormuse arvutus. Laosüsteemi valik, riulilifti valik, laadimisjaama valik.	04.2015
5.	Automaatne toodete tuvastamine. Kasutajaliides. Majanduslikud kalkulatsioonid.	05.2015

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:

Toodete etteandesüsteemi lahendi valik, toodete kaardistamine ja tootmismahu analüüs, laoriulite valiku kriteeriumid toodetele. Ideelahendi väljatöötamine laosüsteemile (üldine 3D mudel). Laosüsteemi koormatuse arvutused, süsteemi orienteeruva maksumuse ja tasuvuse kalkulatsioonid.

Täiendavad märkused ja nõuded: puuduvad

Töö keel: eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 18.05.2015

Töö esitamise tähtaeg 25.05.2015

Üliõpilane Maksim Timofejev /allkiri/ kuupäev.....

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

SISUKORD

EESSÕNA.....	5
1. SISSEJUHATUS	6
2. AUTOMAATLAO ISELOOMUSTUS	7
3. ETTEVÕTTE TOOTMISE ARENDUSE IDEELAHENDUS	8
4. AUTOMAATSÜSTEEMI IDEEKAVAND.....	12
4.1. Painttootmissüsteemi üldiseloostus	14
5. ETTEVÕTTE ROBOTKEEVITUSE KOMPLEKSI ÜLESEHITUS.....	18
5.1. Tööstusrobotite terminoloogia ja süsteemi komponendid	19
5.2. Keevitusprotsessi kirjeldus	22
5.3. Toodete etteandesüsteem	24
6. TOOTED JA TOOTMISMAHUD (2014 AASTA SEISUGA)	25
6.1. Laosüsteemi koormuse arvutus.....	31
7. LAOSÜSTEEM	32
7.1. Laotehnoloogia mõiste.....	32
7.2. Transpordisüsteem	34
7.2.1. Riiulilift.....	35
7.2.2. Laadimisjaam.....	46
7.3. Ladustamissüsteem	49
8. JUHTIMISSÜSTEEM	58
8.1. Automaatne toodete tuvastamine.....	58
8.2. Inimese-masina-liides	62
8.3. Automatiseeritud juhtimissüsteem.....	64
9. PAINDTOOTMISSÜSTEEMI TEHNILISED NÕUDED.....	70
10. PAINDTOOTMISÜSTEEMI OHUTUSNÕUDED	73
11. MAJANDUSLIK ANALÜÜS	76
KOKKUVÕTE	80
SUMMARY	81
KASUTATUD KIRJANDUS	82
LISAD.....	84
Lisa 1. Painttootmissüsteemi sõlmede ülevaade	85
Lisa 2. Painttootmissüsteemi asendiplaan.....	86
Lisa 3. Laoriuli üldvaatejoonis	87
Lisa 4. U-tõstelaua üldvaatejoonis	88
Lisa 5. Riiulilifti üldvaatejoonis	89

EESSÖNA

Antud magistritöö teema on püstitatud ettevõtte Norcar BSB Eesti poolt koostöös IMECC-i arendusekeskuse spetsialistidega. Teema on välja kasvanud ettevõtte otsesest vajadusest tõsta praeguse robotkeevitusekompleksi tootlikkust ning efektiivset kasutamist ja viia alla keevitusprotsessiga seotud tootmiskulusid. Magistritöö on tehtud Martinš Sarkans juhendamisel.

Avaldan tänu kõikidele, kes aitasid kaasa antud magistritöö valmimisele. Eraldi tahan avaldada suurt tänu minu magistritöö juhendajale Martinš Sarkans-ile abi ja nõustamise eest töö kirjutamise perioodil.

1. SISSEJUHATUS

Käesolev magistritöö on koostatud ettevõtte „Norcar BSB Eesti AS“ baasil. Magistritöö eesmärgiks on ettevõtte olemasoleva robotkeevituse- ja etteandekompleksi alusel välja töötada väikeseeria toodetele automatiseeritud tootmissüsteemi üldine ideelahendus, mis võimaldaks viia alla tootmiskulusid ja tõsta praeguse robotkeevitusekompleksi tootlikkust. Norcar BSB Eesti AS on keskmise suurusega ettevõtte, mis toodab väikelaadurite Agromatic detaile ja lisavarustust, farmitraktoreid Minkomatic ja karusloomakasvatusele farmitarvikuid. Norcar BSB Eesti AS asutati 1994. aastal. Ettevõtte põhitegevuseks on mehaaniliselt töötlusteel valmistatud detailide ja keeviskonstruktsioonide eksportimine Soome ematööstusele Norcar BSB OY. Ettevõtte asub Kohilas Prillimäel, kus tootmisele on kasutada 5750 m² pinda, mis võimaldab toota aastas ligikaudu 500 väikelaadurit (Agromatic) ja söödatraktorit (Minkomatic). Eksporditakse ligikaudu 90% toodangust ja seda peamiselt Soome. Toodete nimistus on ligi 1200 erineva konfiguratsiooniga ja keerukusega toodet. 2014. aastal valmistati ja tarniti üle poole miljoni detaili. 2015. aasta seisuga on Norcar BSB Eesti AS-is hõivatud 52 töötajat. Ettevõtte 2014. aruandeaasta müügitulu oli 3,6 miljonit eurot ja kasum 59 646 eurot.

Aasta-aastalt on müügis suurenenud väikelaadurite osakaal ja selle tõttu tekkis ettevõttes vajadus automatiseerida tootmisprotsesse, et võimaldada tootlikkuse tõusu. Ettevõtte on valmis investeerima ning on investeerinud (plasmapink, painutuspink, CNC treipink, robotkeevituse kompleks) uutesse tehnoloogiatesse ja lahendustesse efektiivsema tootmise nimel.

Tootmismahu tõusust tulenevalt tekkis vajadus täiendada olemasolevat koostamis- ja keevitusprotsessi. Ettevõttes toimiva robotkeevituse süsteemi baasil on vaja välja arendada automaatne tootmissüsteem, mis oleks sarnane paindootmissüsteemiga, mis omakorda võimaldaks vajalikku tootmisvõimsust väikeseeria toodetele. Antud magistritöös käigus uuritakse antud võimalust ning töötatakse välja tootmissüsteemi ideelahendus koos selle töö põhimõtete kirjeldusega. Samuti töötatakse välja tehnilised tingimused tootmissüsteemi konstruktiivse lahenduse loomiseks ning kirjeldatakse selle automaatjuhtimise süsteemi põhimõtteid. Majanduslikus osas teostatakse tootmissüsteemi majanduslik analüüs, mis sisaldab omahinna arvutust ning majandusliku tasuvuse hindamist.

2. AUTOMAATLAO ISELOOMUSTUS

Kuna antud töö üheks eesmärgiks on laosüsteemi valik ja ideelahenduse väljatöötamine ettevõtte tooteportfellile ja vajadustele vastavalt, siis käsitletakse antud peatükis automaatlaosüsteemide üldmõistet ning tuuakse välja võimalikud arendusvõimalused.

Automaatladudes teostavad erinevaid operatsioone robotitest ja vooluliinidest koosnevad kooslused ilma inimese osavõtuta. Operatsioonide järjestamist ja juhtimist koordineerib arvuti või vastav tööstuskontroller (*PLC – Programmable Logic Controller*).

Automaatladu koosneb mitmetest arvuti poolt juhitavatest süsteemist, mis võimaldavad automaatselt paigutada ja väljastada erinevaid tooteid/valmikuid defineeritud ladude asukohtadest.

Automaatladude süsteemid on loodud toodete ja detailide ladustamiseks/väljastamiseks nii tootmises, jaotusvõrkudes, hulgikaubanduses ning meditsiini uurimisasutustes. Algselt olid automaatlaod mõeldud väga suurte koormuste teisaldamiseks, kuid tehnoloogia arenedes ning vajaduste muutumisega on teisaldavad koormused/kogused vähenenud.

Antud süsteemid toimivad arvuti juhtimisel, tagades ka laos oleva inventari jälgimise. Kaupade/toodete kättesaamine teostatakse info edastamisega kauba/toote iseloomu ja koguse kohta. Samas keskarvuti määratleb toote asukoha ning järjestab väljastamise ajad. Automaatlaosüsteemi võib vajadusel kuuluda nii konveierid, kui ka AGV (*Automatically Guided Vehicle*), mis vajadusel liigutavad tooted sobilikku kohta laos.

Efektiivse automaatlaosüsteemi eeliseid on mitmed, kirjeldatud on peamised:

- efektiivne laosüsteem aitab kokku hoida kulutusi, võimaldades vähendada mittevajalike toodete kogust laosüsteemis ning parandades laos sisu seisukorda. Automatiseeritud protsessi tõttu aitab see paremini laopinda ära kasutada ning muuta ladustamine tihedamaks;
- automatiseerimine vähendab tööjõukulusid läbi madalamate nõuete tööjõule ning suurendab üldist turvalisust;
- võimaldab modelleerida ja juhtida toodete paremat paigutamist lattu grupeerides need vastavalt tooteportfellile või vajadusele;
- võimaldab jälitada ladustatud toodete asukohta, määratleda nende tarnijaid ning nende ladustamise aega. Analüüsides antud infot on võimalik ettevõttel juhtida oma toodete mahtu/koguseid ning planeerida tootmistegevusi.

3. ETTEVÕTTE TOOTMISE ARENDUSE IDEELAHENDUS

Ettevõttes Norcar BSB Eesti AS on kavas laiendada tootmist selliselt, et oleksid kaetud nii toodete punktimine (koostamine), transport, ladustamine kui ka lõplik keevitamine. Selle arenduse esimese etapi läbiviimiseks on plaanis välja arendada automaatlao süsteem, mis teenindaks olemasolevat keevituse robotkompleksi.

Tervikliku süsteemi väljatöötamisel tuleb silmas pidada järgmiseid etappe:

- toorikute hoiustamine ja transport koostamise kohale;
- toorikute kassetide lahendused;
- pooltoodete (osaliselt koostatud või punktitud) hoiustamine ja transport;
- pooltoodete ladustamine enne lõplikku keevitamist;
- pooltoodete transport keevituse robotkompleksi;
- valmistoodete transport keevituse robotkompleksist ja ladustamine.

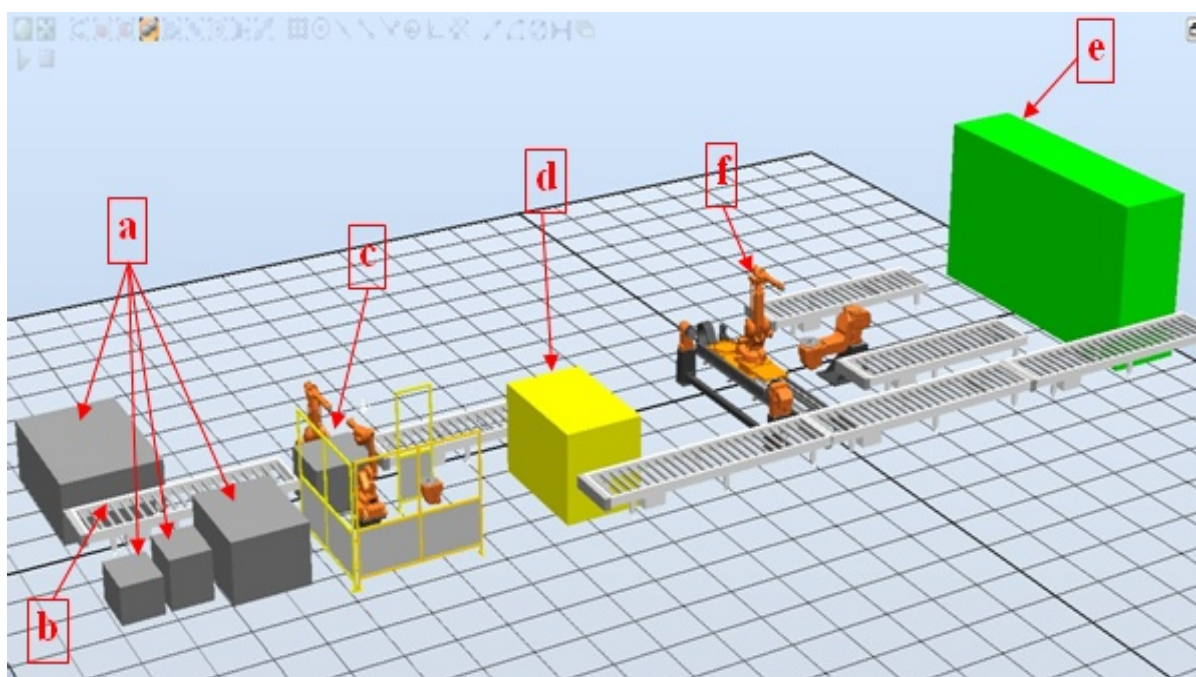
Selel 3.1 on toodud ideelahendusena keevitatavatele toodetele loodud lahendus koos kahe robotkompleksiga, transportöörlintidega ning automaatlao süsteemiga. Antud sele annab ülevaate kavandatavast arenduse ulatusest antud ettevõttes, samuti on toodud olemasolev robotkeevituse kompleks Selel 3.1, f.

Koostamise protsess on planeeritud kulgema järgnevalt:

- toote toorikud (detailid) tuuakse kohale vastavates konteinerites (Sele 3.1, a);
- vastavalt vajadusele toimub toorikute teisaldamine (käsitsi/manipulaatoriga) transportöörlindile (Sele 3.1, b, rullteed, lint), mis viib need esimesse robotkompleksi;
- esimene robotkompleks on mõeldud toodete punktkeevituseks. See võimaldab etteantud detailid vastavalt tehnoloogiale omavahel kokku komplekteerida ning need omavahel punktõmblusega liita (Sele 3.1, c);
- kui pooltoode on koostatud, siis teisaldatakse see transportöörlindi (rulltee, lint) abil vahelattu (Sele 3.1, d). See võimaldab komplekteerida vajaliku koguse alamkooste või pooltooteid enne kui need lõplikku keevitusse liiguvad;
- pooltoodete lattu kogutakse kokku ühele tootekomplektile kuuluvad alamkoostud. Sellisel juhul tagatakse, et korruga valmib vajalik komplekt (näiteks laaduri esiosa, tagaos, poom, adapter, tööriist). Seeläbi on võimalik juurutada Lean tootmise põhimõtteid;
- enne lõplikku keevitamist ladustatakse tootekomplekt automaatlattu (Sele 3.1, e).

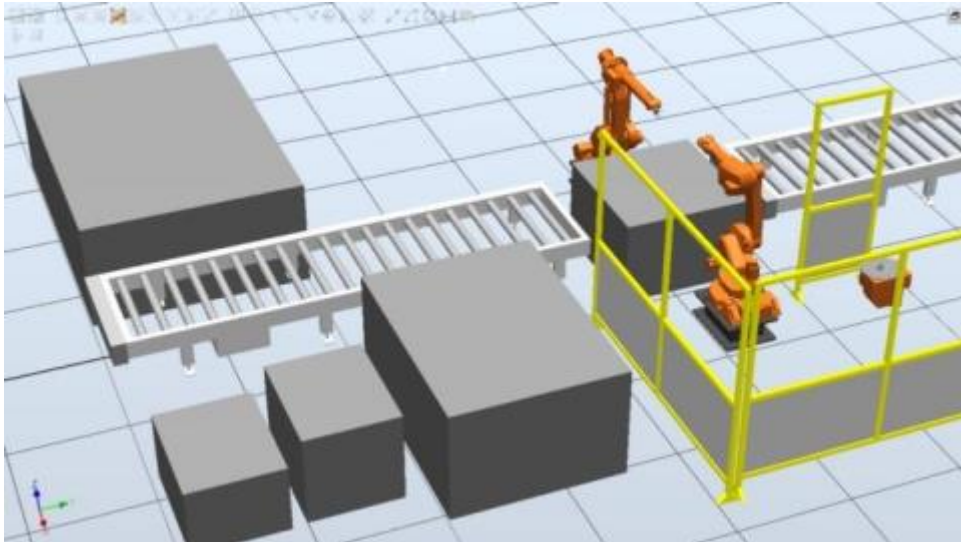
Antud ladu on mõeldud ainult keevituse robotkompleksi teenindamiseks. Vastavalt tootmiskäsule liigutatakse laoroboti abiga kokku punktitud toode keevituse robotkompleksi (Sele 3.1, f). Antud magistritöös töötatakse lahendus just selle operatsiooni teostamiseks (automaatlaos lahendus);

- lõplik keevitamine toimub keevituse robotkompleksis. Seejärel toode transportitakse tagasi lattu, kasutades automaatset laorobotit. Automaatladu peab võimaldama keevitusrobotile piisava koguse tööd, et see saaks töötada kolmes vahetuses. Sõltuvalt toodete tüübist ja gabariitidest tuleb välja töötada sobilik laosüsteemi ideelahendus.



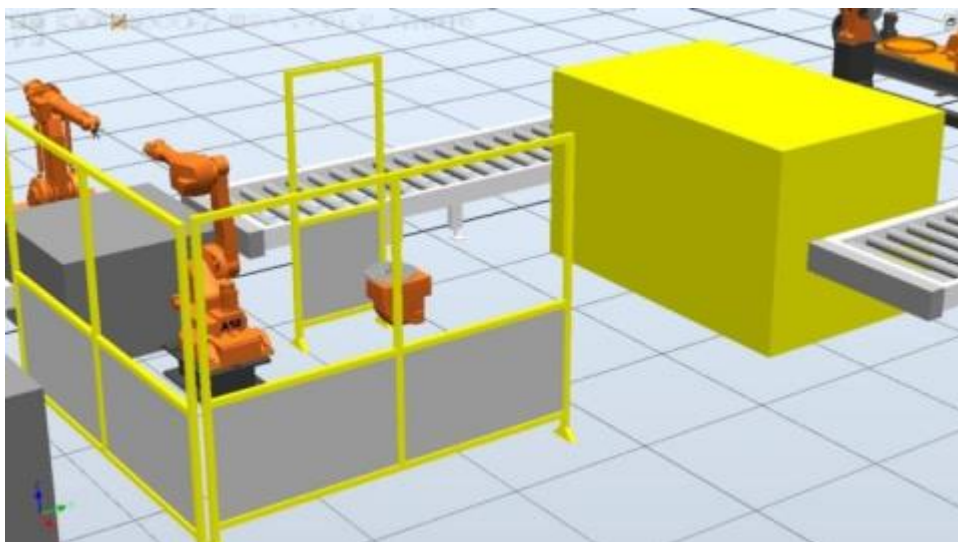
Sele 3.1. Üldine ideelahendus punktimise ja keevituse kompleksile

Selel 3.2 on toodud toodete toorikute kassetid (erinevat tüüpi detailidele ja erineva suurusega detailidele), rulltee detailide transportimiseks ja robotkompleks alamtoodete/pooltoodete koostamiseks ja kokku punktimiseks. Kassetide konfiguratsioon sõltub detailide kujust (plaat, ruumiline, silindriline, puks jms) ning nende suurusest. Kasseti lahendused tuleb välja töötada vastavalt ettevõtte tooteportfellile ning vastavalt robotil keevitamiseks sobilike toodete valikule.



Sele 3.2. Toodete kassetid ja robotsüsteem alamkoostude punktimiseks

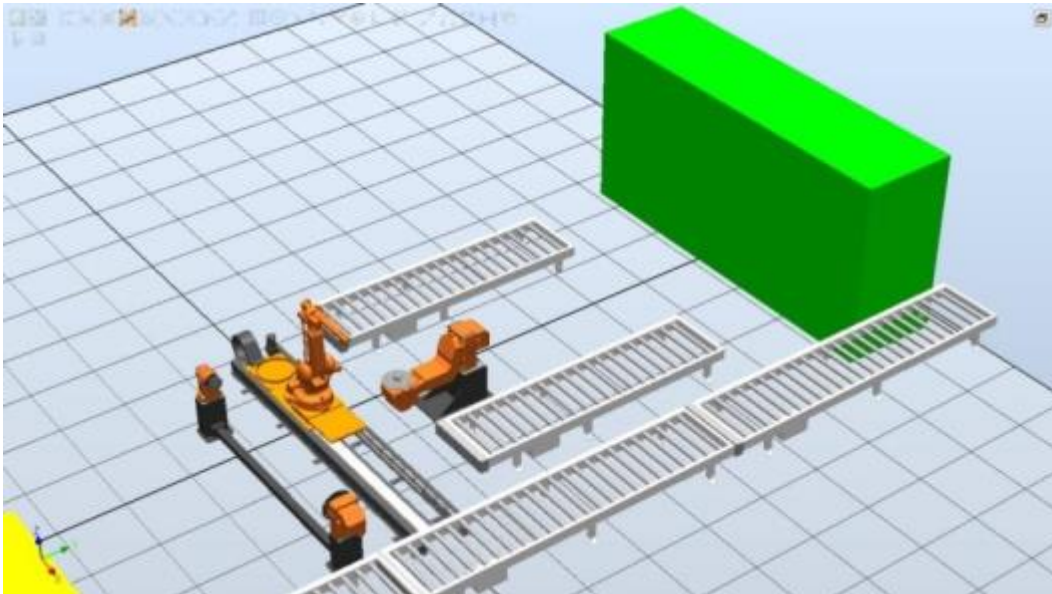
Selel 3.3 on toodud välja robotkompleks toodete punktimiseks, rullteed ja vaheladu pooltoodete ladustamiseks. Robotkompleks võimaldab alamkoostude koostamist ja punktimist ning vajadusel saab seda kasutada ka lihtsamate toodete lõplikuks keevitamiseks. Seda juhul, kui kompleks ei ole piisavalt koormatud. Antud lahenduse peamine idee seisneb selles, et vastavalt tellimusele koostatakse toodete komplekt, mis enne lõplikku keevitamist ladustatakse. Sel viisil on võimalik tootmist paremini ajastada.



Sele 3.3. Robotsüsteem alamkoostude punktimiseks ja vaheladu hoiustamiseks

Selel 3.4 on toodud keevituse robotkompleks, automaatlado ja transportöörid. Automaatlao lahendus sõltub otseselt ettevõtte tooteportfellist ning robotkeevituseks sobilike toodete olemasolust. Toodete ladustamine, etteandmine ja äraviimine tuleb planeerida vastavalt

tootmiskogustele ning silmas pidades roboti koormatust. Ladu peab tagama, et keevitusrobotile jätkuks tööd vähemalt kolmeks vahetuseks.



Sele 3.4. Automaatlado ja keevituse robotkompleksi lahendus

Kuna kogu arenduse ülesanne on väga töömahukas, siis antud töös keskendatakse lao osale, mis on toodud Selel 3.1 positsioonil e. Seda peamiselt sellepärast, et see mõjutab juba olemasolevat süsteemi, robotikeevituse kompleksi Selel 3.1 positsioonil f, esmajärjekorras kõige otsesemalt. Teiste sõlmede arendamist on plaanis jätkata tulevikus, kui automaatlao sobilikkus on leidnud rakendust ja otstarbekus tõestatud. Selel 3.4 toodud ideelahendit hakataksegi antud töös edasi arendama.

4. AUTOMAATSÜSTEEMI IDEEKAVAND

Ettevõtte toimiva süsteemi baasil on vaja välja arendada automaatne tootmissüsteem, mis oleks sarnane paindootmissüsteemiga, mis omakorda võimaldaks vajalikku tootmisvõimsust väikeseeria toodetele. Hetkel toimiva robotkeevituse süsteemi töö toimub ühes vahetuses. Lõpliku eesmärgi saavutamiseks on plaanis luua süsteem, mis oleks võimeline tootma ööpäevaringselt ilma inimese vahele segamiseta (vahetu osavõtuta).

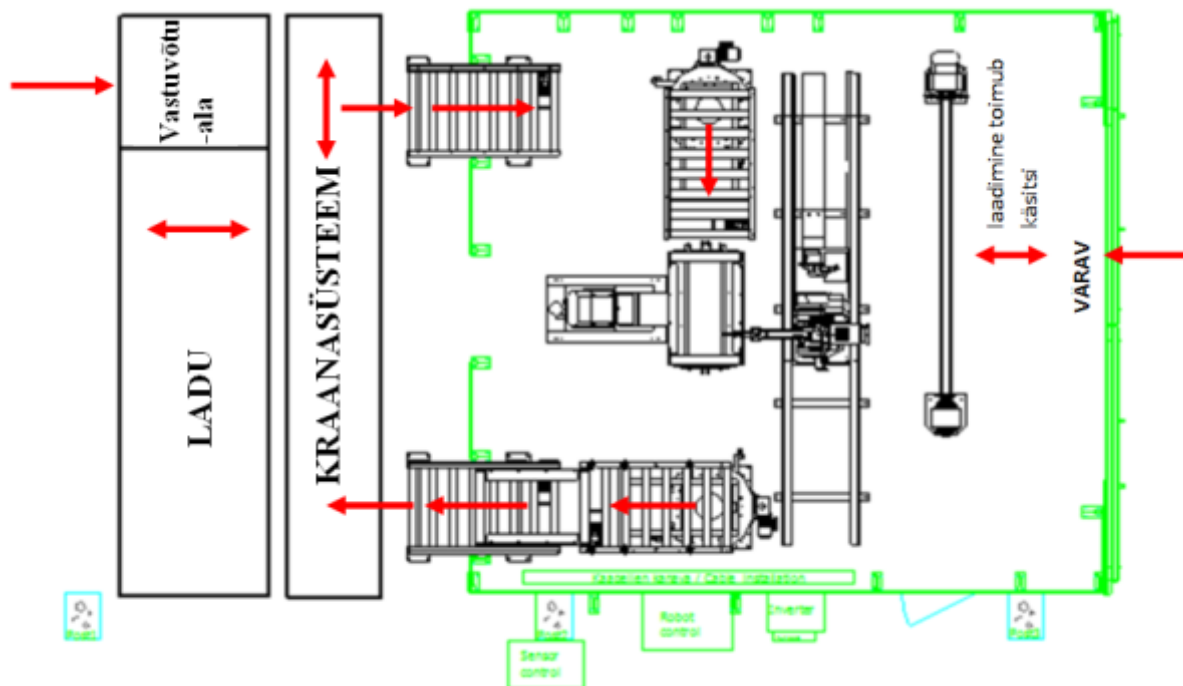
Praeguse ettevõtte robotkeevituskompleks koosneb keevitusrobotist ja etteandesüsteemist (rullkonveierid). Paindootmissüsteemi lahenduse jaoks tuleb eraldi välja arendada laosüsteem ja kogu süsteemi juhtimiseks vajalik arvutijuhtimissüsteemi ideelahendus.

Laosüsteem peab olema piisavalt kompaktne ja tootlik, lihtne teenindada ja võimalikult madala maksumusega. Selle eesmärgi saavutamiseks tuleb valida või välja arendada järgmised seadmed (sõlmede lahendused):

- laorobot;
- laoriul;
- laadimisjaam.

Paindootmissüsteemi asendiplaan on väga oluline kogu süsteemi võimekuse maksimeerimises ning see planeeritakse tootmissüsteemi kavandamisel esimese tegevusena. Asendiplaaniga määratakse kindlaks, kuidas paindootmissüsteemis materjale, detaile ja alamkooste tootmisoperatsioonide jooksul kõige tõhusamalt liigutatakse.

Alljärgneval seel 4.1 on kujundatud paindootmissüsteemi asendiplaan koos materjalivooga.



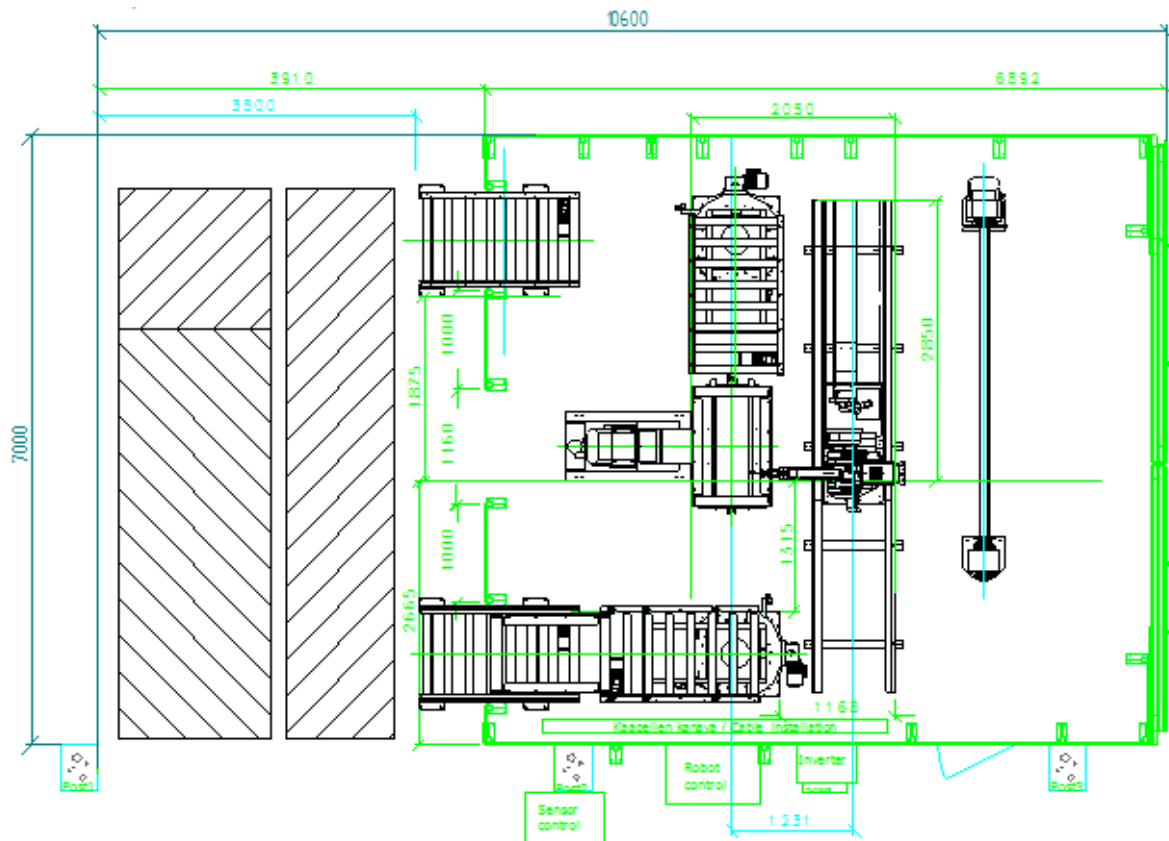
Sele 4.1. Paindtootmissüsteemi asendiplaani kavand koos materjalivoo liikumistekonnaga

Tarkvaralise lahenduse osas on olemas robotsüsteemi programmeerimise keskkond (ABB RobotStudio), robotil tootmise ja hoolduse haldamise keskkond ning algoritmid robotile programmide loomiseks.

Vaja on robotlao juhtimise algoritmi, inimese-masina-liide (*HMI-Human Machine Interface*) süsteemi arendust, selle sidumist kogu süsteemiga ning tootedetailide kassett-konteinerite jälgimissüsteemi. Samuti on vajalik laos oleva roboti arendus ning toodete ja detailide automaatse tuvastamise süsteem.

Tarkvaraliselt peaks neid süsteemi osasid kokku siduma ühtne haldamissüsteem, mis võimaldaks programmide laadimist, süsteemi seadistamist, hoolduse arvestamist ja tootmise planeerimist/jälgimist.

Selel 4.2 on toodud asendiplaani koos olulisemate mõõtmetega, mis annab antud ülesande lahendamiseks ette piirangud ja nõuded, et arendatav süsteem sobiks kokku olemasolevaga.



Sele 4.2. Asendiplaani mõõtmetega

4.1. Paindtootmissüsteemi üldiseloomustus

Mingis mõttes võib ettevõttes loodavat süsteemi käsitleda kui paindtootmissüsteemi, kuna see koosneb samuti protsessiseadmetest (keevituse robotkompleks), laost ja transpordi seadmetest.

Integratsioon tähendab koostisosadega kombineerimist terviku saavutamise eesmärgil. Integratsiooni mõistet saab üle kanda ka tootmisel. Sel juhul mõistetakse integratsiooni all üksikute allüksuste niisugust sidusust, mis võimaldab lühendada tootmistsükli kestust ning automatiseerida tootmist. Integratsiooni tasemed, lähtudes tootmisseadmetest on kujutatud seel 4.3 [1]

Kui vaadata hetkel ettevõtte toimivat süsteemi (Sele 4.2), lähtudes tootmisseadmetest, võib seda käsitleda kui töötluskeskust. Antud hetkel keevituse robotkompleks teostab automatiseeritud tehnoloogilist keevitusprotsessi, ning seal on olemas nii automaatne toodete paigaldus kui ka positsioneerimine. Samuti on robotil olemas mõõtmisfunktsioonid, mille kaudu korrigeeritakse keevitusprogrammi. Toimub ka toodete automatiseeritud etteandesüsteem. Selles projektis üritatakse liikuda järgmisele tasemele,

paintootmissüsteemi poole. Paintootmissüsteemi tasemel lisatakse juurde järgmised automatiseeritud operatsioonid:

- toodete transport ja ladustamine, seda võib lugeda automaatlaosüsteemiks;
- info ja materjalide liikumise juhtimine, seda teostatakse juhtimissüsteemi kaudu.

Automatiseerituse tase	Integreerituse tase →		
	Automatiseeritud töötusprotsess	Automatiseeritud tehnoloogiline protsess	Automatiseeritud tootmisprotsess
	Ühte liiki operatsioonid: <ul style="list-style-type: none"> • paigaldus • positsioonimine • instrumendivahetus • mõõtmine 	Eri liiki operatsioonid: <ul style="list-style-type: none"> • paigaldus • positsioonimine • instrumendivahetus • mõõtmine • detailivahetus 	<ul style="list-style-type: none"> • Töötlemine <ul style="list-style-type: none"> ○ paigaldus ○ positsioonimine ○ instrumendivahetus ○ mõõtmine ○ detailivahetus • Detailide ja instrumentide transport ja ladustamine • Info ja materjalide liikumise juhtimine
	Tööpink	Töötuskeskus	Paintootmissüsteem

Sele 4.3. Tootmisoperatsioonide integratsioon [1]

Kui vaadata süsteemi lähtudes protsessist võib määratada, et hetkel on tegemist teise integreerituse tasemega. Tootmisprotsessi integratsiooni tasemed on kujutatud seel 4.4.

Teine tase koosneb tööpingist, laost ja transpordivahendist. Tööpingiks võib lugeda keevitusrobotit, antud hetkel on olemas manuaalne ladu, transpordivahendiks kasutatakse etteandesüsteemi, mis koosneb rullteedest. Kavas on liikuda kolmanda taseme poole, see tähendab, et on vaja automatiseerida ladu ja transpordivahendid. Lisaks tuleb luua tootmise juhtimise võimalus läbi kasutajaliidese.

Automatiseerituse tase	Tootmise integreerimine →				
	Integreerituse tase 1	Integreerituse tase 2	Integreerituse tase 3	Integreerituse tase 4	Integreerituse tase 5
	Tööpink	Tööpink Laod Transpordi- Vahendid	Tööpink Laod Transpordi- vahendid Tootmise juhtimine	Tööpink Laod Transpordi- vahendid Tootmise juhtimine Tootmise Plancrimine	Tööpink Laod Transpordi- vahendid Tootmise juhtimine Tootmise plancrimine Tootmise ettevalmistamine
	Operatsioon	Valmistusprotsess		Tootmisprotsess	
	Tehnoloogiline marsruut			Tootmisprotsess	
	Raalintegreeritud tootmine				

Sele 4.4. Tootmisprotsessi integratsiooni tasemed [1]

Antud eesmärkide saavutamiseks (integreerituse taseme tõus) on oluline käsitleda arendatavat süsteemi tervikuna, et tagada integreeritus erinevate süsteemiosade vahel.

Integratsiooni on otstarbekas vaadelda vähemalt kolmest aspektist lähtudes:

1. Erinevate tootmisega seotud alamsüsteemide (valmistamine, transport, ladustamine, kontroll) koostoime ühtse tootmissüsteemi raames.
2. Erinevate tootmisallüksuste (valmistamine, koostamine jms) integratsioon üheks tervikuks tootmisettevõtte raames.
3. Tootmise ettevalmistamise ja vahetu tootmise ühendamine ühtsesse arvutivõrku. [1]

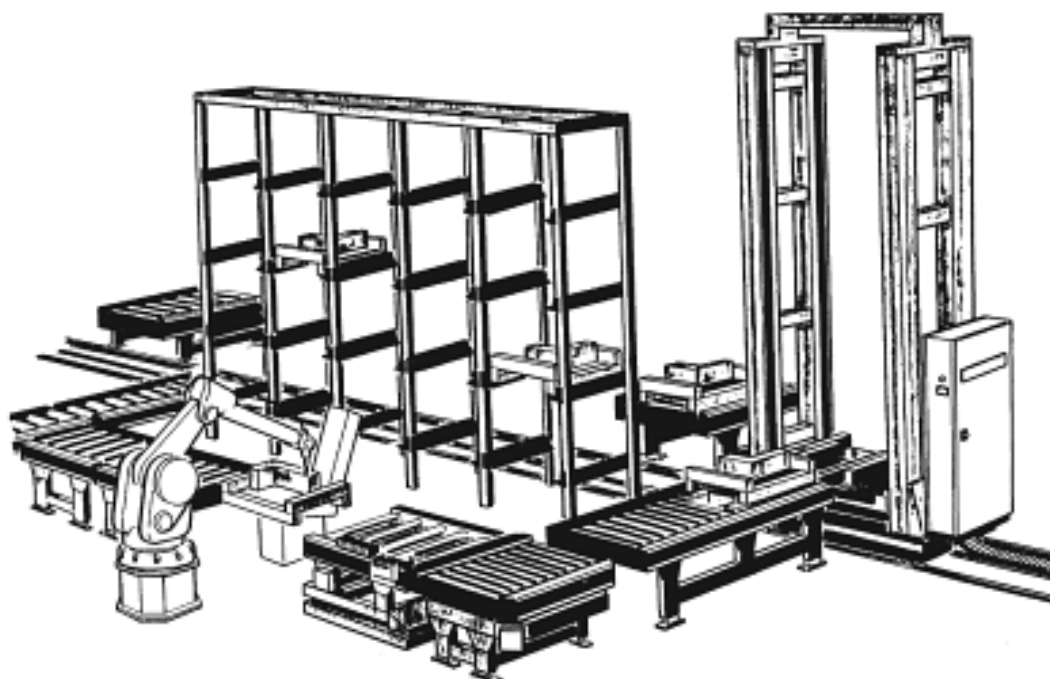
Integratsiooniks on ka tootmisoperatsioonide kontsentreerimine ühte tootmiseseadmesse kui tervikusse ning selle täiendamine mitmesuguste automatiseerimisvahenditega, mis võimaldavad tootmiseseadmel teatava aja vältel iseseisvalt funktsioneerida. Tootmiseseadmete ehituses on seda mõttekäiku kasutatud laiadaste tehnoloogiliste võimalustega seadmete-töötluskeskuste ja paindootmismoodulite projekteerimisel ja valmistamisel. [1]

Raalintegreerituks (*Computer Integrated Manufacturing - CIM*) nimetakse tootmist, milles kõik tootmisettevõtte lülid ja tegevused kasutavad infotehnoloogiat (arvuteid, sidetehnikat, automatiseerimisvahendeid) ning on ühtse arvutisüsteemi kaudu integreeritud tõhusalt koostöömivaks tervikuks. [1]

Paindootmisüsteem pakub tootmisettevõttele märkimisväärset kuluefektiivsust ja paindlikkust detailide tootmisel, pakub paindlikku tootmisvõimsust nii väikeseeria toodetele, kuid sobib ka masstootmiseks.

Paindootmissüsteem (*Flexible manufacturing system - FMS*) on ühest või mitmest masinast (töötlemiskeskused, pesemisjaamad jne) koosnev kompleks, mis on integreeritud automaatse transpordi- ja laosüsteemiga. Transpordisüsteem tegeleb materjali ja töölaudade paigutusega töötlemiskeskuste ja lao vahel. Kõik liikumised on automatiseeritud. Kogu süsteem on juhitud arvuti tarkvara abil, mis võimaldab hõlpsalt tuua sisse erinevaid muudatusi tootmises, häirimata käimasolevat tööd. Paindootmissüsteemi üheks olulisemaks omaduseks on võime kohaneda erinevate muudatustega nii tootmisprotsessis kui ka tootmismahus. Seda nimetatakse süsteemi paindlikkuseks. [2]

Paindootmissüsteemi põhimõtteline asendiplaan on toodud seel 4.5.



Sele 4.5. Paintootmissüsteemi põhimõtteline asendiplan [3]

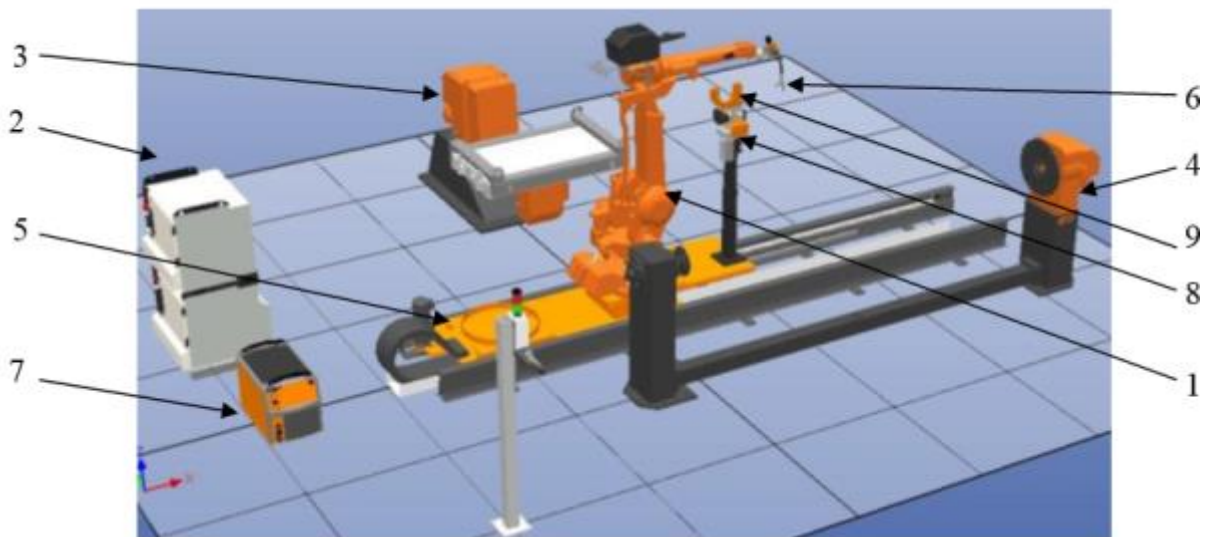
Paintootmissüsteemi asendiplan on väga oluline kogu süsteemi võimekuse maksimeerimises ning see planeeritakse tavaliselt tootmissüsteemi kavandamisel esimese tegevusena. Asendiplaniga määratakse kindlaks, kuidas paintootmissüsteemis materjale, detaile ja alamkooste tootmisoperatsioonide jooksul kõige tõhusamalt liigutatakse.

Paintootmissüsteemi asendi valikul lähtutakse tavaliselt eesmärgist toota keskmises koguses erineva nomenklatuuriga keerukaid tooteid. Sellistele tingimustele vastab kõige paremini järjestikune asetusplan, mille liikumispõhimõte järgib võrgu ülesehitust. [1, 2]

5. ETTEVÖTTE ROBOTKEEVITUSE KOMPLEKSI ÜLESEHITUS

Ettevõtte robotkeevituskompleks koosneb robotmanipulaatorist (edaspidi keevitusrobot), manipulaatori kontrollerist, roboti rööbasteest (track), L-tüüpi positsioneerist, keevituspüstolist, keevitusseadmest ja rakise lukustussüsteemist.

Robotkeevituse kompleksi 3D mudel on loodud ABB RobotStudio keskkonnas. 3D mudel visualiseerib, kuidas näeb välja ettevõttes asuv robotkeevituse kompleks ning näitab sinna kuuluvate seadmete asukohad. See on abiks, et paremini ette kujutada tulevast tootmissüsteemi üldkontseptsiooni. Robotkeevituse kompleksi 3D mudel ja kompleksi koostiosad on kujutatud järgneval seel 5.1.



Sele 5.1. Robotkeevituskompleksi paigutus (RobotStudio ekraanitõmmis), 1-robot DOF6, 2-roboti juhtarvuti, 3- L-positsioneer DOF2, 4- grill-positsioneer DOF1, 5- lineaar-positsioneer DOF1 (rööbaste, track motion, roboti positsioneer), 6- tööriist, 7- keevitusseade, 8- puhastusseade, 9- kalibreerimisseade

Roboti juhtseade ühendatakse toiteallikaga, kusjuures robotile otseselt toitepinget ei anta, vaid servomootorite toited tulevad juhtkaableid mööda.

Keevitusseadme traadi etteandekiirus ja keevitusparameetrid tagatakse andmevahetuskanali vahendusel. Roboti juhtsüsteem võimaldab kasutada keevitusseadmes ettenähtud parameetreid, nii et keevitusprogrammis oleks reaalne pinge ja voolutugevus.

Keevituspõleti puhastusseade koosneb pöörlevast freesist (suruõhumootor, millega käitav frees puhastab põletit), selle lukustist (põleti lukustatakse puhastamise ajaks fikseeritud asendisse) ja määrdepihustusseadmest (pärast puhastamist määratakse põletit keevispritsmete

külge jäämise vähendamiseks). Määrdepihustus tehakse monostabiilse 3/2 suunaventiliga, mis saab signaali robotilt. [4]

Pöördlaua juhtimine oleneb selle teostuse valikust. Näiteks allub servolaud robotile, nagu ükskõik milline roboti mootoritest. Kasutades kahetasemelist lihtsalt töölauda, kus teisel pool roboti töösooni paigaldatakse roboti tööajal uut toorikut, on võimalik suurendada süsteemi tootlikust. Süsteemi juhtpaneeli peab kindlasti olema avariiseiskamisnupp töö peatamiseks. Turvavärava asemel on otstarbekas kasutada valgusandureid (valguskardinaid) või turvamatte. [4]

Instrumendipunkt on keevitusrobotitel keevitustraadi otsas 10...15 mm kaugusel keevituspitsist. Praktikas annab see võimaluse, et roboti programmeerimisel arvutatakse liikumiskiirus instrumendipunkti suhtes. Z-liikumine on keevistraadi pikisuunas. Instrumendipunkti kontrollimiseks on otstarbekas varustada keevitussõlm mõõteotsakuga, mis paigutatakse näiteks põleti puhastusseadmesse, kus see paikneb robotist eraldi. Kasutaja programmeerib juhtprogrammi, kus robot käib mõõteotsakut puudutamas kõikides põhitelgede suundades (X, Y, Z). Uuemates lahendustes on olemas ka tööriista automaatkalibreerimise seade, kus kontrollitakse keevitustraadi otsa asukohta ja joondust. [4]

5.1. Tööstusrobotite terminoloogia ja süsteemi komponendid

Manipulaator (*manipulator*) - Masin või robotmehhanism, mis tavaliselt koosneb seeriast lülidest, mis on jätkulised või libisevad teineteise suhtes suhteliselt, eesmärgiks objektide (detailide või tööriistade) kinni hoidmine ja / või liigutamine. Manipulaatoril on tavaliselt mitu vabadusastet. Manipulaator on operaatori, programmeeritava elektroonilise kontrolleri või mõne loogikasüsteemi kontrolli all. [5]

Kaheteljeline manipulaator (L-positsioneer) tagab parema keevitusasendi saavutamise ning rööbastee (*track*) suurendab roboti üldist tööulatust.

Positioneer (*positioner*) – Seade, mis on ettenähtud robotiga koos töötama, hoides detaile kinni ja andes detaile ette robotile ning liigutades neid vastavalt roboti vajadusele oma liikumispiirkonna ulatuses. See on robotsüsteemi täiendavaks seitsmendaks vabadusastmeks. [5]

Robotiga keevitusliin koosneb järgnevatest osadest:

Tööriist (*tool*) – Seadeldis, mis ühendatakse roboti käsivarre otsa ja mis teostab tööoperatsioone. (Näiteks: käsi, haarats, keevituspõleti, kruvikeeraja jne.) [5]

Kontrollseade, Juhtseade (*control device*) – Erinevat tüüpi kontroll- või juhtseadeldis, mis tagab inimese sekkumise võimaluse, kontrollimaks robotit või robotsüsteemi. (sh hädaseisaku lüliti, stardi lüliti või muude valikute lülitid.) [5]

Kontroller (*controller*) - Informatsioonitöötluse seadeldis, mille sisenditeks võivad olla otsitavad ja mõõdetud asukohad, kiirus või teised vastavad muutujad ja mille väljunditeks võivad olla ajamite juhtsignaalid mootoritele või täiturmehhanismidele. [5]

Vabadusastmete arv (*degrees of freedom, DOF*) – Roboti sõltumatute liigendite arv, mis võimaldavad robotil liigutada täiturit nõutavate liikumiste järjekorras. [5]

Ettevõtte robotkompleksi põhikomponendid on toodud tabelis 5.1.

Tabel 5.1. Ettevõtte robotkompleksi põhikomponendid

Nimetus	Mudel	Tootja	Seeria number	Märkused
Robot Sele 5.1-1	IRB2400 Robot variant IRB2400 L, tüüp B	ABB	24-51556	Tellimus AB 27157 mass 380 kg
L-positionsioneer Sele 5.1-3	IRBP 750A artikkel 3HEA 801053-001		447-638-0003	mass 957 kg + laud
Kalibreerimis- seade Bulls eye Sele 5.1-9	TC96		4494	mass 30 kg
Grill- positionsioneer Sele 5.1-4	IRBP 750L artikkel 3HEA 801018-001		447-638-0034	mass 262 kg + rakis
Esab jahuti	OCE 2H	Esab	341-620-2883	Toote no. 0414191881
Keevituslaldi Sele 5.1-7	Esab MigRob 500		610-638-9213	mass 50 kg
Elektrikapp väike	ABB Safety IF A/L/S		603-638-0010	artikkel 3HEA 802173-001
Roboti juhtkapp (2 osa) Sele 5.1-2	tüüp IRC5 M2004 Drive system 2E2C2B		24-51556	Toodetud 03.08.2006 mass 150 kg
	tüüp IF 500-750A		603-641-0004	artikkel 3HEA 802167-001
Andurite kapp	Norcar Soome		050726	mass 200 kg



Sele 5.2. Ettevõtte robotkeevituse kompleks



Sele 5.3 Robot toodet keevitamas

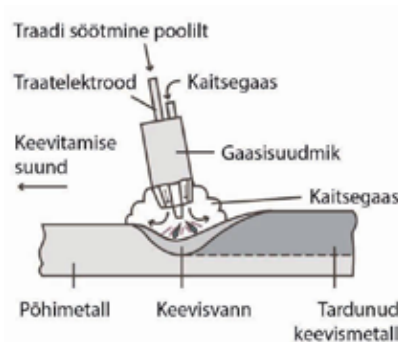
5.2. Keevitusprotsessi kirjeldus

Toodete valmistamisel (koostamisel) kasutatakse MIG keevitusprotsessi. Roboti kasutamine ja sünergiline keevituseseade võimaldab saavutada suure tootlikkuse ja ühtlase toote kvaliteedi.

Sünergiline juhtimine. Tavaliselt sisestatakse materjali tüüp (süsinikteras, roostevaba teras, Al), kaitsegaasi tüüp, traadi läbimõõt, materjali paksus või nurkõmbluse kõrgus. Kasutatakse masinasse programmeeritud keevitusparameetreid. [6] Keevitusparameetrid on sisestatud roboti kontrolleri, mis omakorda juhib keevitusseadet.

Kaarkeevitusprotsesside tootlikkust on võimalik tõsta, kasutades elektroodi traadi kujul ja söötes seda pidevalt kaare piirkonda. Keevituskaart ja keevisvanni saab kaitsta ümbritseva keskkonna eest sinna juhitava kaitsegaasiga. Sellist kaarkeevitusprotsesside rühma nimetatakse kaitsegaasis kaarkeevituseks. Sõltuvalt kasutatavast kaitsegaasist ja keevitustraadist eristatakse ja kasutatakse järgmist rahvusvahelist tähistust: a) MIG-keevitus, b) MAG-keevitus, c) täidistraatkeevitus. Need keevitusviisid on tuntud kui traatkeevitus, kuna kasutatakse keevituselektroodi traadi kujul. [6]

MAG-keevitus toimub täistraadiga aktiiv-kaitsegaasis, kas süsihappegaasis või segugaasis „argoon-süsihappegaas”. Klassikalist keevitusprotsessi tähistatakse tunnusnumbriga 135. Keevitatakse süsinik- ja legerteraseid, sealhulgas roostevaba terast. Kaitsegaaskaarkeevituse põhimõtet selgitab sele 5.4.



Sele 5.4. MIG/MAG-keevitus [6]

Poolile keritud keevitustraad läbimõõduga 0,6...2,4 mm söödetakse automaatselt ühesuguse kiirusega etteanderullide abil keevituspõletisse, mida kutsutakse selle erilise kuju tõttu keevituspüstoliks. Keevitamisel sulatatakse traadist elektroodi ots ja liidetavate detailide servad kaarleegiga, mida kutsutakse keevituskaareks. Keevitusvool antakse energiakadude

vähendamiseks keevitustraadile keevituspüstolisse kinnitatud voolukontakti abil vahetult enne keevituskaart. [6]

Võrreldes käsikaarkeevitusega on MIG/MAG keevitusel järgmised eelised:

- suurem tootlikkus, pealesulatustegur ehk keevitustootlikkus on piirides 1,2-7 kg/h, tingituna
- suurest voolutihedusest elektroodil,
- suurem keevituskiirus, cm/min,
- lühikaarega võimalik keevitada kõigis keevisõmbuse asendites,
- puuduvad elektroodi vahetamisest tingitud katkestused, mistõttu õmbuste kvaliteet on parem,
- **lihtsam mehhaniseerida ja automatiseerida keevitusrobotite ja väikemehhaniseerimisseadmete abil,**
- keevitamisel ei teki räbu (va täidistraadi kasutamisel),
- keevitaja näeb keevitamise ajal õmblust ja keevitusvanni,
- keevituskaar on soojuslikult kontsentreeritud, mistõttu termomõjutsoon on kuni 2 korda
- kitsam ning struktuurimuutused ja deformatsioonid põhimetallis on väiksemad,
- lühike keevitaja väljaõppeaeg. [6]

MIG/MAG-keevituse puudused:

- ei sobi kasutamiseks välitingimustes,
- keevitustraadide valik tundubalt väiksem käsikaarkeevituse elektroodide omast,
- lühikaarkeevitusel ja keevitusparameetrite vääral valikul võib esineda palju pritsmeid (kuni 7-10 % traadi massist). [6]

Ettevõtte toodete keevitusega seotud andmed on toodud tabelis 6.3, kus on täpsemalt kajastatud toodete keevitusaeg ja tootmismahd.

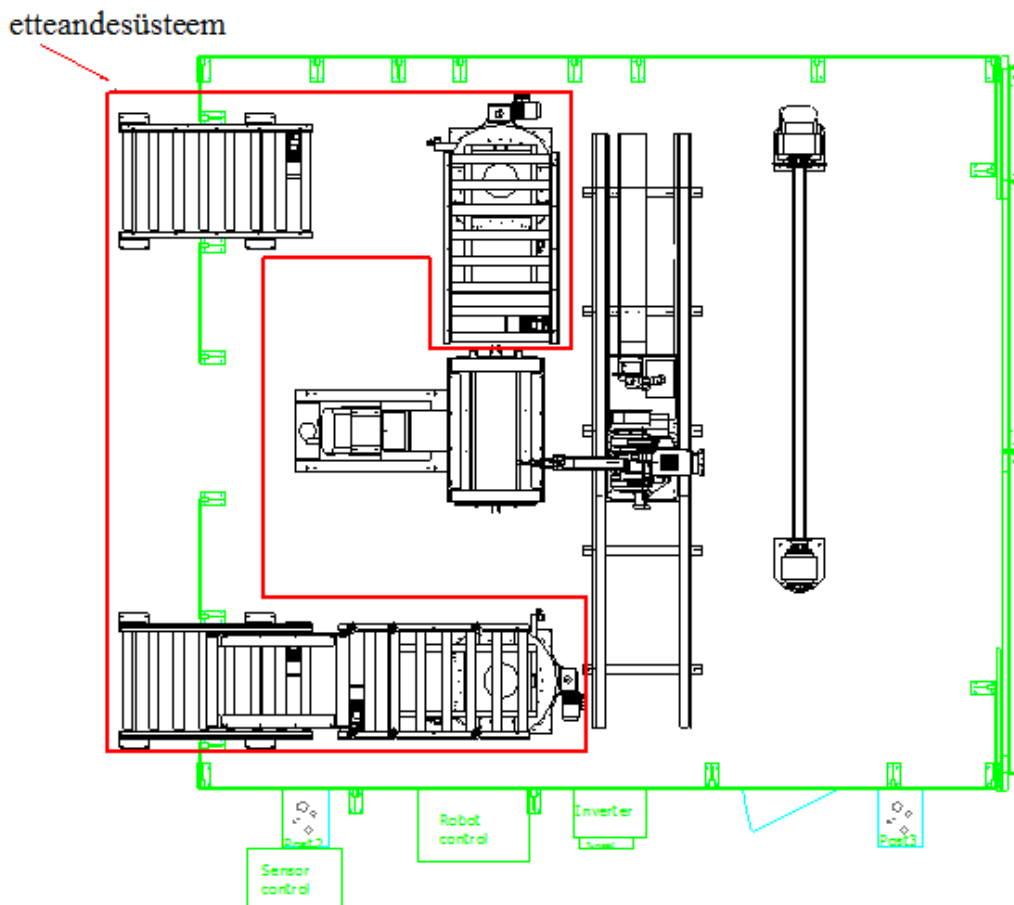
5.3. Toodete etteandesüsteem

Antud peatükis kirjeldatakse olemasolevat süsteemi, mis antud hetkel robotit teenindab. Selleks, et seda siduda uue, arendatava süsteemiga on vaja olemasolev olukord kirjeldada.

Ettevõtte etteandekompleks (automatiseeritud transpordisüsteem) tegeleb töölaudade (rakiste, palettide) paigutusega robotkeevitusekompleksi ja lao (või laoroboti) vahel. Etteandesüsteem koosneb juhtedest (elektriajamiga), operaatori HMI-st, juhttee kontrollierist ning sinna kuuluvast tarkvarast. Etteandesüsteem suhtleb tarkvaraga robotkeevituskompleksiga läbi CanBus liide.

Hetkel paleti (rakise aluse) laadimise ja maha laadimise etteandesüsteem toimib käsitsi (operaatori abil) ning kasutades tõstevahendid. Süsteem on juhitud tööstusliku kontrolleri (PLC) abil, millega on ühendatud kasutajaliides (HMI). HMI kaudu saab operaator valida/sisestada programmi, mille alusel keevitusrobot toote kokku keevitab.

Selel 5.5 on näidatud etteandesüsteemi asendiplaan.



Sele 5.5. Etteandekompleksi asendiplaan

6. TOOTED JA TOOTMISMAHUD (2014 AASTA SEISUGA)

Antud peatükis on välja toodud ettevõttele iseloomulikud tooted ja nende sõlmed. Samuti on analüüsitud tootmismahtusid selleks, et määrata automaatlattu sobilikud tooted ja lao orienteeruv suurus ja vajalik mahutavus.

Väikelaaduri valmistamisel vajalikud iseloomulikud tooted:

- 1) esiosa
- 2) tagaosa
- 3) poom
- 4) tööriist
 - kopp
 - põhutõstja

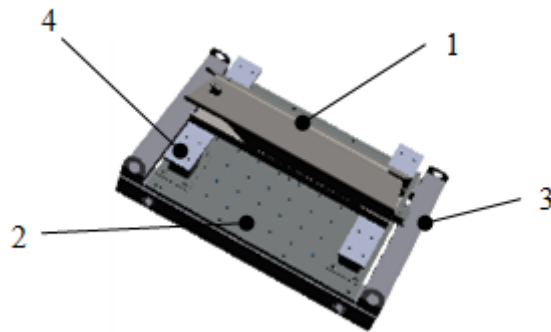


Sele 6.1. Agromatic a60 traktori üldpilt [7]

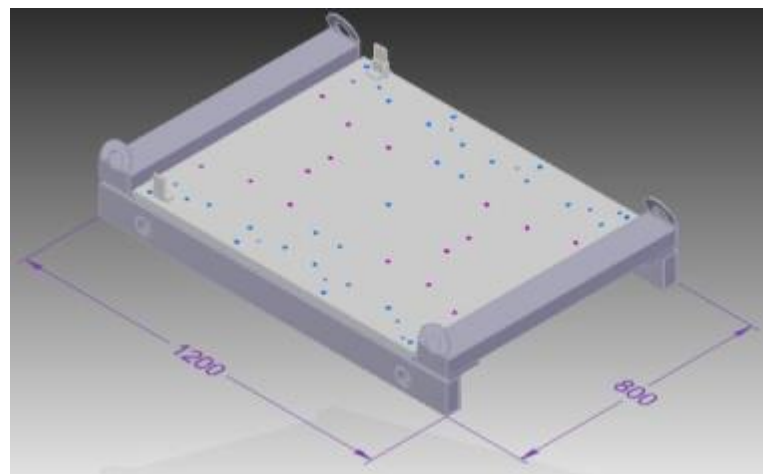


Sele 6.2. Traktori tööriistad (põhutõstja ja kopp) [7]

Toodete sõlmed koostatakse punktamise teel (käsitsi keevitades). Seejärel paigaldatakse eelkoostatud tooted paletil (Sele 6.4) olevale rakisele (Sele 6.3).




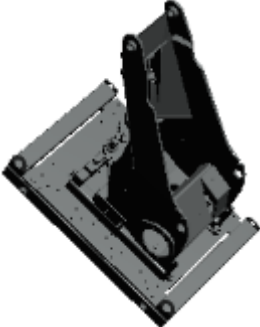
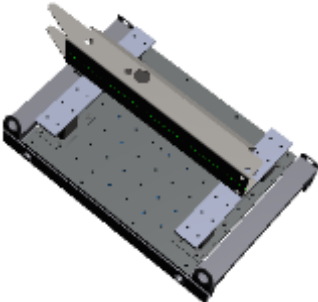
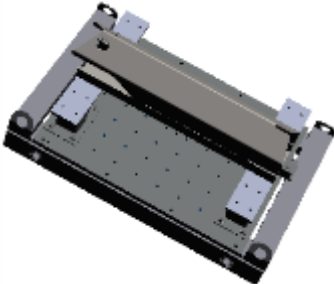
Sele 6.3. Toode koos rakisega 1-toode, 2-rakise plaat, 3-rakise palett, 4-tootepõhine rakis (adapter)



Sele 6.4. Paleti gabariitmõõtmed (mm)

Alljärgnevas tabelis (Tabel 6.1) on välja toodud tooted, mida võiks keevitada keevitusrobotil, kuna tegemist on lihtsate ja robotile sobilike toodetega, ning tootmiskogused on suhteliselt suured. Seetõttu tasub ära nende detailide üleviimine robotkeevitusele, sest rakistusele ja programmeerimisele tehtavad kulutused tasuvad ennast ära.

Tabel 6.1. Näited toodetest rakisel

Toote nimi	Toode pilt	Tehnilised parameetrid
A70 esiosa (toode + rakis)		Toote gabariitmõõdud: 570 mm × 1050 mm × 1300 mm (l × k × p) Mass (toode koos rakisega): 442 kg Keevitusae: 1:55:00 (hh:mm:ss)
A70 tagaosas (toode + rakis)		Toote gabariitmõõdud: 550 mm × 1000 mm × 1750 mm (l × k × p) Mass (toode koos rakisega): 529 kg Keevitusae: 2:00:00 (hh:mm:ss)
A60 esiosa		Toote gabariitmõõdud: 540 mm × 850 mm × 1200 mm (l × k × p) Mass (toode koos rakisega): 372 kg Keevitusae: 1:15:00 (hh:mm:ss)
A60 poom välimine		Toote gabariitmõõdud: 350 mm × 750 mm × 1405 mm (l × k × p) Mass (toode koos rakisega): 296kg Keevitusae: 0:23:00 (hh:mm:ss)
A60 poom sisemine		Toote gabariitmõõdud: 350 mm × 750 mm × 1300 mm (l × k × p) Mass (toode koos rakisega): 282 kg Keevitusae: 0:20:00 (hh:mm:ss)

Sobilike toodete valik automaatlaos täitmiseks (või paindootmissüsteemi kasutamiseks) on võimalik sooritada järgnevatate parameetrite järgi: toote keevitusaeg [h]; toote tootmisaeg [tk/a]; toote gabariitmõõt [mm]; toote mass [kg]; toote tüüp.

Olemasolevaid tooteid (Tabel 6.2) juba toodetakse robotkompleksis. Nende keevitus antud tingimustel tasub ennast ära (aja, keevitusressursi kokkuhoid). Ning seetõttu esmane valikuna peaks kõik need tooted juurutama ka robotlaos.

Tabel 6.2. Hetkel robotil keevitatavad tooted

Toote joonise nr.	Toote nimi	Keevitusaeg* hh:mm:ss	Maksimaalne võimalik toodete arv vahetuse jooksul (8h), tk**
7003714	A70 esiosa	01:55:00	4,1
7003892	A70 tagaos	02:05:00	3,8
7001509	A60 esiosa	01:15:00	6,6
7000714	A60 tagaos	01:45:00	4,7
664154	AM755 tagaos	01:25:00	5,7
7001442	A60 poom välimine	00:25:00	19
7001439	A60 poom sisemine	00:20:00	24
7000978	AM755 õlipaak	00:20:00	24
7001932	Uue malli nupagodi – 6 piiki	00:55:00	9,1
7001335	Uue malli kopp – 1200 mm	00:50:00	9,6
7001291	Kopp 60 kg – 1050 mm	00:30:00	16
870108	Kopp 60 kg – 1058 mm	00:27:00	17
7001142	A60 instrumentaal	00:25:00	19
7004172	A62 instrumentaal	00:25:00	19
660054	Vana malli nupagodi – 5 piiki	00:25:00	19
660279	Vana malli nupagodi – 6 piiki	00:26:00	18
660028	Vana malli nupagodi – 7 piiki	00:28:00	17
7003732	Uue malli kopp – 1400 mm	00:40:00	12
7001795	Kopp – 1050 mm; 270 liitrit	00:35:00	13,7
870117	Kopp 70 kg – 1200 mm	00:27:00	17
663237	AM755 adapter	00:15:00	32,1

* Keevitusaeg ei sisalda abiaegu: toote laadimine ja toote vahetus

** Toodete maksimaalne arv on toodud peamiselt tootmise planeerimist silmas pidades. See arv näitab optimaalset seeria suurust antud toote kohta.

Üks tähtsam (olulisem) laosüsteemi tingimus on, et oleks piisavalt tooteid, et tagada ühe kuni kahe vahetuse töö. Ühe vahetuse pikkus on 8 tundi ehk 480 minutit.

Arvutatakse laokohtade arv ühes vahetuses toodetele valemiga (6.1)

$$\frac{\textit{toote aasta kogus}}{\textit{Tööpäevi aastas}} = \textit{kohta/päevas} \quad (6.1)$$

Toote osakaal, tunnid aastas arvutatakse valemiga (6.2)

$$\textit{toote keevitus aeg} \cdot \textit{toote aasta kogus} = \textit{toote tunnid aastas} \quad (6.2)$$

Tabel 6.3. Toodete summaarne keevitusaeg

Toote joonise nr	Toode	Keevitus- aeg, h	Aasta kogus 2014 tk/a	Töö- päevi aastas	Laokohta/ päevas vahetuses	Toote osakaal, h/a
7003714	A70 esiosa	1,92	20	251	0,08	38,4
7003892	A70 tagaos	2,00	26	251	0,10	52
7001509	A60 esiosa	1,25	66	251	0,26	82,5
7000714	A60 tagaos	1,75	91	251	0,36	159,25
664154	AM755 tagaos	1,42	53	251	0,21	75,26
7000978	AM755 õlipaak	0,33	53	251	0,21	17,49
663237	AM755 adapter	0,25	57	251	0,23	14,25
660054	Vana malli nupagodi – 5 piiki	0,42	10	251	0,04	4,2
660279	Vana malli nupagodi – 6 piiki	0,43	15	251	0,06	6,45
660028	Vana malli nupagodi – 7 piiki	0,46	10	251	0,04	4,6
7001932	Uue malli nupagodi – 6 piiki	0,83	15	251	0,06	12,45
7001335	Uue malli kopp – 1200 mm	0,67	20	251	0,08	13,4
7001291	Kopp 60 kg – 1050 mm	0,50	20	251	0,08	10
870108	Kopp 60 kg – 1058 mm	0,50	20	251	0,08	10
870117	Kopp 70 kg – 1200 mm	0,58	10	251	0,04	5,8
7003732	Uue malli kopp – 1400 mm	0,67	20	251	0,08	13,4
7001795	Kopp – 1050 mm; 270 liitrit	0,58	20	251	0,08	11,6
Kokku:		14,56	526	251	2,10	531

6.1. Laosüsteemi koormuse arvutus

Põhiülesanne on tootmine võimalikult paindlikuks muuta, et oleks võimalik esimeses vahetuses teha suure seeriaga mahuga ning väikse keevitusmahuga tooteid, mida operaator paneb käsitsi süsteemi ning teise vahetuse jaoks ladustada suure keevitusmahuga tooteid.

Laosüsteemi efektiivne tööajafond tundides arvutatakse valemiga (6.3):

$$F_{ef} = (K_p - P_u - P_{\ddot{u}}) \cdot V_a \cdot V_k \cdot S_k, \quad (6.3)$$

kus arvestatud on aastat 2014;

K_p - kalendripäevade arv aastas 365;

P_u - puhkepäevade arv aastas 106;

$P_{\ddot{u}}$ - pühade arv aastas 8;

V_a - vahetuse arv 1;

V_k - vahetuse kestus 8 h;

S_k - seadme kasulikult kasutamise tegur;

$S_k = 0,92 \dots 0,95$, robotsüsteemi puhul $0,8 \dots 0,85$, valitud $k = 0,8$. [8]

$$F_{ef} = (365 - 106 - 8) \cdot 1 \cdot 8 \cdot 0,8 = 1606 \text{ h}$$

Laosüsteemi tööaja ressursist $Lao_{töö\%}$ aastas hõivab toodega keevitamine 506 h, seega arvutatakse valemiga (6.4) $Lao_{töö\%}$ [%]

$$Lao_{töö\%} = \frac{531}{1606} = 0,33 = 33\% \quad (6.4)$$

Selle tootmismahuga ei ole võimalik tagada laosüsteemi ühe vahetuse töö. Antud hetkel need tooted võimaldavad koormata 33% vahetuse ulatuses (võttes arvesse ka abiaega). Selleks, et oleks otstarbekas ladu juurutada, peaks tootmismaht kasvama vähemalt kolm korda ($3 \cdot 531 = 1593$ h/aastas).

Kuna lao juurutamine võtab ära osa päevasest koormusest (roboti tunnid $1606 - 531 = 1075$ h/aastas), siis saab seda omakorda kasutada väiksemate toodete valmistamisel (alla 0,5 h keevitusajaga). Sellisel juhul on koormatud nii päevane vahetus ning laosüsteemi vahetus.

7. LAOSÜSTEEM

Alates 1980. aastatest on maailmas kasutusel poolautomaatselt töötavaid hoiustamissüsteemid, mida nimetatakse ka laosüsteemideks. [9] Laosüsteemi peatüki eesmärk on tutvustada laotehnoloogia rakendamise võimalikkust paindootmissüsteemi. Samuti kirjeldatakse antud peatükis ladude funktsioone ja rolli tarneahelas, ladude liike ja laonduse põhikomponente ning lao töö põhitoimingud. Lao töö põhitoimingud on maha laadimine, peale laadimine ning hoiukohtadele paigutamine. Automatiseeritud laosüsteemide koosseisu kuuluvad järgmised alamsüsteemid:

- transpordisüsteem (riiulilift ja laadimisjaam) (ptk 7.2)
- ladustamissüsteem (laoriul) (ptk 7.3)
- juhtimissüsteem (automaatne toodete tuvastamine, inimene-masin-liides, automatiseeritud juhtimissüsteem) (ptk 8)

7.1. Laotehnoloogia mõiste

Laotehnoloogia all mõeldakse terviklikku, ettevõtte vajaduste kohaselt planeeritud riiulite või riiulisüsteemide, töökoridoride, tööalade, laoseadmete ja lao töö korralduse süsteemi. Laotehnoloogia töötatakse välja selle järgi, milliseid konkreetseid ülesandeid peab ettevõtte ladu täitma. [9]

Laotehnoloogiaid jaotatakse madala (kõrgusega kuni 10 m) lao tehnoloogiateks ja kõrge (kõrgusega üle 10 m) lao tehnoloogiateks. Madala lao tehnoloogiad jaotatakse omakorda järgmiselt:

- konventsionaalne tehnoloogia
- virnastamise tehnoloogia
- sügavriiulite tehnoloogia
- läbivooluriiulite tehnoloogia
- mobiilsete riiulite tehnoloogia.

Madalate, kuni 10 m kaubaaluste riiulite ja laiade, kuni 3,5 m töökoridoridega ladu, mida kasutatakse kõikjal maailmas, nimetatakse traditsiooniliseks ehk konventsionaalseks laoks ja kasutatavat tehnoloogiat konventsionaalseks laotehnoloogiateks. [9]

Riiulid võivad olla eri kõrguse ja sügavusega, kandetalad erineva pikkuse ja kandevõimega, hoiukohad eri kõrgusega ja vahekoridorid erinevate laiustega. Võimaluste paljusus muudab lihtsa riiulite süsteemi kasutamise väga paindlikuks. Konventsionaalne ladu madalate riiulitega on parim lahendus juhul, kui on vaja ladustada palju erinevat kaupa, eri tüüpi

kaubaalustel. Tagatud on vahetu ja kiire ligipääs kõigile hoiustatud kaupadele. Konventsionaalne laotehnoloogia on maailmas levinud peamiselt tänu selle eelistele. [9]

Konventsionaalse lao eelised on:

- vahetu ligipääs kõikidele hoiukohtadele;
- kaubaaluseid on võimalik teisaldada muid aluseid ümber paigutamata;
- inventuuri tegemine on lihtne, sest iga kaubaalus asub eraldi hoiukohal, millele on vaba juurdepääs;
- võimalus ladustada eri suuruse (laiuse ja kõrgusega) ning kaaluga kaubaaluseid;
- riiulite horisontaaltalaseid saab suhteliselt kiiresti ja hõlpsasti ringi tõsta, lisada või nende arvu vähendada.

Levinuimad laosüsteemid on alljärgnevad:

- vertikaalkarussell-süsteem
- horisontaalkarussell-süsteem
- tornsüsteem („*lean*“-lift)
- miniload süsteem (AS/RS)
- „*unit load*“ süsteem (AS/RS)
- OSR-süsteem („*order storage & retrieval system*“, OS/RS) [9]

Vertikaalkarussellid on leidnud Euroopas laialdast kasutamist. Ka Eestis on mitmed ettevõtted soetanud endale vertikaalkarusselli moodulid. Tornsüsteemid on väga efektiivsed, kuid kallid, mistõttu seisab nende laiaulatuslik kasutuselevõtmine veel ees. Vaatamata kõrgele maksumusele on ka mõned Eesti tootmisettevõtted suutnud endale need hankida. [9]

Miniload süsteem ehk AS/RS („*automated storage & retrieval system*“) kraanasüsteem on kallis, kuid efektiivne, suures osas automaatselt töötav nüüdisaegne laosüsteem peenkaupade ja väiksegabariidiliste tükikaupade käitlemiseks. [9]

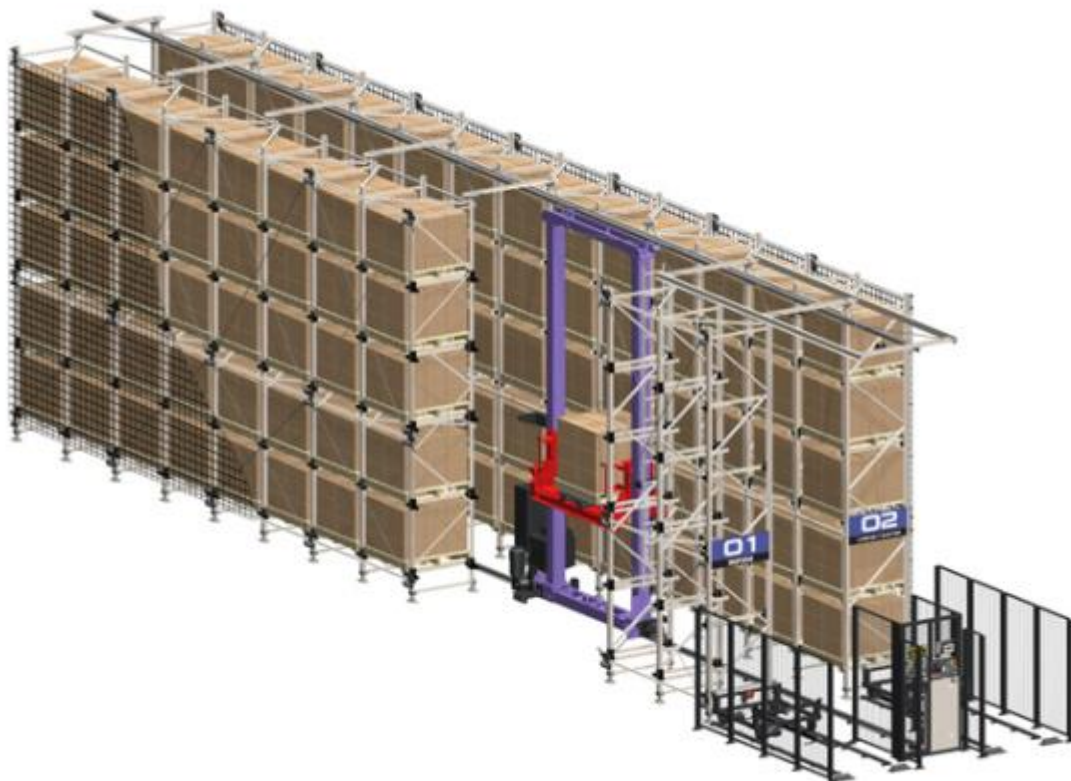
Unit load (sele 7.1) süsteem töötab analoogselt miniload laosüsteemiga, kuid on mõeldud kaubaaluse riiulite teenindamiseks. Töötamise kiiruselt ületab süsteem mitu korda tõstukite töökiirust kõrgetes ladudes. [9]

OSR-süsteemid on vähem levinud peamiselt oma väga suure maksumuse tõttu. Vaatamata sellele on ka Eestis üksikud ettevõtted suutnud soetada endale nimetatud laosüsteemi. OSR-süsteemi kasutatakse ettevõtteis väljastussaadetiste komplekteerimisel, kus see asendab kümneid peenkauba komplekteerijaid. [9]

7.2. Transpordisüsteem

Vastavalt teorialele on kõige sobilikum süsteem ettevõttele „unit load“ laosüsteem. „Unit load“ kraanasüsteem (riiuli-lift) on mõeldud kaubaaluste käsitsemiseks. Võrreldes „miniload“-süsteemiga on riiuli-lifti liikumiskiirus, kiirendus ja aeglustus väiksem, seade ise aga suurema tõstejõuga (kuni 1500 kg). Töökoridori laius on enamasti 1,5 m kuni 1,6 m. Riiulilift toetub liikumisel rööbasteele.

Täisautomaatne „unit load“ süsteem töötab põhimõttel „kaup mehe juurde“ (*goods to man*). Hoiustamisühikuks on tavaliselt plastikust kast või konteiner, Norcari projekti juhul on kasutusel palett mõõtudega 1200 mm x 800 mm, mis võetakse riiuli hoiukohalt arvuti poolt juhitava riiuliliftiga. Peale hoiukohalt võtmist viiakse hoiuühik laadimisjaama, millest operaator toimetab selle edasi järgmise operatsiooni juurde või asetatakse see konveierile (etteandesüsteemi), millega toimetatakse palett edasi keevitusroboti juurde. Riiulilifti koridori lõpus asuv laadimisjaam on varustatud automaatse tuvastussüsteemiga.



Sele 7.1. „Unit load“ süsteem [10]

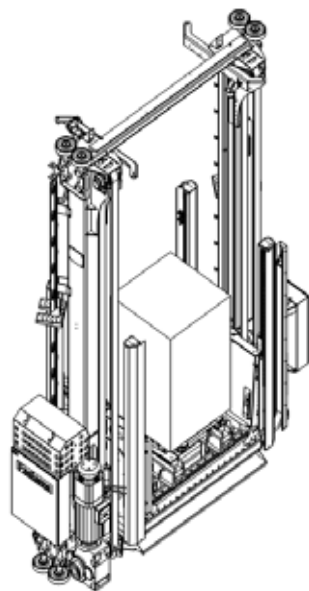
”Unit load” kasutaja saab järgnevaid eeliseid:

- osade laotoimingute täielik automatiseerimine;
- tooted ei saa minna laos kaduma ega segamini, kuna operaator saab käsitseda korraga ainult üht konteinerit;
- pidev inventuur;
- lao ruumala optimaalne kasutamine;
- maksimaalne mugavus ja garanteeritud juurdepääs ladustatud kaubale.

„Unit-load“ süsteemi puuduseks võib pidada selle kõrget maksumust. [9]

7.2.1. Riiulilift

Automaatlao kraanasüsteem on mõeldud kaubaaluste käsitlemiseks. Riiulilift on süsteemi peamine tööorgan, mis liigub töökoridoris põrandale kinnitatud rööbasteel. Riiuliliftid on dünaamilised ja suure tootlikkusega. Tootlikkus võib ületada kümneid kordi sama töö tõstukiga tegemise tootlikkuse. Kelk ehk süstik liigub ekstraktori postisiinidel üles-alla ja teeb ära kogu hoiustamisühikutega seotud käsitlemistöö. Riiulilifti liikumine toimub suurtel kiirustel. Kiirendus- ja aeglustusomadused on piisavad, liikumise alustamine ja peatumine on sujuv.

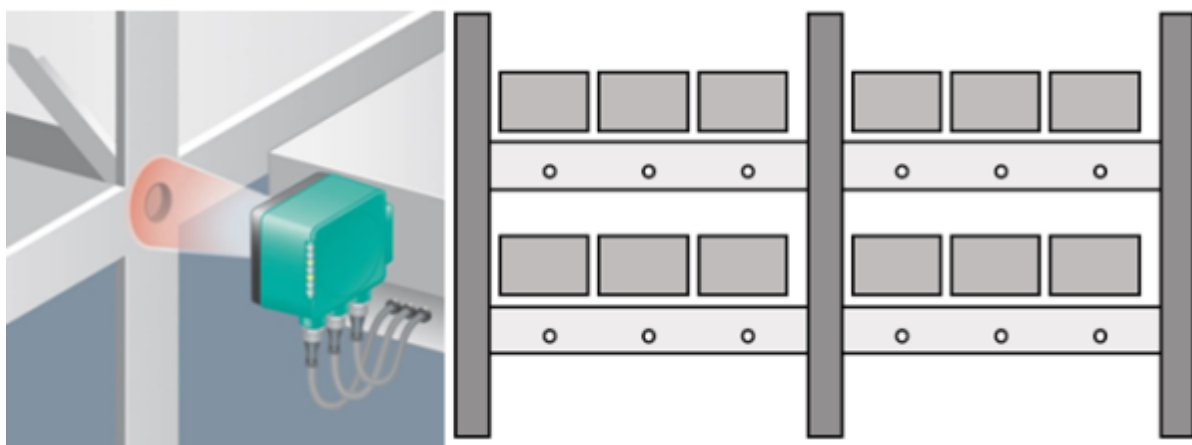


Sele 7.2. Rööpaga juhitud riiulilift [2]

Palette koos toodetega liigutatakse laos automaatseid tõste- ja tõmbesooritusi teostava riiulilifti abil. Riiulilift peab olema varustatud ladustusfunktsiooniga, mis võimaldab teostada paleti tõstmist riiulilt ja tagasipanekut riiulisse.

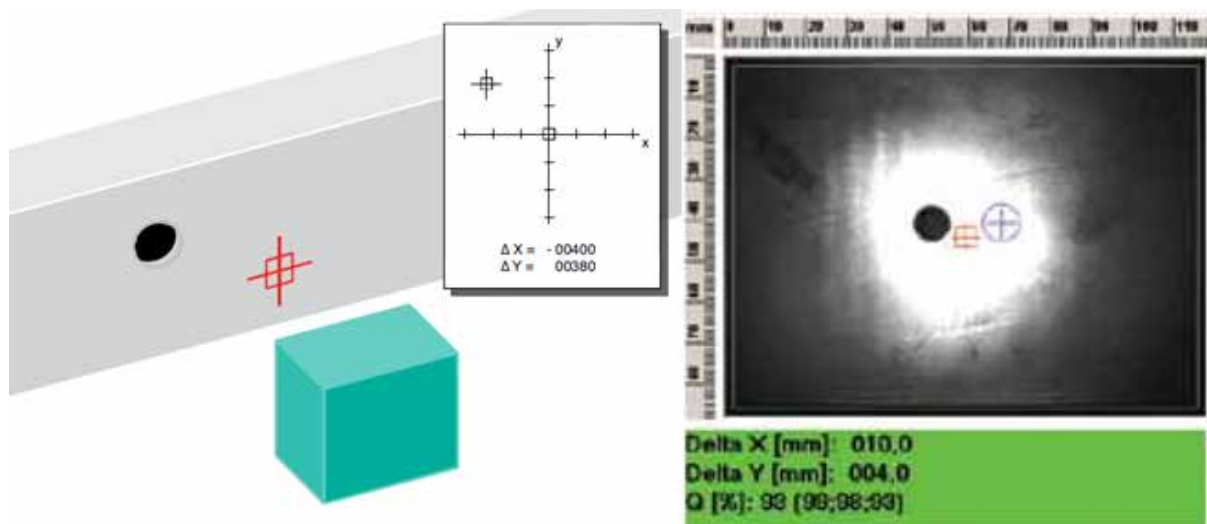
Laadimisjaama operaator laeb paleti lattu, kus tuvastatakse automaatse tuvastussüsteemi abiga paleti peale paigaldatud toode. Seejärel võtab riulilift laadimisjaama paigutatud paleti ja teisaldab selle arvuti juhtimisel laoprogrammis kirjeldatud vabale hoiukohale. Riulilift liigub üheaegselt nii vertikaal- kui ka horisontaalsuunas, mis lühendab töötükli aega. Paleti väljastamiseks liigub lift arvutisüsteemis kirjeldatud hoiukohale, võtab sealt aluse ja toob töökoridori otsa ning liigub laadimisjaama ja operaator viib selle tõstukiga järgmisele operatsioonile, või asetatakse etteandesüsteemi, millega toimetatakse palett edasi keevitusroboti juurde. Peale keevitamist väljastab etteandesüsteem vastava signaali juhtimissüsteemile, et palett on valmisolekul teisaldamiseks, ning juhtimissüsteem vastavalt laoprogrammile ning riulilifti abil teisaldab selle vabale hoiukohale või otse laadimisjaama. Enne riulilifti kasutuselevõttu tuleb õpetada hoiukoha (riulikoha) koordinaadid riulilifti kontrollerile. Selle põhjal saab riulilift kiirelt liikuda soovitud asukohani laos. Riulilifti liikumiste teostamiseks on iga koordinaattelg varustatud enkooderiga varustatud servoajamiga, mis kindlustab tagasisidestuse, tagab püsivalt täpse positsioneerimise ja on suure toimimiskiirusega.

Sõltuvalt lahenduse konstruktsioonist võib rihma kulumine, rataste libisemine või keti venimine põhjustada ebatäpsusi riulilifti positsioneerimises. Erinevus võib olla mõni kümnendik millimeetrit või enam, kuid see võib põhjustada tõrkeid riulilifti töös. Selle probleemi kõrvaldamiseks pakub firma „Pepperl+Fuchs“ optilist positsiooniandurit. Antud andur võimaldab täpset positsioneerimist avade tuvastamise abil. Avade asukohad sõltuvad riulisüsteemist, need võivad asuda riuli külgraaamis või horisontaaltalas iga laokoha aadressil, juhul kui riuli tasapinnal asub mitu toodet (Sele 7.3).



Sele 7.3. Avade asukohad positsioonianduri jaoks sõltuvalt riulisüsteemist [11]

Kui riiulilift jõuab riiuli hoiukoha aadressile ja skaneerimise ajal selgub, et ava ei ole anduri vaatevälja keskel, siis optiline positsiooniandur väljastab vastava signaali, millises suunas peab lift liikuma (kas vertikaal- või horisontaalsuunas) (Sele 7.4). Kui täppispositsioneerimine on tehtud, siis riiulilifti ladustusmehhanism saab paigaldada paleti hoiukohale või teisaldada selle hoiukohalt. Kaamerat on võimalik kasutada nii ava raadiuse, ava läbimõõdu või objektile oleva ava tuvastamiseks.



Sele 7.4. Ava järgi positsioneerimise põhimõte [11]

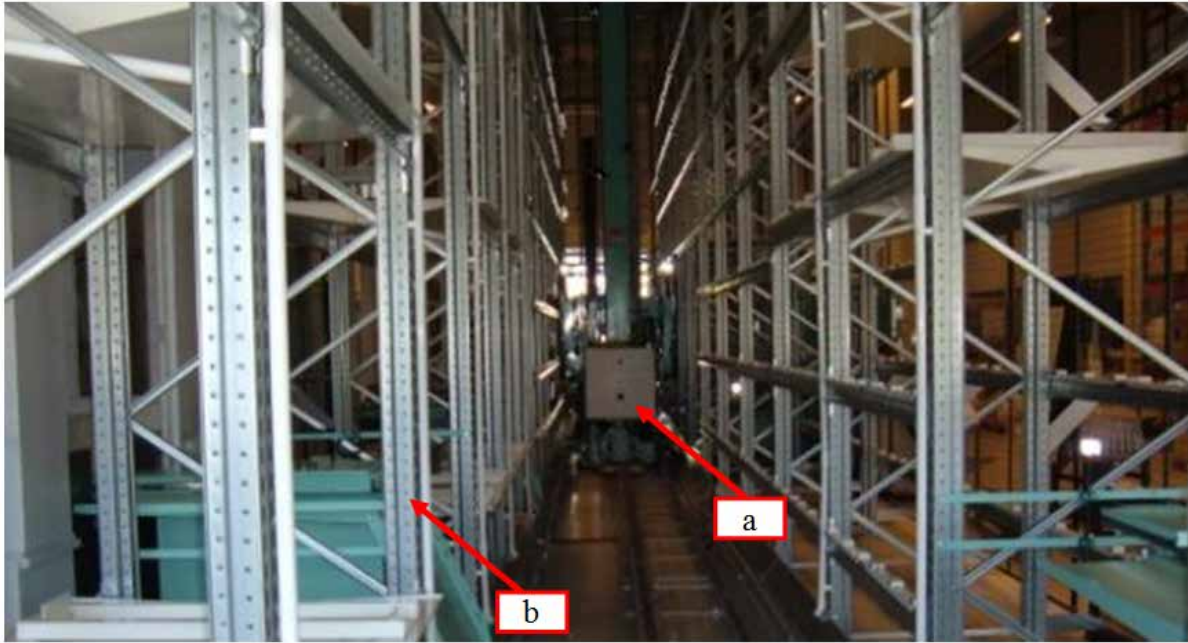
Riiulilifti valik

Turul on palju erinevat tüüpi riiuliliftide lahendusi. Antud töös vaadatakse läbi mitu varianti. Riiuliliftid on varustatud ladustusfunktsiooniga, et võimaldada paleti tõstmist riiulilt ja selle tagasipanekut riiulisse.

Riiulilifti konstruktsiooni võib tinglikult jagada kolmeks osaks:

- lift
- rööbastee
- ladustusmehhanism

Arvestades maksimaalset liigutatava toote ja rakise massi, keevitusrakise ja toote mõõtmeid, laosüsteemi põhimõtet, siis on valitud nende liigutamiseks rööbasteel liikuv riiulilift (*RGV* - „*Rail Guided Vehicle*“) (Sele 7.5).



Sele 7.5. Riiulilift (a) ja riiulid (b) [10]

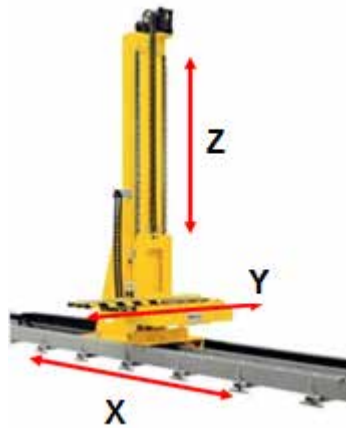
Parameetrid, mida arvestada riiulilifti valikul, on järgmised:

- maksimaalne tõstejõud [kg]
- vertikaalne tööulatus [mm]
- horisontaalne tööulatus [mm]
- ladustusmehhanismi tööulatus [mm]

Ettevõtte poolsed tehnilised tingimused riiulilifti koridorile on järgmised:

- maksimaalne kõrgus on 4500 mm (kõrgemal laes sõidab edasi-tagasi sildkraana, horisontaalne poomi alumine äär liigub 5000 mm kõrgusel. Seega laoriuli ülemine piir ja tooted ei tohiks ületada kõrgust 4500 mm)
- maksimaalne pikkus 8000 mm
- maksimaalne laius 2000 mm
- maksimaalne ladustusmehhanismi ulatus 1700 mm

Riiulilifti võib tinglikult liikumissuundade alusel jaotada kolmeks (Sele 7.6). Lift on vertikaalsuunas liikumise jaoks (z –telg), ladustusmehhanism (y –telg) ja rööbastee (x –telg) aga horisontaalsuunas liikumise jaoks. Vaatame igat riiulilifti osa eraldi. Tinglikult on tähistatud koordinaatteljed vastavalt x , y ja z .

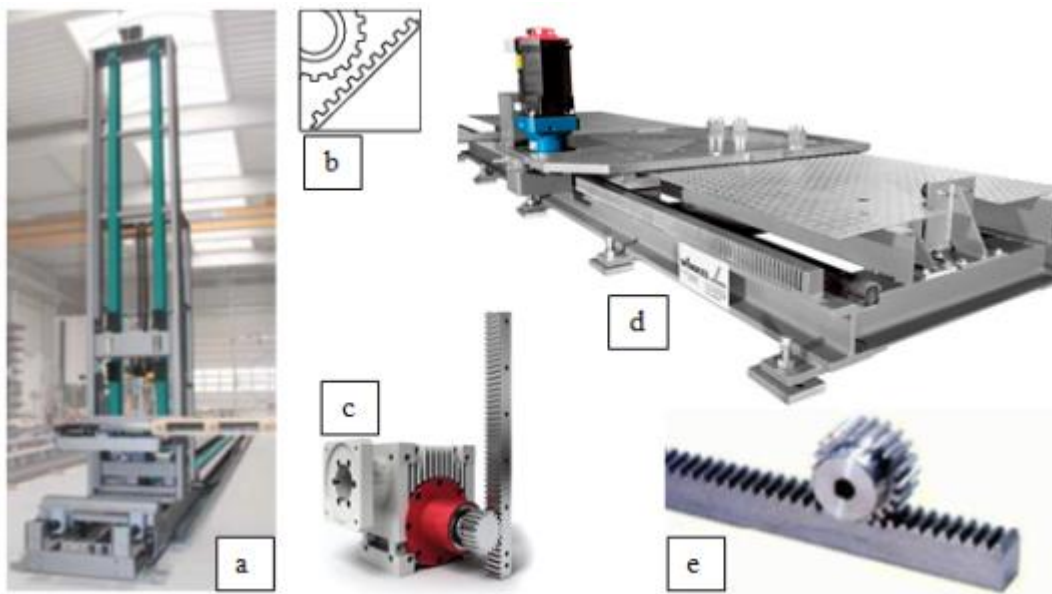


Sele 7.6. Riiulilifti liikumissuunad ja teljed [12]

Võimalikud lifti mehaanilised lahendused (konstruktiivsed lahendussuunad):

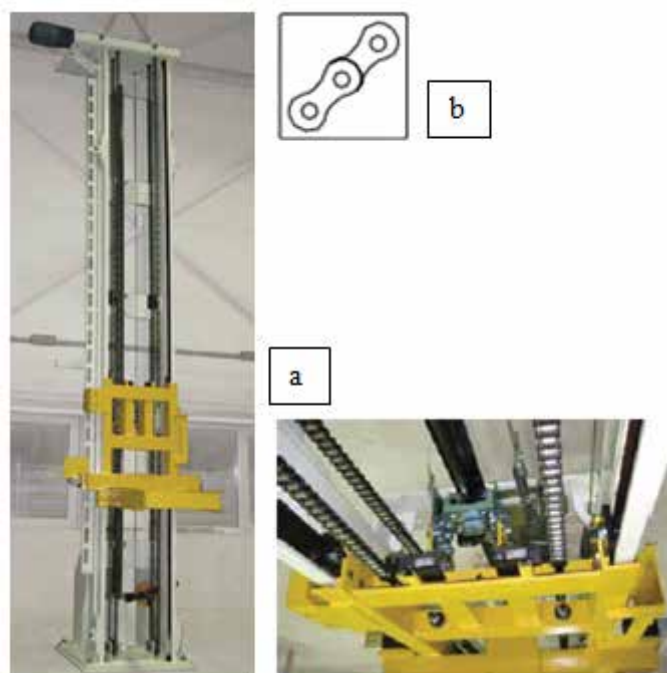
Lineaarse liikumise saavutamiseks on võimalik kasutada järgmiseid ülekandeid, mille eelised ja puudused on toodud allpool. Valitud lahendus peab tagama x ja z suunalise liikumise. Y-suunalise liikumise tagab valmislahendusega kahveltõstuk.

- 1) Hammaslattuülekanne (Sele 7.7) koosneb hammasrattast ja hammaslatist. Hammasülekandega kantakse üle pöörlevat liikumist või muudetakse see kulgevaks liikumiseks. Võimalik on muuta ka kulgev liikumine pöörlevaks liikumiseks. Hammasülekande eelised: võllide ja laagrite väike koormus, sujuv positsioneerimine ja keskmine kiirus. Hammaslatt kinnitatakse lifti raami külge ja hammaslati suunaja koostatakse sektoritest, sest keeruline on pikki suunajaid valmistada ühe tükina. Hammaslati liitumiskohad võivad põhjustada ebatäpse ladustus mehhanismi positsioneerimine, seda võib lugeda puuduseks. Samuti võib tekkida valmistamise ebatäpsusest tingitud müra. [13]



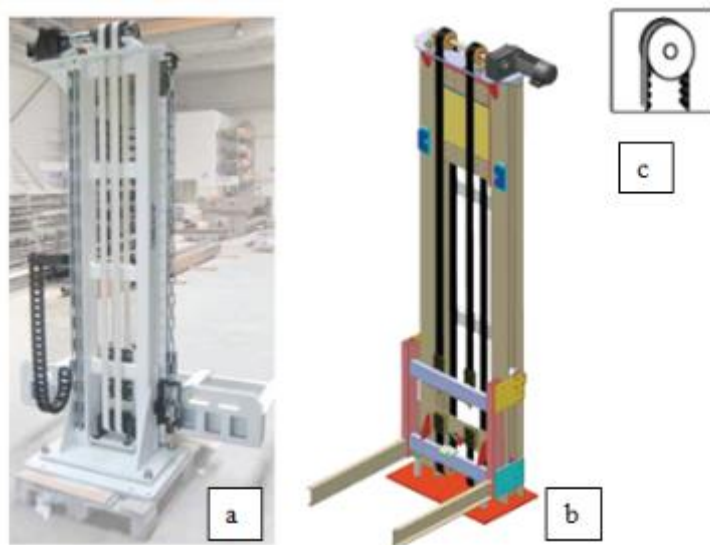
Sele 7.7. Z-suunaline liikumine(a), tingmärk(b), ülekanne reduktoriga(c), x-suunaline liikumine(d), hammaslattuülekanne(e) [14]

2) Kettülekanne (Sele 7.8) on antud juhul kõige odavam lahendus. Ülekandes puudub libisemine, tagades sujuva ja tõhusa töö. Väike on võllidele ja laagrite koormus, sest keti puhul on eelpingutus väike. Lahendus on suhteliselt odav, kuid kallim kui hammasrihmülekanne. Puudusteks võib lugeda keti võnkumist, eriti kui koormus on muutlik ja keti kiirus suur. Hooldamine on tülikam võrreldes rihtmülekandega. [13]



Sele 7.8. Kettülekanne z-suunalise liikumises(a) ja tingmärk(b) [14]

- 3) Hammasrihmülekanne (Sele 7.9) on suhteliselt odav lahendus. Selle ülekande eeliseks tavalise rihtmülekannde ees on libistuse puudumine. Lisaks sellele tingib rihma väike mass võimaluse edastada momenti suhteliselt kaugel asuvate hammasrataste vahel. Rihm on mõningal määral elastne, ning seetõttu võib salvestada endasse energiat ning põhjustada sellega võnkumisi, mistõttu ei sobi nad positsioneerimisseadmetesse. Hammasrihma kasutamine liftis suurendab töökiirust võrreldes ketiga ning seeläbi tõstes süsteemi suutlikkust. [13]



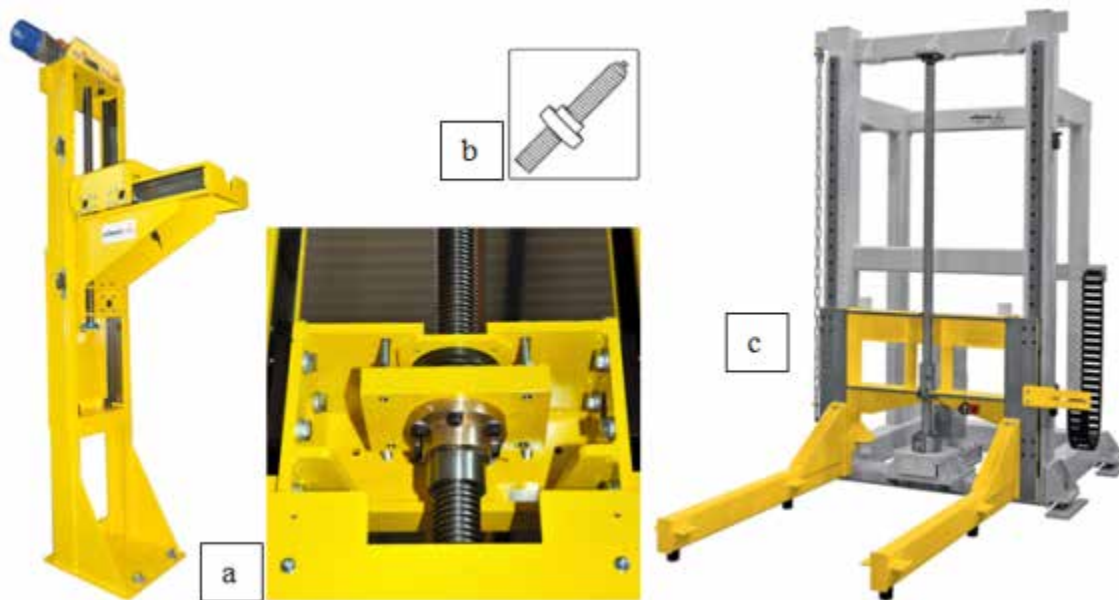
Sele 7.9. Hammasrihmülekanne z-suunalise liikumises(a), 3D mudel näide ja tingmärk(c) [14]

- 4) Kruviülekanne (Sele 7.10) võimaldab muuta pöörlemisliikumist sirgjooneliseks liikumiseks või vastupidi. Eeliseks on suure telgjõu ja aeglase sirgjoonelise liikumise saamise võimalus, kompaktsus, tugevus ja isepidurdumus ühekäigulistest ülekannetes. Võimaldab väga täpselt ladustus mehhanismi positsioneerida ning positsioneerimise kiirus on suur. Puudusteks võib lugeda väikest kasutegurit ja detailide võrdlemisi kiiret kulumist ning kõrget maksumust. Keerme hõõrdetakistuse vähendamiseks kasutatakse kuul- või rullkeermepaare. [13]



Sele 7.10. Kruviülekanne(a), kuulkruvi(b), rullkruvi(c) [13]

Kruviülekannete kasutusala on näiteks tõstemasinad (kruvitungraud, kraananoolte seadistuse mehhanismid) (Sele 7.11), mõõteriistad (täppisnihutus-, häälestus- ja reguleerimismehhanismid), tööpingid (ettenihke- ja seadistuse mehhanismid), kruvipressid jm. [13]



Sele 7.11. Kuulkruviülekanne tõstekonstruktsioonis(a, c) ja tingmärk(b) [14]

5) Hõõrdülekanne, antud juhul saab kasutada x-teljel. Hõõrdumine toimib vedava ratta ja jääga elemendi vahel (relss). Erinevalt rihmülekandest puudub hõõrdülekannetes elastne vaheelement. Hõõrdülekanne eelised: lihtne konstruktsioon, hõlbus koostamine ja hooldus; müratu töö (eriti mittemetallsete rataste korral). Puudused: suur elastne libisemine (eriti mittemetallsetel rattail) ja sellest johtuv madal kasutegur, laagrite ja võllide suur koormus; suured kohalikud pinged hõõrderatastes seoses joon- ja punktkontaktiga nende vahel. [13]

Ohutuse tagamiseks on vaja kasutada z-telje suunas elektri ajamit millele on sisse ehitatud pidurid ja ülekanne toimub redukoriga .

Suuremate masside korral ja kõrgema lae lahenduse puhul on kasutusel erinevate mastide arvuga riiulilifti lahendused, ühe mastiga ja kahe mastiga (Sele 7.12).



Sele 7.12. Ühe mastiga lift(a) ja kahe mastiga lift(b) [14]

Riiulilifti lineaarse liikumise saavutamiseks x-telje suunas kasutatakse rööbasteed (Sele 7.13). Üks rööbaste on kinnitatud põranda külge, teine kas lae alla või laoriuli külge. Kõrgema lifti puhul kasutatakse kahte rööbasteed, sest see tagab suurema positioneerimise kiiruse ja süsteemi stabiilsuse. Selline konstruktsioon on kallim ja suurem, kui ühe rööbasteega.



Sele 7.13. Ühe rööbasteega(a) ja kahe rööbasteega(b) [12]

Riiulilifti y-telje külge kinnitatakse ladustusmehhanism, mis on ette nähtud paleti ladustamiseks. Tänapäeval kasutatakse kahte eri tüüpi ladustusmehhanismi:

- tõmbemehhanism
- teleskoopmehhanism

Tõmbemehhanism on sobiv eelkõige peenkauba komplekteerimiseks, väikestele ja kergetele kastidele (kuni 200 kg). Seda tüüpi ladustamismehhanismi kasutatakse enamasti „mini-load“ süsteemis. Hoiustamisühikuks on tavaliselt plastikust konteiner või kindlate mõõtudega kartongist karp (Sele 7.14).



Sele 7.14. “Winkel” tõmbemehhanism y-telje lahenduses [12]

Norcari projekti puhul on sobiv laosüsteem ”unit load” süsteem, mis eeldab teleskoop ladustusmehhanismi (Sele 7.15), sest see võimaldab ladustada raskemaid palette (kuni 1500 kg).



Sele 7.15. ”Schwingshandl” teleskoopmehhanism y-telje lahenduses [15]

Tehniline kirjeldus:

Ülekande: kett/hammasülekanne

Tõstejõud : maksimaalselt 1500 kg

Laius: 180 mm

Kõrgus: 60 mm

Käppade vahekaugus: 375 mm

Väljaulatus: 1450 mm

Kiirused: maksimaalselt 1,2 m/s koormusega

Elektriajam: 2,2 kW

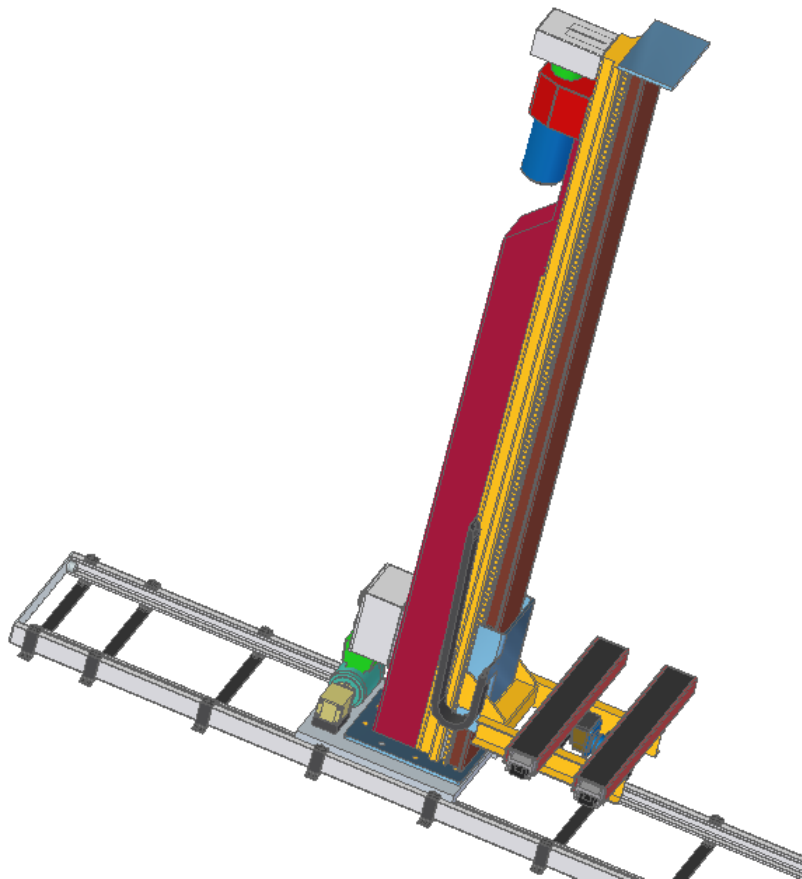
Positioneerimiseks on olemas enkooder ja positsiooni kontrollimiseks kasutatakse kahte induktiivsed andurit.

On otstarbekas valida projekti jaoks riiulilift, mida pakub firma Winkel (Sele 7.16). Riiulilift on üherööbastega, põrandale kinnitav. Suhteliselt lihtne konstruktsioon, mis mõjutab ka hinda. Tõsteõud on kuni 1200 kg. Liikumisulatused on kuni 5000 mm z-telje suunas ja kuni 20000 mm x-telje suunas. On varustatud y-telje suunaline ladustusmehhanismiga EUR aluse jaoks. Antud juhul on tegemist valmislahendusega.



Sele 7.16. "Winkel" riiulilift [12]

Autori poolt välja töötatud algne konstruktiivne (3D) lahend, mis on kujundatud selel 7.17. Antud mudel ei ole lõplik vaid on sisendiks edasisele konstrueerimisele.



Sele 7.17. Riiulilift koos rööbaste ja teleskoopmehhanismiga

7.2.2. Laadimisjaam

Laadimisjaamas antakse materjal „sisse“ süsteemi ning võetakse vastu valmis detailid. Laadimine ja maha laadimine teostatakse käsikahveltõstuki abil. Tõstukijuht tõstab paletti laadimisjaamale, seejärel tõstab ta riiulilifti tasemele, kust transportitakse vabale hoiukohale. Analoogiliselt toimub kauba võtmine hoiukohalt.

Ettevõttes paletti transportimiseks kasutatakse käsikahveltõstukit (Sele 7.18). See on mõeldud kaubaaluste siirdamiseks lühidistantsidel (10 m kuni 30 m). Käsikahveltõstuk on odavaim ning universaalseim lahendus paleti teisaldamiseks, ka kitsastes tingimustes, tänu väikesele pöörderaadiusele.

Käsikahveltõstuki tehnilised andmed:

- Tõstejõud 2500 kg
- Maks. tõstekõrgus 190 mm
- Min. kõrgus 85 mm
- Kahvli pikkus 1150 mm

- Kahvli laius 520 mm
- Pöörderaadius 220 °
- Kaal 65 kg [16]



Sele 7.18. Käsikahveltõstuk [16]

Paletti on vaja tõsta riiulilifti ulatuse kõrgusele. Selle probleemi lahendamiseks saab aidata statsionaarne tõstelaud, u-laua tüüpi (Sele 7.19). Kasutatakse enamasti aluste tõstmiseks töötasapinda või teisele korrusele.

Vaatame kahte kontseptsiooni (ideelahendust).

Esimene kontseptsioon



Sele 7.19. U-kujuline tõstelaud [17]

Valitud käärtõstuk – statsionaarne U-kujuline tõstelaud. Hüdrauliline tõstelaud, mille töökõrgus on lihtsalt reguleeritav. Selle konstruktsiooni eeliseks on, et puudub vajadus põranda süvendite järele. Laadimine ja maha laadimine toimub kahveltõstuki abil. U-kujuline tõstelava on väga madala algkõrgusega. Võimaldab käsikahveltõstukil oleva palettiga lava kohale sõita. See konstruktsioon sobilik kasutamiseks koos riiuliliftiga, mis on varustatud teleskoopmehhanismiga.

U-kujulise tõstelaua tehnilised parameetrid:

- Tõstelaua tõstejõud 1000 kg.
- Tõstekõrgus 80 - 780 mm.
- Platvormi mõõdud 1420 x 1140 mm.
- Sisse ehitatud hüdraulika (2 silindriline) 0.75 kW hüdraulika mootoriga.
- Elektrimootor 3 faasiline 380 V.
- Tõstekiirus raskusega 42 mm/s.
- Allalaskumise kiirus raskusega 48 mm/s
- Kaal 250 kg. [17]

Teine kontseptsioon

Teine kontseptsioon, statsionaarne U-kujuline tõstekonveier (Sele 7.20), on mõeldud kasutamiseks koos riuliliftiga, mis on varustatud tõmbemehhanismiga (haaratsmehhanism) paleti ladustamiseks ja laoriulid on varustatud rullikutega. U-kujulise tõstekonveieri töö kõrgus on reguleeritav, puudub vajadus süvendi järele pörandas. Laadimine ja maha laadimine toimub kahveltõstukiga abil. Võimaldab käsikahveltõstukil oleva paletiga lava kohale sõita.



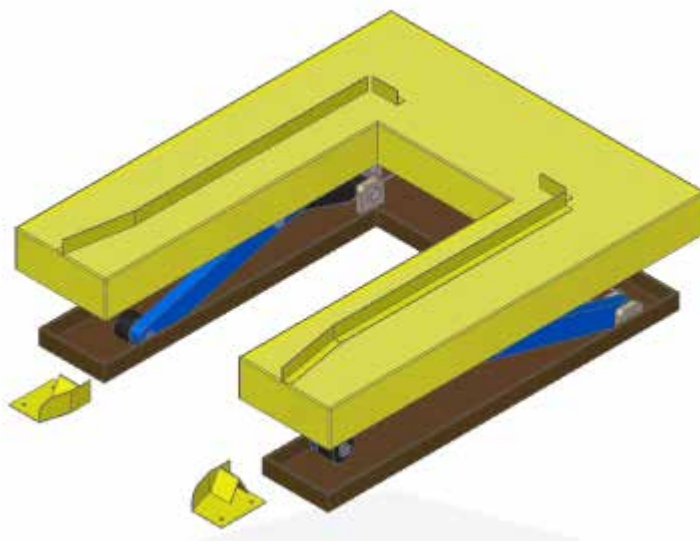
Sele 7.20. U-kujuline tõstekonveier rullikutega [12]

U-kujulise rullikutega tõstelaua tehnilised parameetrid:

- Tõstelaua tõstejõud 1200 kg
- Tõstekõrgus 75 mm - 800 mm

- Elektriitide 400 VAC
- Tõstekiirus raskusega 0,07 m/sek
- Konveieri kiirus 0,3 m/sek
- Gabariitmõõdud 2056 mm × 1620 mm × 1158 mm (p × l × k) [12]

Autori poolt välja töötatud algne konstruktiivne (3D) lahend, mis on kujundatud seel 7.21. Antud mudel ei ole lõplik vaid on sisendiks edasisele konstrueerimisele.



Sele 7.21 U-kujuline tõstelaud

7.3. Ladustamissüsteem

Kui toote tuvastamine on sooritatud, tuleb asuda kauba paigutamisele hoiukohtadele laos. Traditsiooniliselt palettide hoiustamiseks kasutatakse riiuleid. Riiulid võivad olla erinevate kõrguste ja laiustega, kandetalad erineva pikkuse ja kandevõimega, valitakse konkreetselt vastavalt ettevõtte vajadustele. Võimaluste paljusus muudab lihtsa riiulite süsteemi kasutamise väga paindlikuks. Riiulite kasutamise eesmärgiks on kasutada efektiivselt lao põrandapinda ja võimaldada laos efektiivset tööd.

Konventsionaalse lao all mõeldakse kaubaaluseriulitega traditsioonilist ladu, see on kõige levinum laotehnoloogia maailmas. Antud juhul on see laotehnoloogia kõige sobilikum ettevõttele.

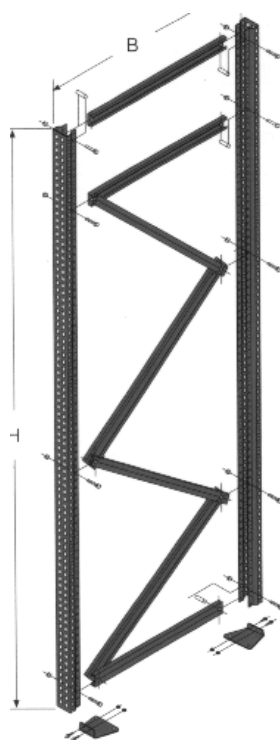
Konventsionaalse lao eelised on:

- vahetu ligipääs kõikidele hoiukohtadele
- kaubaaluseid on võimalik teisaldada muid aluseid ümber paigutamata

- inventuuri tegemine on lihtne, sest iga kaubaalus asub eraldi hoiukohal, millele on vaba juurdepääs
- võimalus ladustada eri suuruse (laiuse ja kõrgusega) ning kaaluga kaubaaluseid
- riiulite horisontaaltalaseid saab suhteliselt kiiresti ja hõlpsasti ringi tõsta, lisada või nende arvu vähendada. [9]

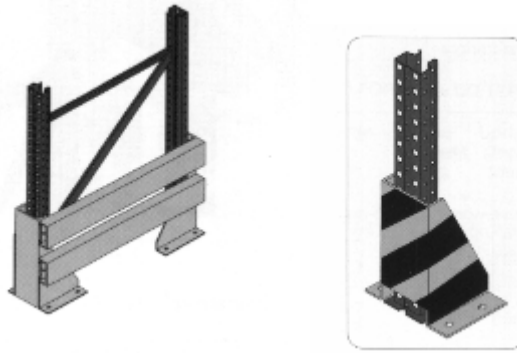
Riiulite kõrgus on enamasti 5 m kuni 8 m, standardkõrguste vahemik on tavaliselt 1,5 m kuni 6,5 m. Riiulite postid valitakse koormuse järgi vastavalt kaubaaluste raskusele. Riiulitalad ehk õrred kannavad tavaliselt koormust 850 kg – 1200 kg aluse kohta. [9]

Riiulipostid ühendatakse enne püsti ajamist poltide abil diagonaalidega (Sele 7.22). Nii saadakse külg- ja otsaraamid. Riiulipostide alumistesse otstesse kinnitatakse enne püstitamist poltidega postitallad. Peale raamide püstiajamist ja õrtega ühendamist seatakse riiulirivid täpselt joonele ja postid looditakse. Seejärel kinnitatakse postitallad poltide ja kiilankrute abil põranda külge. [9]



Sele 7.22. Riiuli külgraam

Külgraamide kaitseks tõstukite poolt tekitatavate vigastuste eest kinnitatakse riiuli otstesse põranda külge tõstukikaitseid (Sele 7.23). Kuna tõstukitega on võimalik riiuliposte suhteliselt lihtsalt vigastada, oleks õige kaitsta iga riiuliposti vigastamiste eest eraldi. [9]



Sele 7.23. Riiulraami kaitse ja madal postikaitse

Kui riiulitel on rasked kaubaalused, tekitavad riiulipostid betoonpõrandale suurt rõhku (ca 50–80 kg/cm²). Seetõttu on riiulipostide otstes poltidega kinnitatavad nn postitallad, et rõhku betoonpõrandale kokkupuutepunktidest vähendada ja ühtlaselt edasi anda.[9]

Riiulite horisontaaltalaseid valmistatakse üldjuhul järgmiste pikkustega:

- 950 mm 1-le EUR alusele
- 1850 mm 2-le EUR alusele
- 2750 mm 3-le EUR alusele
- 3600 mm 4-le EUR alusele
- 2300 mm 2-le FIN alusele
- 3400 mm 3-le FIN alusele [9]

Kaubaaluste vahele riiulitel ja kaubaaluse ning riiuliposti vahele peaks jääma aluse paigutamisel hoiukohale 80 mm kuni 100 mm vahe. Riiulikonstruktsioonide külge saab kinnitada spetsiaalse moodulmõõtudega turvavõre, mis takistab kaupade väljakukkumist riiulist. [9]

Vahekoridoride laiused ladudes:

- tugiratastõstuki (vornastaja) kasutamisel 2300 mm – 2500 mm
- liikuvmastiga tõstuki kasutamisel 2700 mm – 2900 mm
- vastukaaltõstuki kasutamisel 3000 mm – 3500 mm [9]

Laoriuli konstruktsiooni valik

Ettevõtte keevitusrakise palett vastab EUR alusele mõõtutele, siis on otstarbekas valida standardne lahendus.

Ettevõtte laoriuli valikuks on järgmised tingimused:

- maksimaalne lubatud kõrgus on 4500 mm (kõrgel laes sõidab edasi-tagasi

sildkraana, horisontaalne poomi alumine äär liigub 5000 mm kõrgusel. Seega laoriuli ülemine piir ja tooted ei tohiks ületada kõrgust 4500 mm)

- maksimaalne lubatud pikkus on 7000 mm
- maksimaalne lubatud sügavus peab vastama ühe paleti pikkuse, ehk siis 1100 mm
- maksimaalne lubatud ladustatav mass [kg] (toodete summaarne mass, mis võiks olla hoiustamise ajal laos, arvutus on ära toodud allpool)

Ohutuse tõstmiseks peab ümbritsema automaatseadmed ja robotid spetsiaalsete piirdevõrkudega. Vastasel juhul võivad töölised tahtmatult liikuvate masina osade vahele sattuda.

Vastavalt andmetele, mis on toodud tabelis Tabel 7.3 Toodete summaarne keevitusae, tänase koormusega on vaja kolme lao kohta. Kui ettevõtte tõstab tootlikust kolm korda, siis nõudlus suureneb kuni üheksa lao kohani. Lubatud ruumi alusel saab planeerida rohkem kui üheksa kohta, ülejäänud kohad saab kasutada reserviks tühjade palettide hoidmiseks (väiksemate toodete omad) ja esimese vahetuse 4...5 tootepaleti jaoks.

Vastavalt lubatud ruumi alusel saab paigaldada riulisüsteemi kuni 4500 mm kõrgusega. Süsteemi põhikomponendid on: külgraamid ja talad, need komponendid on valitud firma Laomaailm kataloogist. Kataloogi järgi on valitud mudelireast külgraamid kõrgusega 4500 mm ja sügavusega 1100 mm. Posti profiili ja laiuse saab valida ainult peale külgraamide koormuse leidmist. Lubatud pikkuse sisse peab mahtuma laadimisjaam. Nende tingimuste järgi arvutatakse, mitmeks segmentiks saaks jagada laoriulid. Pikkuse reast on valitud järgmised talade pikkused: 2750 mm (3×palett) ja 2×1850 mm (2×palett). Talade profiil valitakse samuti peale koormuse leidmist. Esimese riulitasapinna kõrgus maapinnast on piiratud miinimum riulilifti algkõrgusega, see on 400 mm maapinnast. Samuti laoriuli sees paremas nurgas tuleb jätta vaba ruum laadimisjaama paigaldamiseks.

Vaba ruumi kõrguse arvutamine:

Kõige kõrgema toote kõrgus koos paletiga on 1500 mm, toode on vaja tõsta 400 mm kõrgusele, see tähendab, et kõrgem punkt on 1900 mm kõrgusel maapinnast, lisaks lisame varuks 100 mm. Kokku tuleb laadimise kõrguseks 2000 mm(minimaalselt). See tähendab, et ühel laoriuli vahel esimene riulitasapind on orienteeruvalt 2100 mm kõrgusel (täpne kõrgus selgub, kui on valitud tala mudel).

Et leida laoriuli koormused, esialgu tuleb grupeerida tooted kõrguse järgi. Vastavalt andmetele mis on toodud tabelis 7.1 on jagatud tooted kolmeks gruppiks: 1600 mm, 900 mm ja 600 mm (mõõtude sisse on lisaks arvestanud kõrgus 100 mm, mis on vaja paleti tõstmiseks maha laadimisel või väljavõtmisel). Edaspidi arvutatakse, kui palju riulitasapinda läheb vaja iga grupi jaoks.

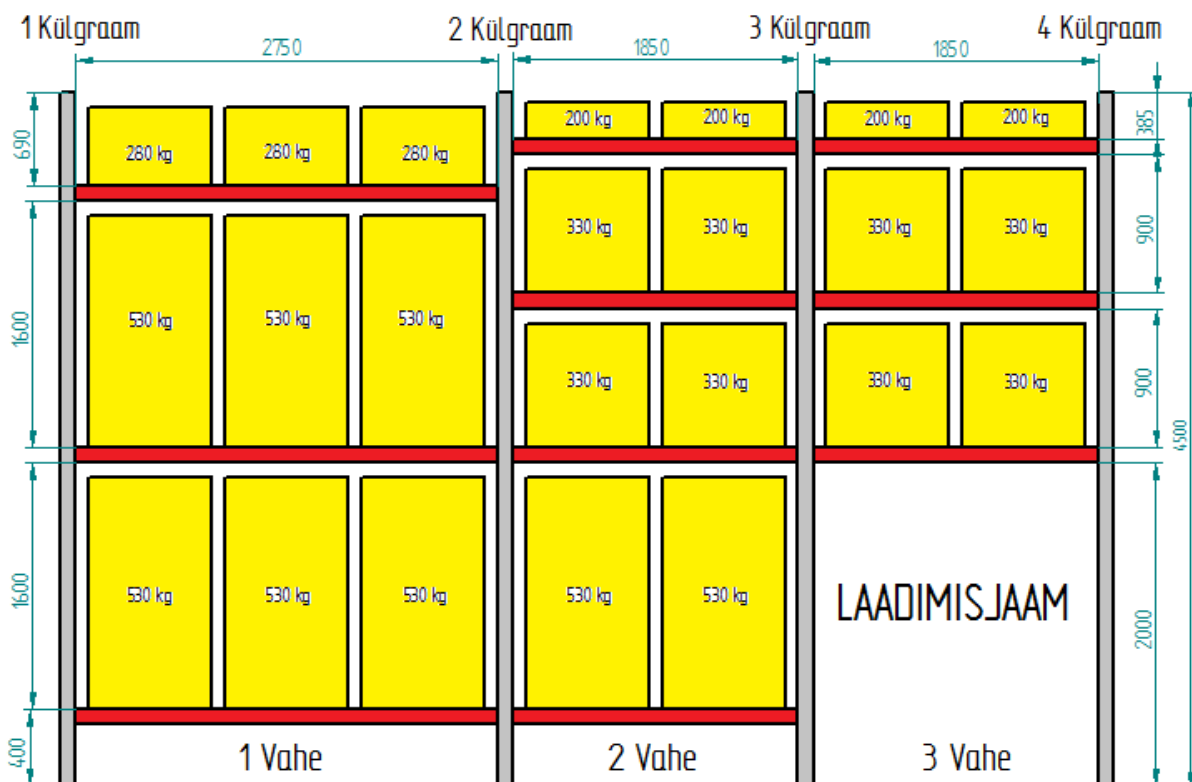
Tabel 7.1. Toodete grupid kõrguse järgi

I Grupp	II Grupp	III Grupp
maksimaalne kõrgus 1600 mm maksimaalne toote mass 530 kg	maksimaalne kõrgus 900 mm maksimaalne toote mass 330 kg	maksimaalne kõrgus 600 mm maksimaalne toote mass 280 kg
1) A70 esiosa 2) A70 tagaos 3) A60 esiosa 4) A60 tagaos 5) AM755 tagaos 6) Uue malli kopp (1200 mm) 7) Uue malli kopp (1400 mm)	1) AM755 õlipaak 2) Vana malli nupagodi – 5 piiki 3) Vana malli nupagodi – 6 piiki 4) Vana malli nupagodi – 7 piiki 5) Uue malli nupagodi – 6 piiki 6) Kopp 60 kg(1050 mm) 7) Kopp 60 kg(1058 mm) 8) Kopp 70 kg(1200 mm) 9) Kopp – 1050 mm(270 liitrit)	1) AM755 adapter

*toodete gabariitmõõdud on saadud 3D mudeli alusel

Külgraami valik

Koostatud riulisüsteem on kujutatud seel 7.24, mis on võimeline ladustama 19 toodet ja lisaks on loodud 4 kohta tühja paletti hoidmiseks. Mudelireast on valitud külgraami profiil C90-12. Maksimaalsed külgraamidele lubatud koormused sõltuvalt riulitasapindade omavahelisest vahekaugustest. Külgraamide tugevuse kontrollimiseks kasutatakse graafikut (Sele 7.25).



Sele 7.24. Riiulisüsteem

Esimene külgraam

Esimese külgraamile rakenduv summaarne mass on $(6 \times 530) + (3 \times 280) = 4020$ kg. Kõige suurem rakenduv mass ühele riiulitasapinnale on 3×530 kg = 1590 kg ja kõige suurem riiulitasapindade vahe on 1600 mm.

Teine külgraam

Esimese vahe poolt on suurem mass ühele riiulitasapinnale on 1590 kg. Teise vahe poolt on 2×530 kg = 1060 kg ning sama riiulitasapindade vahe 1600 mm. Külgraamile rakenduv teise vahe poolt summaarne mass on $(2 \times 530) + (4 \times 330) + (2 \times 200) = 2780$ kg.

Teise vahe poolt rakenduv mass ühele riiulitasapinnale on suurem, järelkult nende andmete alusel määratakse graafikult (Sele 7.25) külgraami lubatud koormus, ja selle profiili külgraami kandevõime on 10800 kg.

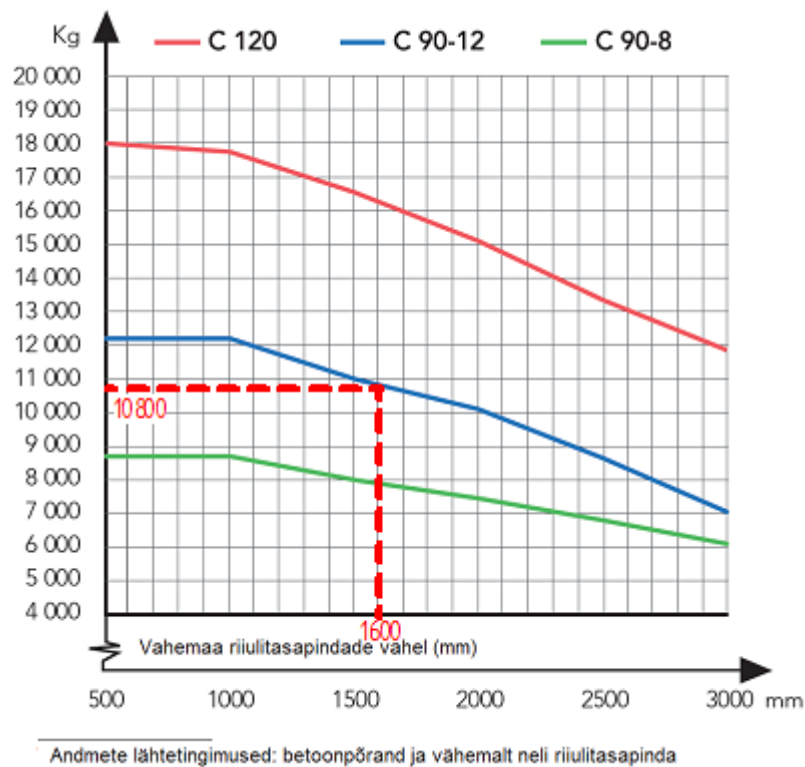
Kolmanda ja neljanda külgraami rakenduvad massid on väikesemad, järelkult külgraami tugevuse kontrollimiseks saaks kasutada esimese vahe andmed.

Arvutamisel võtame arvesse kõige kriitilisemat koormusolukorda, mis võiks tekkida. Sel juhul arvutame, et koormus ei ole ühtlaselt jaotunud vaid rakendub külgraamile täies mahus

(ebahütlane toodete jaotus riiulitel). Siis on teisel külgraamil koormus kokku on $4020 \text{ kg} + 2780 \text{ kg} = 6800 \text{ kg}$. Sele 7.25 näitab, et 1600 mm riiulirasapindade vahe korral külgraami profiiliga C90-12 lubatud maksimaalne koormus on 10800 kg.

$$6800 \text{ kg} < 10800 \text{ kg}$$


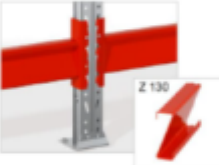

See võrrand näitab, et valitud külgraami profiil C90-12 tugevus on kindlustatud ja varutegur on $10800 / 6800 = 1,5$



Sele 7.25. Külgraami lubatud koormus (profiil C90-12, vahe 1600 mm ja koormus 10800 kg) [18]

Riiulitala valik

Mudelireast on valitud talade profiil Z105. Talade kandevõime on toodud sele 7.26. Esimese vahe tala pikkus on 2750 mm ja kõige suurem rakenduv summaarne mass talapaari kohta on 1590 kg.

TALAD				Kandevõime* (kg)		Alused** (tk)
Profiil	Kõrgus (mm)	Laius (mm)	Pikkus (mm)	C90	C120	
	105	45	950	3150	3400	1 x EUR
			1200	3000	3200	1 x FIN
			1850	2900	3000	2 x EUR
			2300	2500	2750	2 x FIN
			2750	2100	2330	3 x EUR
	130	45	1850	4000	4500	2 x EUR
			2300	3700	4000	2 x FIN
			2750	3400	3750	3 x EUR
			3000	3100	3480	MIX
			3300	2800	3150	3 x FIN
			3600	2570	2900	4 x EUR
	160	50	3300	4200		3 x FIN
			3600	4000		4 x EUR

* kandevõime kehtib talapaari kohta
 ** optimaalne rünnikasutus astud aluste hulga korral

Sele 7.26. Riulitalade parameetrid [18]

Tabeli andmete järgi tala profiil Z105 ja pikkusega 2750 mm, mis sobib posti profiili C90, maksimaalne kandevõime on 2100 kg.

$$1\ 590\ \text{kg} < 2\ 100\ \text{kg}$$

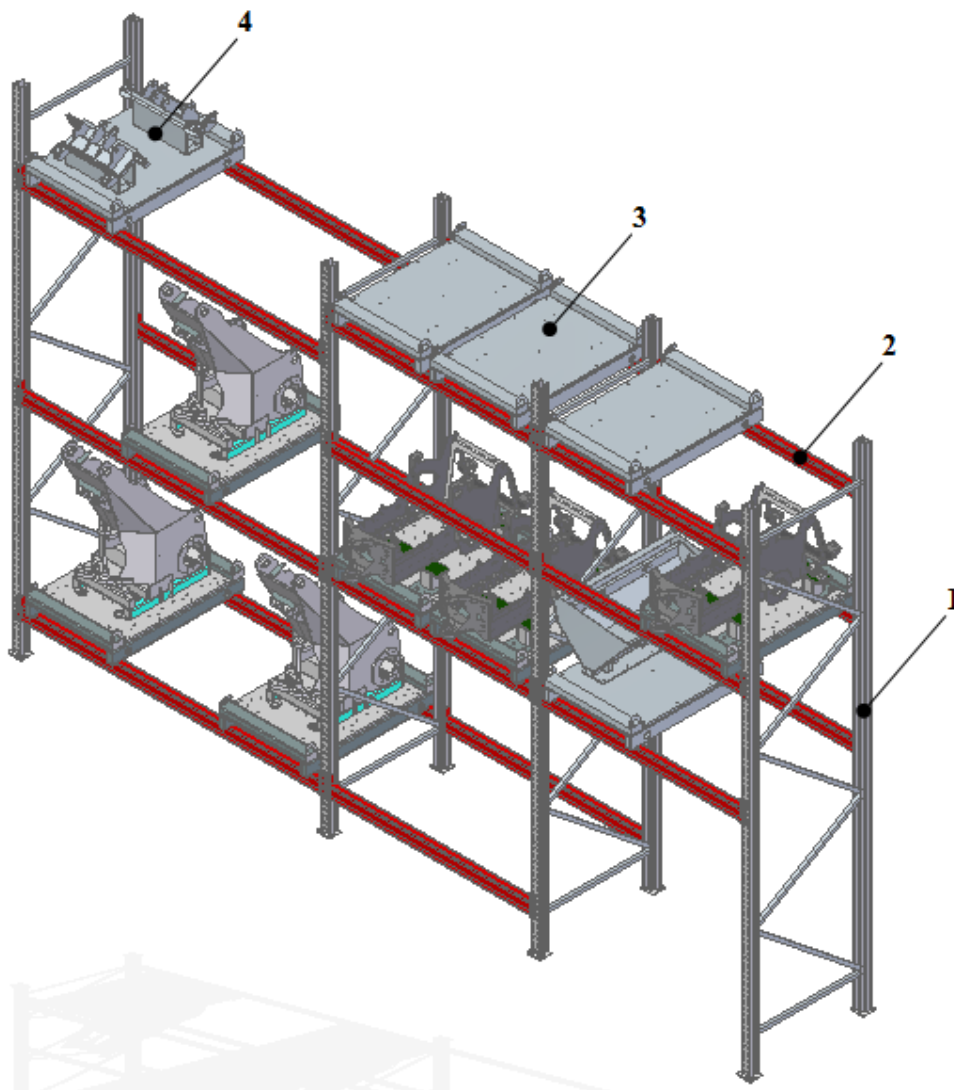
Võrrand näitab, et valitud tala profiil Z105 tugevus on kindlustatud, varutegur on 1,3.

Laoriivli koostamiseks ostutoodete kohta on koostatud loetelu ja hinnakiri mis koos summaga on näidatud alljärgnevas tabelis (Tabel 7.2). Hind kujuneb firma Laomaailm hinnapakkumise alusel.

Tabel 7.2. Laoriivli standardiseeritud ostutooted

Nr.	Toode	Kogus, tk	Ühiku hind, EUR	Hind kokku, EUR
1.	külgraam C90-12T 4500x1100 mm	4	102,00	408,00
2.	tala 2750x105mm EUR 3x700kg	6	29,38	176,28
3.	tala 1850x105mm EUR 2x1450kg	14	22,03	308,42
4.	stopper riulitalale	40	0,16	6,4
5.	postikaitse EUR C90, H = 200 mm, RAL2002	2	17,14	34,27
6.	betonikruvi 75x10 (pd)	20	0,48	9,60
7.	tagavõrk EUR 1200 x 2200 mm (lk), RAL9018	12	57,60	691,20
8.	konsool tagavõrgule EUR 150 mm, RAL9018	12	6,72	80,64
Summa				1715,00

Autori poolt on välja töötatud algne konstruktiivne (3D) lahend, mis on kujutatud seel 7.27. Antud mudel ei ole lõplik vaid on sisendiks edasisele konstrueerimisele.



Sele 7.27. Välja töötatud riuli 3D mudel koos toodetega, 1- Riuli külgraam, 2- Riulitala, 3- Tühi palett, 4- Palett tootega

8. JUHTIMISSÜSTEEM

8.1. Automaatne toodete tuvastamine

Liikumine logistilistes süsteemides peab olema jälgitav. Toode liikumised on vaja registreerida lao infosüsteemis. Selleks, et muuta lao infosüsteem kiiremaks ja vähendada vigasid, võetakse kasutusele andmekogumissüsteem. Süsteem mis võimaldab automaatselt sisestada andmed arvutisüsteemi, loogikakontrollerisse või mujale mikroprotsessori poolt juhitava seadmesse. Automaatne andmekogumissüsteem kasutab erinevaid tehnoloogiaid, et logistilist infot võimalikult kiirelt koguda, salvestada ja töödelda, üks nendest on automaatne toodete tuvastamine (identifitseerimine). [19]

Automaatne tuvastamine (*Automatic Identification* – Auto ID) on esemete, inimeste ja toimingute äratundmine tehniliste seadmete abil ja vastavate andmete edastamine andmekogumissüsteemi. Toimingute eesmärk on vähendada ajakulu tuvastamisel ja vigu andmete sisestamisel tarkvarade andmebaasidesse. [9]

Automaatseks tuvastamiseks kasutatakse erinevaid tehnoloogiaid, nagu vöötkood raadiomärgid, magnetriba, hääle ja pildi tuvastamine ning biomeetria (Sele 8.1). On selge, et sellisest valikust on võimalik leida probleemi lahendamiseks kõige sobivam tehnoloogia sellest olenemata, kas on vaja lihtsustada dokumentide jälgimist kontoris, jälgida kaupade liikumist konveieril, veokeid või vaguneid.

Vaatame läbi, millised tehnoloogiad on turul kättesaadaval. Automaatse tuvastamise meetodid võib jaotada kasutatava tehnoloogia alusel kuude eri rühma:

Optilised: Vöötkood (*bar code*) (kaasaarvatud kahemõõtmelised koodid), optiline märgi tuvastamine (*optical character recognition - OCR*), nägemissüsteemid (*vision systems*), märgi tuvastamine (*mark sense*)

Magnetilised: Magnetriba (*magnetic stripe*), magnetilise tindimärgi tuvastamine (magnetic ink character recognition - MICR)

Elektromagnetilised: Raadiomärgi tuvastamine (*radio frequency identification - RF/ID*) ja raadio teel andmete edastamine (*radio frequency data communication - RF/DC*)

Biomeetrilised: Hääle tuvastamine (*voice recognition*), sõrmejälgede tuvastamine (*fingerprint recognition*), silma võrkkesta tuvastamine (*retinal eye recognition*)

Puutetehnoloogia: Puutemälud (*button memory*)

Kiibid: Kiipkaardid (*Smart Card*) [20]



Sele 8.1. Tuvastamise tehnoloogiad [20]

Kasutatavate tehnoloogiate mitmekesisuse taustal ei ole õige väita, et mõni neist oleks parem kui teine. Iga konkreetne probleem vajab individuaalset lähenemist. Ühele sobiv tehnoloogia ei pruugi lahendada teise probleeme. Parima lahenduse leidmine eeldab oma vajaduste tundmist ja nende kokku sobitamist tehnoloogiate poolt pakutavate võimalustega.

Üritatud on leida ettevõttele sobilik identifitseerimis süsteemi lahendus, mis oleks piisavalt töökindel. Igal tehnoloogial on plusse ja miinuseid, mida peaks nende juurutamisel arvestama.

Optiline tehnoloogia (vöötkood) - on suhteliselt odav meetod. Vajab otsenähtavust, kood peab olema nähtav ja piisavaga kontrastiga. Keevitusoperatsioon tekitab palju lähikeskkonna saastatust, on suur oht, et ribakood läheb mustaks, samuti suhteliselt lihtsalt on võimalik vigastada markeeringut, mistõttu lugemisseade ei saa skanneerida koodi. Koodi ei ole võimalik ümber kirjutada või lisainfoga täiendada. Kuna palett on universaalne ja sobib pea kõikidele toodetele, siis toote vahetuse korral on vaja alati uuendada vöötkoodi ning selle unustamine võib põhjustada tehnoloogilise protsessi rikkumisi. Kokkuvõtteks võib öelda, et see meetod ei sobi ettevõttele.

Elektromagnetiline tehnoloogia (RFID)- kiibile on salvestatud kood, mis loetakse vastava lugemisseadega raadiolainete abil. Võrreldes vöötkoodiga on võimalik ümber kirjutada RFID kiipe. Samuti on raskendatud kasutamine metallpindadel, sest lugeja antenni

elektromagnetväli neeldub. Kuna tegemist on metallkonstruktsioonidega, siis see meetod ei ole soovituslik ning ei pruugi sobida enne põhjalikku testimist.

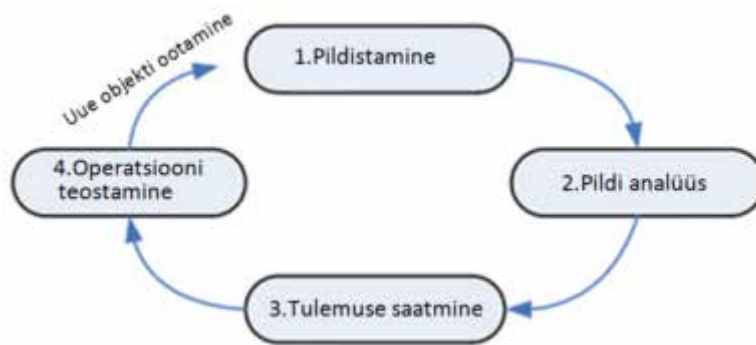
Kiipkaart- andmete lugemine nõuab mehaanilise kontakti olemasolu. Kaardil oleva kiibi kontakte on lihtne vigastada ja need kontaktid võivad oksüdeeruda, mistõttu tekib raskusi kaardi lugemisega. See meetod samuti ei sobi antud projektile.

Biomeetriline tehnoloogia (häältuvastus, silma võrkkesta tuvastamine ja sõrmejälgede tuvastamine) – kasutatakse peamiselt isiku tuvastamiseks. Võib öelda, et biomeetriline tehnoloogia ei sobi antud projektile.

Kõige sobilikumaks süsteemiks võib lugeda **optilise tehnoloogia** alla kuuluvat **masinänagemissüsteemi**. See on suhteliselt innovaatiline tehnoloogia tootmise automatiseerimisel. Selleks kasutatakse videokaamerat, mille signaalid edastatakse juhtseadmesse, kus toimub kujundite tuvastamine, s. t. vastuvõetud kujutiste dekodeerimine ja filtreerimine ehk olulise informatsiooni eraldamine mitteolulisest ning selle muutmine juhtimissüsteemile arusaadavaks. Keerukuse ja kalli hinna tõttu pole masinänegimine veel laialt levinud, kuid selle täiustamine on robotitehnika üheks põhiülesandeks. [21] On mitu põhjust, et rakendada seda antud projekti juhtimissüsteemis. **Esiteks** keevitusrobot on programmeeritud selliselt, et toode peab olema lauale kinnitatud kindlaksmääratud asendis. Seetõttu tuleb eelnevalt kontrollida toote ja paleti asendit, enne robotsüsteemi laadimist. Selleks kasutatakse kujundi tuvastusega kaamerasüsteemi. **Teiseks** kaamerasüsteem on samuti vajalik toote tuvastamisel, selleks et laadida robotsüsteemi toote valmistamiseks vajalik programm. **Kolmandaks** palette kasutatakse erinevate toodete jaoks, sel juhul on oht, et uus vöökoodi etikett jääb trükkimata või RFID jääb ümber kirjutamata, mis on ohuks keevituse operatsioonile. **Neljandaks** lisaks kvaliteedi tagamisele tõstab tootmise automatiseerimine tööviljakust.

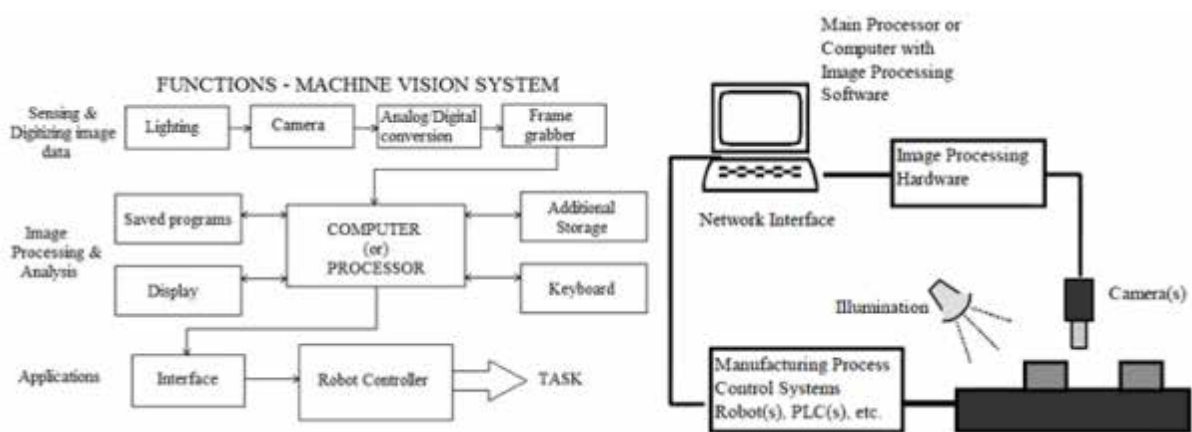
Masinänagemissüsteemi puhul on tegemist uue meetodiga toote tuvastamisel. Tuvastamiseks on süsteem varustatud kaameraga. Süsteemi tööd võib kirjeldada järgneva nelja sammuga (Sele 8.2):

1. Pildistamine: tehakse toote pilt
2. Töötlemine ja analüüs: analüüsitakse pilti
3. Kommunikatsioon: tulemus edastatakse protsessijuhtimissüsteemile
4. Tegevus: sõltub saavutatud nägemissüsteemi tulemustest



Sele 8.2. Üldine masinanägemissüsteemi tegevuste järjekord

Masinanägemissüsteemi andmete liikumine ja funktsionaalne skeem on kujundatud alljärgneval seel 8.3.

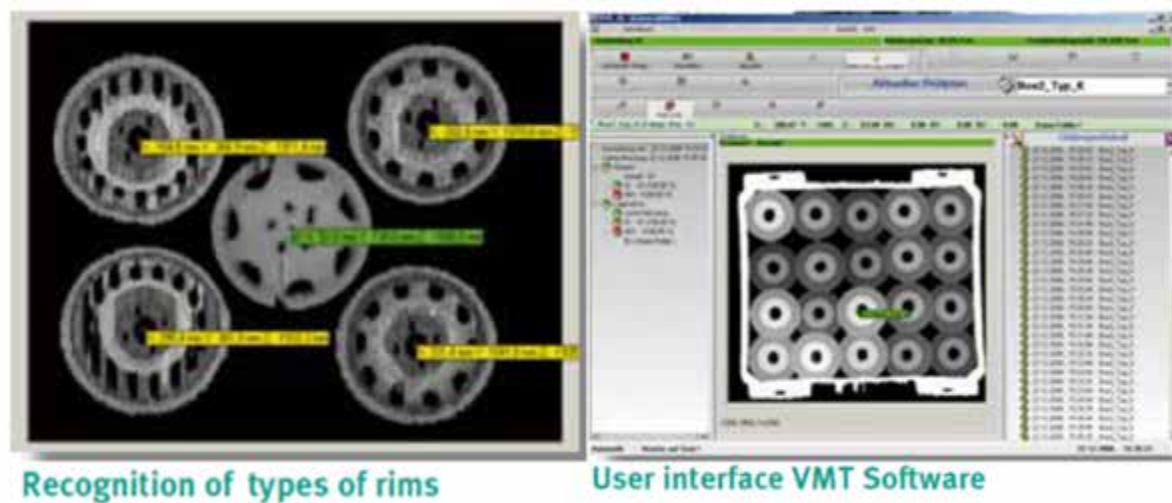


Sele 8.3. Masinanägemissüsteemi funktsionaalne skeemja andmete liikumine [22]

Süsteem valgustab toodet ja kaamera teeb pilti, seejärel pilt edastatakse arvutisse. Arvutis pilti võrreldakse (analüüsitakse) teistega piltidega, mis asuvad andmebaasis. Kui pilt (toode) vastab andmebaasis olevat pildile (toodele), siis arvuti väljastab vastava signaali juhtimissüsteemile. Tuleb tagada, et toode oleks sisestatud õigetpidi, vastaval juhul nägemissüsteem ei tuvasta toodet.

Firma „Pepperl+Fuchs“ on maailma üks suurimatest tööstusautomaatika valdkonna toodete, süsteemide, lahenduste pakkuja. Firma pakub täiuslikke lahendusi sellistele valdkondadele nagu tööstuslik pilditöötlus. Üks nendest on VMT (*Vision Machine Technician*) pilditöötlussüsteem, koosneb kaamerasüsteemist ja tarkvara lahendusest (Sele 8.4). Tarkvara abil võrreldakse kaamera poolt tehtud pildid andmebaasis olevate piltidega ja selle põhjal

tehakse otsus toote kohta. „Pepperl+Fuchs“ firma poolt pakutav tehnoloogia on võimalik kasutada Norcari projektis.



Sele 8.4. "VMT" kaamerasüsteemi kasutusvaldkond ja kasutajaliides [11]

8.2. Inimese-masina-liides

Inimese-masina-liides (IML) on süsteem, mille abil toimub inimese ja arvutiprogrammi vaheline suhtlemine. Ning võimaldab jälgida ja juhtida protsessi. Koosneb kuvarist ning juhitava protsessiga seotud tarkvarast. Kasutajaliides sisendiks on käsud, mis sisestab operaator ja väljundiks on süsteemi käskudele vastus. Käsud on kindlaks määratud kogum ja kuvatakse kasutajaliide ekraanil. Põhiliselt eristatakse graafilisi ja käskjuhitavaid kasutajaliideseid. Käskjuhitavaid kasutajaliideseid nõuavad programmeerimiskeele oskust. Graafiline kasutajaliides on enamasti menüüpõhine süsteem, kus kasutaja saab menüüdest toiminguid valida. Otstarbekas on kasutada graafilist kasutajaliidest, mis teeb süsteemi kasutamise ja opereerimise lihtsamaks. Graafilise kasutajaliidese vahendusel saab kontrollida ja täielikult juhtida kõiki arvutiga ühendatud mooduleid. Graafiline kasutajaliides sisaldab järgmised komponendid: kuvaril liikuv kursor, ikoonid, aknad ja menüüid.[23]

Kasutajaliides peab olema mugav, kiire ja lihtsa struktuuriga, et kasutaja suudaks kiiresti ja kergesti omandada oskused liideseiga töötamiseks. Alljärgneval seel 8.5 on kujutatud kasutajaliidese seade puutetundliku ekraaniga.



Sele 8.5. Inimese-masina-liidese seade puuetundliku ekraaniga [24]

Võimalikud IML funktsioonid on järgmised :

- Toote tellimuse loomine - vastavalt töökäsule sisestatakse toodete numbrid ja nende järjekord, kuidas need keevitusrobotis hakatakse keevitama.
- Toodete automaat tuvastamine kinnitamine – vastavalt kuvatud ekraanile toote pilti, siis võrreldakse tootepilti, kuvatakse kasutajale tootekood ja kasutaja kinnitab tootekoodi ja tootenimetuse, et see on õige.
- Uue toode sisestamine - kui tootmisse tuleb uus toode mis on vaja juurutada, siis kasutaja teeb pildi, sisestab tootekoodi ja parameetrid. Ning salvestab need andmeid andmebaasi.
- Protsessi jälgimine ja info kuvamine – toodete arv, kui palju on keskmine tootmisaeg ühe toote kohta, kui palju aega jääb keevituse programmi lõpuni, mitu toodet jääb ootama keevitust.
- Süsteemi oleku kuvamine: hetkeseisund, toodete arv, tellimus
- Käsi režiim/automaatrežiim valik- käsitsi režiimis laetakse laosüsteemi rakised, automaat režiimis tellimuse järgi teostatakse toodete keevitus.
- Koormuse kuvamine- tunnid, toodete arvud, näiteks kas jõutakse ühe vahetusega ära toota
- Vigade info kuvamine – kuvatakse laosüsteemi ja keevitusroboti vead

8.3. Automatiseeritud juhtimissüsteem

Paindootmissüsteemi juhtimiseks kasutatakse arvuti kontrollsüsteemi, mis on liidestatud kõikide töötlemisjaamade ja materjali käitlemis- ning ladustamissüsteemiga. Automatiseeritud juhtimissüsteem koosneb keskarvutist, mitmest väiksemast arvutist ning, programmeeritavatest kontrolleritest, mis juhivad igat masinat individuaalselt. Automatiseeritud juhtimissüsteemis analüüsitakse anduritelt saabuvat informatsiooni juhtsüsteemis ja moodustatakse seejärel täituritele. Automatiseeritud juhtimissüsteemis osaleb operaator juhtimisprotsessis kaudselt protsessi jälgijana, kasutajaliides olevalt kuvarilt abil. Vajaduse korral saab osaleda selle juhtimisprotsessi ümberhäälestajana või ümberprogrammeerijana. [23]

Automatiseeritud juhtimissüsteemi funktsioonid on järgmised :

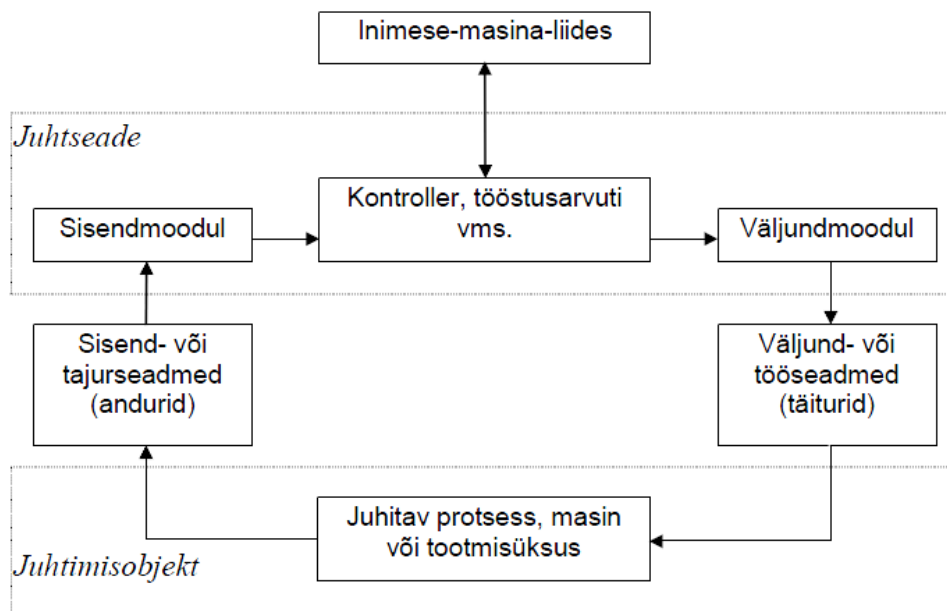
- Töötlusjaamade juhtimine
- Töötlemisjaamade jaotatud kontroll – keskarvuti peab tegelema mitmes pingis toimuvate operatsioonidega.
- Tootmise kontroll – sellega kontrollitakse, milliseid detaile süsteemi lastakse.
- Liikumiste kontroll – kontrollitakse detaili liikumist materjali käitlemis- ja ladustamissüsteemis.
- Töölaudade kontroll
- Detaili jälgimine
- Tööriistade kontroll – kontrollitakse tööriistade asukohta ja eluiga.
- Tootlikkuse jälgimine ja tagasiside – informatsiooni kogumine käimasolevate operatsioonide kohta.
- Diagnostika – kontrollsüsteem diagnoosib võimalikult suure täpsusega süsteemis tekkivad probleemid.

Automatiseeritud juhtimissüsteem koosneb järgmistest põhikomponentidest :

- juhitud protsess - tehnoloogiline tegevus nagu keevitamine, kuumutamine, tükitootmine jne.;
- sisendseadmed - lülitid, kontaktid, andurid, seadurid jne.;
- sisendmoodulid - signaalimuundurid, võimendid, eraldusplokid, filtrid, kaitseahelad jms;

- regulaatorid, kontrollid või juhtarvutid - pidevad või diskreetsed regulaatorid, mikroprotsessoritel kontrollid, laiatarbe või tööstusarvutid;
- juhtprogramm - protsessijuhtimise eeskiri;
- väljundmoodulid - signaaluundurid, võimendid, kaitseahelad jms;
- inimese-masina-liides (IML) - juhtseadme ja protsessi jälgimiseks, juhtimiseks ja programmeerimiseks. [23]

Alljärgneval seel 8.6 on kujundatud automatiseeritud juhtimissüsteemi struktuur ja süsteemi komponendid.

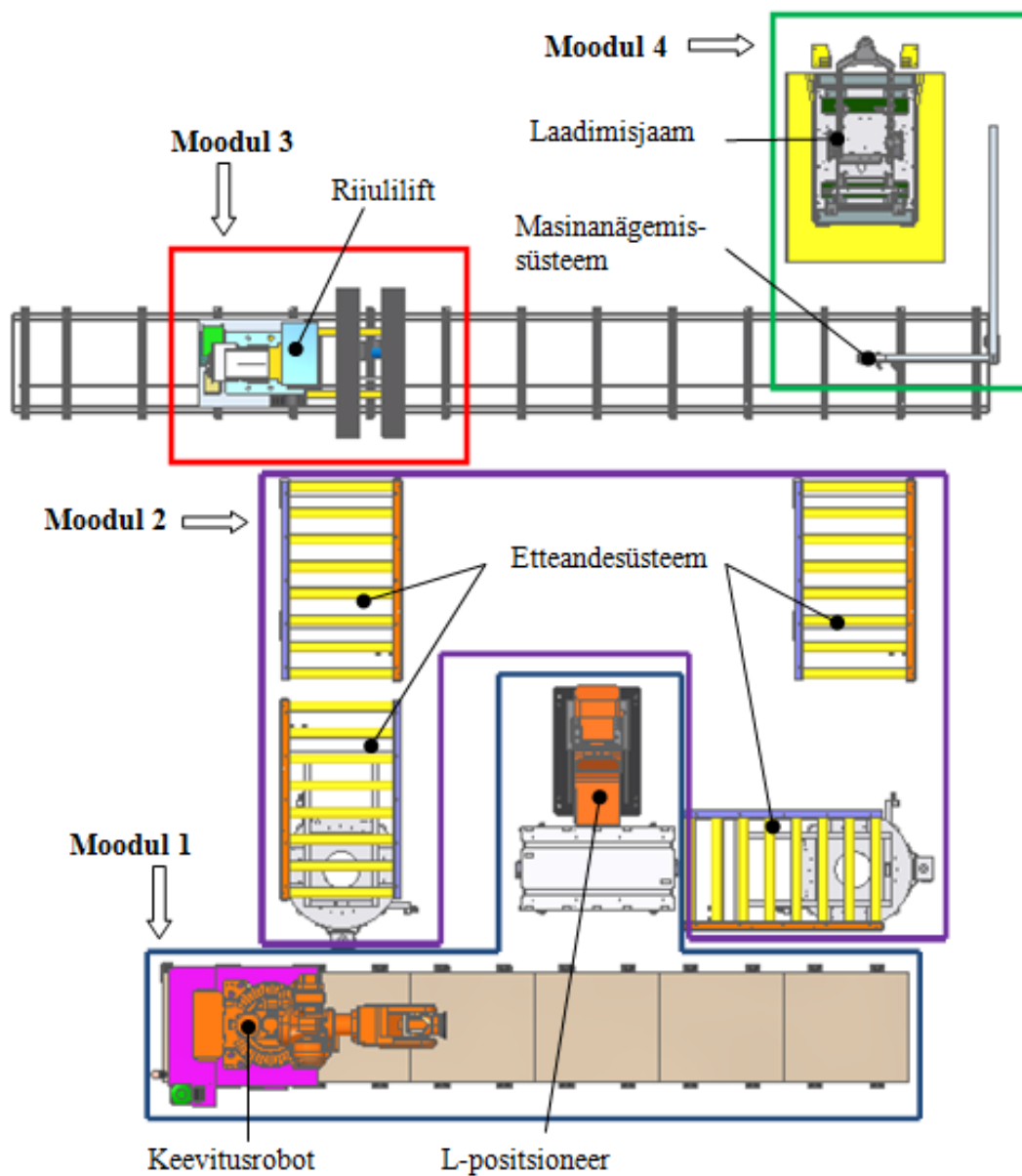


Sele 8.6. Automatiseeritud juhtimissüsteemi struktuur ja süsteemi komponendid [23]

Inimese-masina-liides võimaldab operaatoril sisestada vajalikku infot ning jälgida juhtimisprotsessi. Inimese-masina-liidese poolt saadud infot juhtseadmele töödeldakse ning programmi järgi, mis on salvestatud mälus, väljastab mooduli kaudu juhtsignaalid täiturseadmetele, mis juhivad konkreetset protsessi. Protsessi lõpus juhtimisobjekti andurid edastavad signaalid sisend mooduli kaudu juhtseadmele. Juhtseade töötleb seda infot mällu salvestatud programmi järgi ning infot edastatakse: inimese-masina-liidesele.[23]

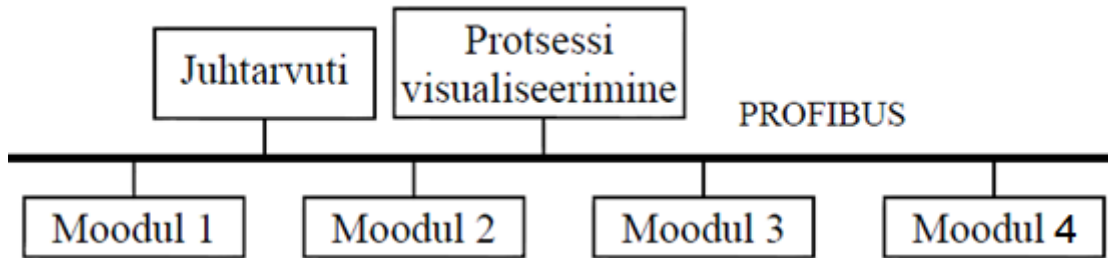
Autori poolt välja töötatud paindtootmissüsteem on jaotatud neljaks mooduliks (Sele 8.7) ja iga mooduli juhtimiseks kasutatakse oma programmeeritavad kontrollid. Igas moodulis on üks kontrollid.

- Moodul 1 juhib keevitusrobotit
- Moodul 2 juhib etteandesüsteemi
- Moodul 3 juhib riiulilifti
- Moodul 4 juhib laadimisjaama ja masinanägemissüsteemi



Sele 8.7. Paindtootmissüsteemi moodulid

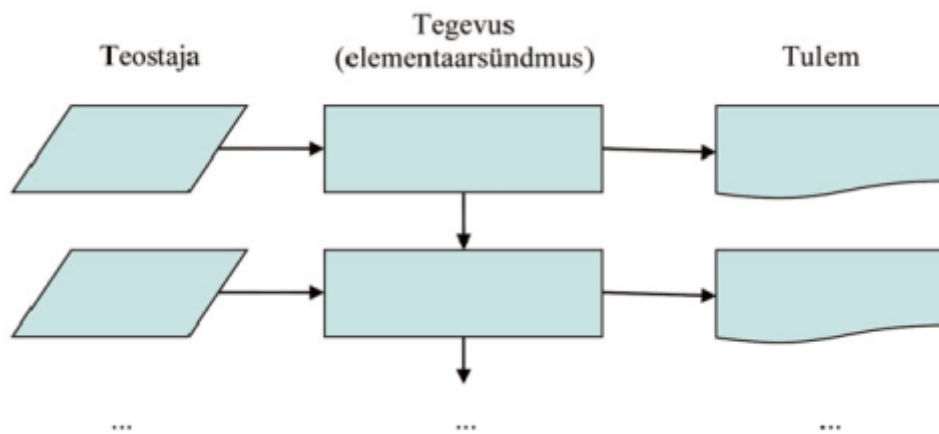
Kõikide moodulite, juhtarvuti ja protsessi visualiseerimisseadmete ühendamiseks kasutatakse andmesidevõrku *PROFIBUS*, mille kaudu toimub seadmete infovahetus (Sele 8.8). Juhtarvuti ülesandeks on koordineerida moodulite omavahelist tööd, protsessi visualiseerimise ülesandeks on esitada eemal paiknevale operaatorile reaalselt protsessi arvuti ekraanil ja IML seadel. [25]



Sele 8.8. Andmesidevõrk profibus [25]

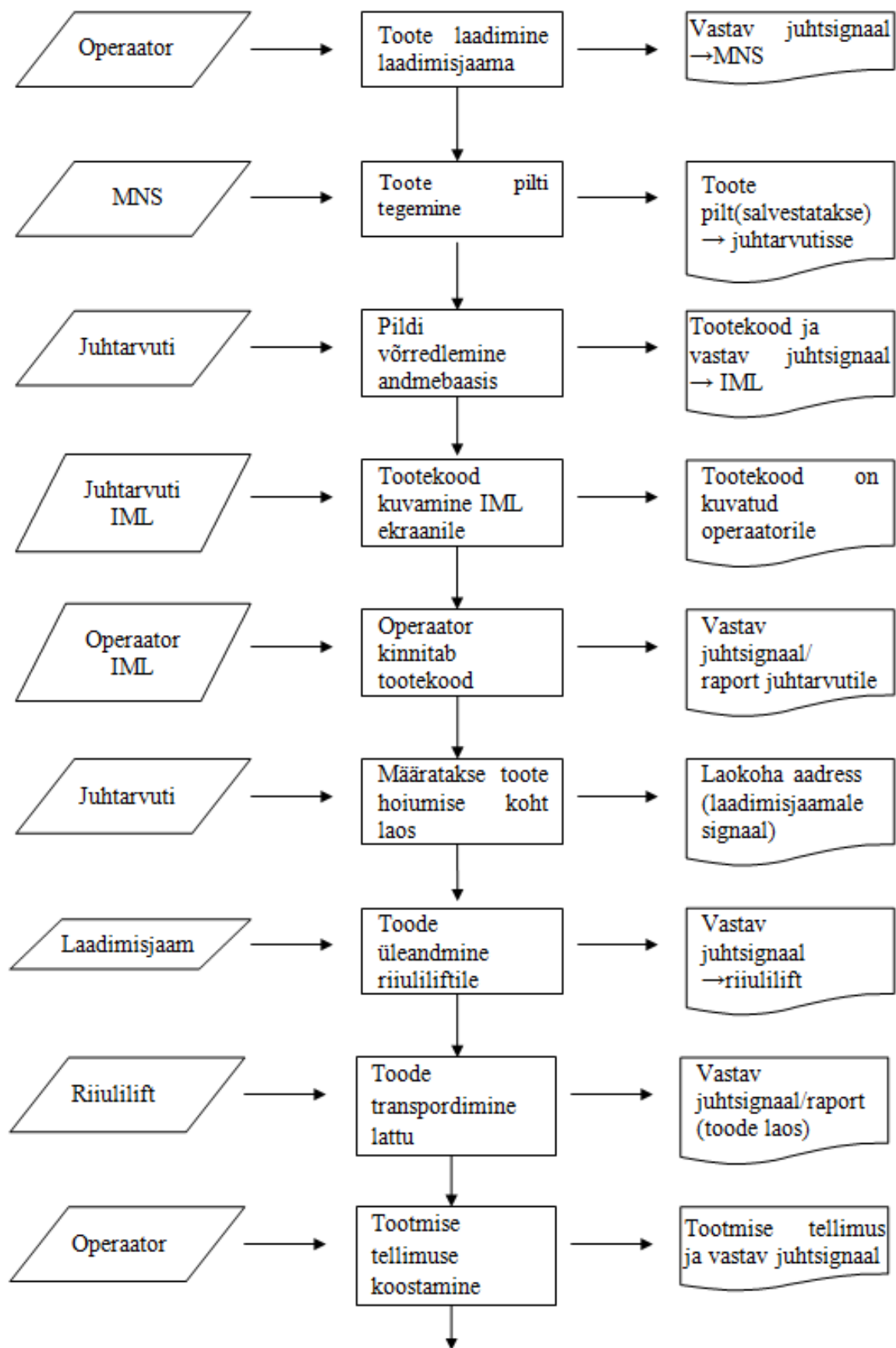
Loodava süsteemi töötükli kirjeldus (automaat-režiim):

Uue protsessi kavandamisel on otstarbekas koostada voodiagramm, mis annab ülevaate loodava paindtootmissüsteemi protsessi olemusest. Voodiagrammiks on elementaarsündmuste loogiline jada, kus on ära toodud ka selle sündmuse teostajad ning oodatavad lõpptulemused [26]. Seel 8.9 on kujundatud protsessi voodiagrammi põhiskeem.

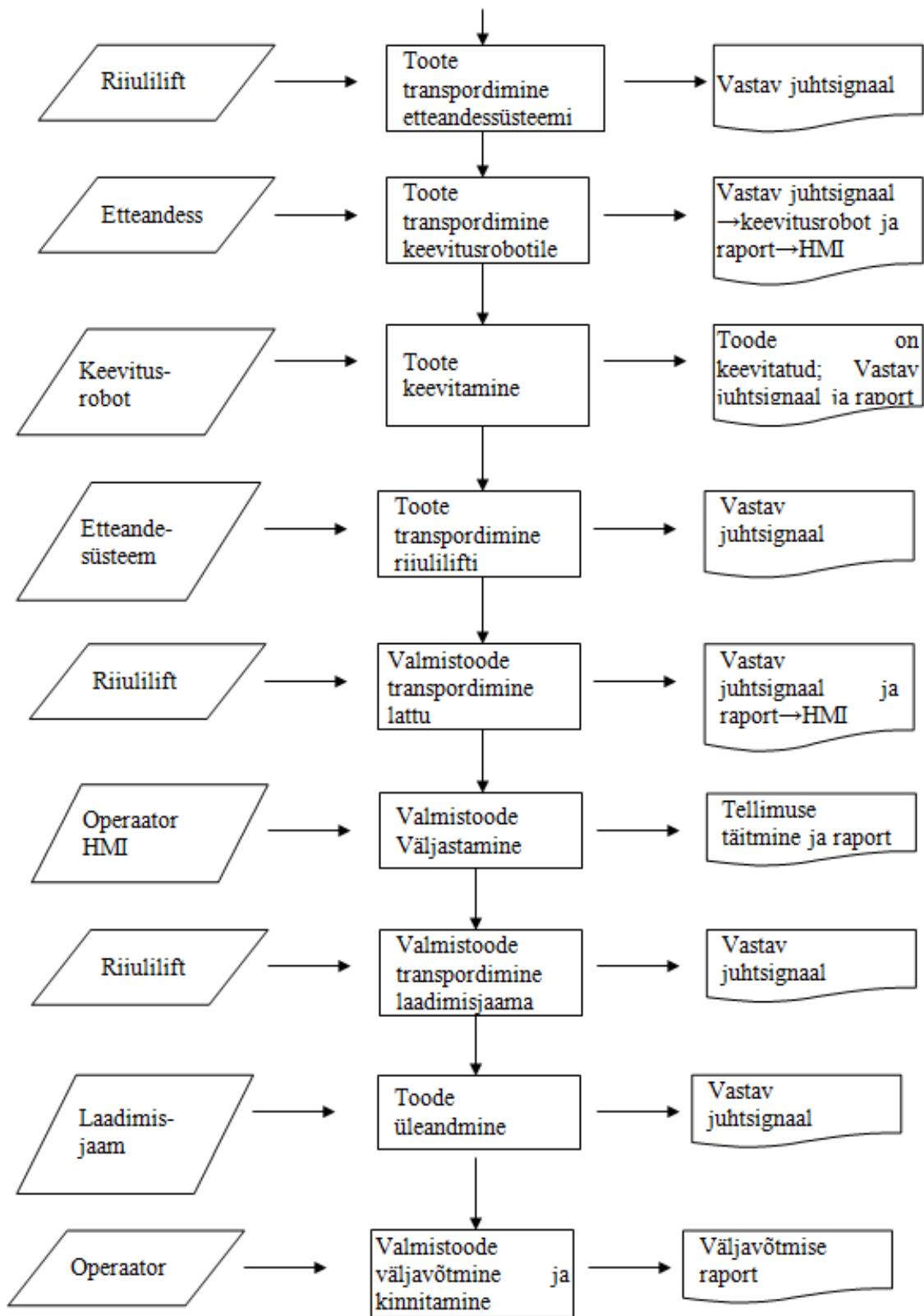


Sele 8.9. Protsessi voodiagramm [26]

Loodava paindtootmissüsteemi protsessi voodiagramm on kujundatud alljärgneval seel 8.10



Sele 8.10. Loodava paindootmissüsteemi protsessi voodiagramm



Sele 8.10(järg). Loodava paindootmissüsteemi protsessi voodiagramm

9. PAINDTOOTMISSÜSTEEMI TEHNILISED NÕUDED

Loodava paindootmissüsteemi toimimise põhimõtted:

Paindootmissüsteem ühendab omavahel kõik süsteemis paiknevad moodulid. Operaatori abil laetakse tooted laosüsteemi. Tellimuse põhjal määratud tooted käivad läbi keevitus protsessi ja seejärel valmistoodang ladustatakse laosüsteemis. Tellimuse järgi, mis on tehtud operaatori poolt, väljastatakse laosüsteemist tooted.

Töö autor pakub välja järgmise tehnilise lahenduse paindootmissüsteemi rajamiseks, kus on toodud loodava süsteemi tehnilised nõuded ja tehniline kirjeldus.

1. Transpordisüsteem:

• Laadimisjaam

koostiosad: U-kujulise tõstelaud

tehnilised nõuded :

tõstejõud minimaalselt 1000 kg. (toote ja rakise mass kokku maksimaalselt 750 kg)

tõstekõrgus minimaalselt 750 mm.

Tõsteplatvormi mõõdud: sobivamaid EUR alustele (800 x1200 mm)

tõstelaua maksimaalsed gabariitmõõdud : 1850 x 1600 mm (laius x sügavus)

Täiendavad nõuded: ei vaja paigaldamiseks süvendit, laadimine ja mahalaadimine kahveltõstuki abil, kontrolloriga ühendamise võimalus, keskmine toimekiirus (50 mm/s minimaalselt)

• Riiulilift

koostiosad: riiulilift rööpadega ja ladustusmehhanismiga

- riiulilift:

Tehnilised nõuded :

tõstejõud minimaalselt 1000 kg + ladustusmehhanismi mass

vertikaalne ulatus kuni 4000 mm

horisontaalne ulatus kuni 6500 mm

laadimispositsiooni kõrgus 400 mm

riiulilifti maksimaalsed gabariitmõõdud : 7500 mm pikkus

1700 mm laius

4500 mm kõrgus

Kinntusviis : põrandale ühe rööpaga

Täiendavad nõuded: keskmine toimekiirus (500 mm/s minimaalselt), suur positsioneerimise täpsus ($\pm 0,2$ mm), kiiruse reguleerimise võimalus, suur reguleerimispiirkond, võimalikult väiksematega gabariit mõõduga, võimalus ühendada arvjuhtimissüsteemiga

- **ladustusmehhanism:**

konstruktsioon:

teleskoopmehhanismi tüüpi

käppade väljaulatus: 1650 mm

ülekanne: kett/hammasülekanne

käppade vahekaugus: sobiv EUR alustele (800 x 1200 mm)

Täiendavad nõuded: keskmine toimekiirus (minimaalselt 200 mm/s), kiiruse reguleerimise võimalus, suur reguleerimispiirkond, kontrolleriiga ühendamise võimalus, käppade väljaulatus mõlemale poole, võimalikult väiksematega gabariit mõõduga, võimalus ühendada riiulilifti juhtimissüsteemiga

2. ladustamissüsteem

koostiosad: külgraamid, talad, kinnitusvahendit

laoriuli tehnilised nõuded :

maksimaalsed gabariitmõõdud : 7000 x 1100 x 4500mm (pikkus x sügavus x kõrgus)

kohtade arv: 20...24

kandevõime: vastavalt valitud toodetele

Täiendavad nõuded: on vaja jätta vabaruum laadimisjaama paigaldamiseks mõõtudega 1850 mm x 1600 mm (laius x kõrgus) , esimese riiulitasapinna kõrgus maapinnast peab olema 400 mm kõrgusel, riiulitasapinna vahe kauguse muutuse võimalus, 3 erinevat riiulitasapinna vahekauguse gruppi (vastavalt toodetele).

3. automaatne tuvastussüsteem

koostisosad: masinanägemissüsteem

valgusti kaamerale

tööstus kontroller

kaamera

ühendatud automaat juhtimissüsteemiga

toimimise põhimõtted: pildi järgi toote tuvastamine, uue toote sisestamine võimalus, piltide andmebaas

toimimise põhimõte:

1. Pildistamine: tehakse toote pilt
2. Töötlemine ja analüüs: analüüsitakse pilt ja võrreldakse andmebaasiga olevaga
3. Kommunikatsioon: tulemus edastatakse protsessijuhtimissüsteemile
4. Tegevus: sõltub saavutatud nägemissüsteemi tulemustest (roboti kontrolleriile edastatakse toote programmi number)

4. juhtimissüsteem

koostisosad: juhtarvuti, inimese-masina-liides koos kinnituspostiga, tarkvara, tööstuskontroller

toimimise põhimõtted: kirjeldatud ptk 8.3, juhtimissüsteemi struktuur on kujundatud seel 8.6 ja voodiagramm on kujundatud seel 8.10.

Transpordi tsükliäeg kujuneb ühe toote jaoks järgmiselt:

Tabel 9.1. Toote transpordi tsükliäeg

	Süsteem	Operatsioon	Äeg, s
1.	Laadimisjaam	Toote laadimine laadimisjaama, riiulilifti kõrgusele tõstmine	10s
2.	Riiulilift	Toote laadimisjaamalt vastuvõtmine, toote laokohale viimine	15s
3.	Riiulilift	(peale tootmise tellimuse kinnitamist) toote etteandesüsteemile viimine	9s
4.	Etteandesüsteem	Toote transpordimine keevitusrobotile	8s
5.	Etteandesüsteem	(peale keevitamist) Toote transpordimine riiuliliftile	8s
6.	Riiulilift	Toote ladustamine	15s
7.	Riiulilift	(peale kinnitamist toote väljastamiseks) toote transpordimine laadimisjaamale	15s
8.	Laadimisjaam	Toote maha laskmine põranda tasemini	10s
		Kokku	90s

Antud tsükliäeg on ligikaudne arvutus, võttes arvesse süsteemi sõlmede liikumiskiirused.

10. PAINDTOOTMISÜSTEEMI OHUTUSNÕUDED

Projekteerides robottehnilisi süsteeme on ohutuse tõstmiseks vaja pöörata erilist tähelepanu masina ohutuse seadusele (RT I 2002, 99, 580). Ohutuse tagamiseks peab masin olema valmistatud nii, et see sobib tema kasutusotstarbeks ning et seda saab tootja poolt ettenähtud tingimustes seadistada ja hooldada inimesi ohustamata [27]

Tööstuslikud robotisüsteemid peab ümbritsema spetsiaalsete piiretega, et vältida inimeste sattumist roboti tööalasse. Kõige lihtsamad piirded on füüsilised tõkked nagu aiad, väravad ja ukсед (Sele 10.1), aga tihti on vaja kasutada paindlikumaid lahendusi.



Sele 10.1. Keevitusroboti ala aiapiire ja uks [28]

Tihti tekib vajadus kasutada paindlikumaid lahendusi, selleks kasutatakse kontaktivaba aktiveerimisega kaitsesüsteeme. Näiteks mitmesuguseid optilisi piirded (valguskardinad või valgusbarjäärid) (Sele 10.2), mis seiskavad roboti, kui operaator piirdele läheneb. Valguskardinad kasutavad valguskiirt, mis peegeldub kahe posti vahel ja kiire katkemisel (kui inimene läheneb robotile) peatatakse robot koheselt. Lisaks optilistele anduritele saab kasutada ka väravalüliteid (Sele 10.2).



Sele 10.2. Väravalüti ja optiline piire [29]

Väravalülitite eeliseks on nende väiksem hind, kuid operaatorile on need tihti oluliselt ebamugavamad. Paljudel juhtudel ei võimalda väravad piisavalt head ligipääsu näiteks kraanadele või tõstukitele. Seepärast kasutatakse väravaid ja väravalülititeid kompleksi vähemkätuvates osades, näiteks seadmete hoolduseks vajalike uste juures. [30]

Suurema tootlikkuse saavutamiseks kasutatakse kahe tööalaga roboteid. See tähendab, et valguskardinad on kaks ja olenevalt roboti asendist võib ühe piirde toimimise ka roboti töötamisel katkestada. Sel juhul robot „teab“, et operaator on ühes tööalas sees ja sinna liikuda ei tohi. Kui roboti programm peaks ikkagi roboti viima samasse tööalasse inimesega, seiskab turvakontroller kohe roboti. Operaatori lahkumisel tööalast peab ta nuppude abil robotile „teatama“, et see tööala on jälle ohutu automaatseks tööks. Robotsüsteemi projekteerimisel ja paigaldamisel on niisuguse lahenduse korral vaja jälgida, et need tööalad oleksid teineteisest võimalikult kaugel. Siis saab robot segamatult töötada ühes alas ja teine ala on samal ajal ohutu inimesele.[30] Selline tehnoloogia antud projektis saab kasutada transpordisüsteemis, riulilifti ja laadimisjaama vahel.

Näiteks kui laadimisjaam on hõivatud operaatori töötamisega (laetakse toode), riulift saab samal ajal tõrgeteta transportida toodet etteandesüsteemi. Samuti masina ohutuse seadus nõuab, et iga masin(süsteem) peaks olema varustatud hädaseiskamisseadisega, mille abil saab masina ohutult ja täielikult seisata. Igal töötamiskohal peab olema seiskamispide ja toimimine peab olema prioriteetne käivitusseadme suhtes. Hädaseiskamisseadis peab olema selgelt äratuntava, hästi märgatava ja kiiresti ligipääsetava juhtimispidemega. Peatama ohtliku protsessi võimalikult kiiresti, tekitamata sealjuures lisaohutu.

Kui robottehnilises süsteemis kasutatakse keevitusrobotit, siis on oluline kaitsta operaatoreid keevitusel tekkiva kahjuliku kiirguse eest. Kaitsmiseks ereda valguse eest tuleb roboti ümber kasutada mitteläbipaistvat piirdeaeda. Seepärast ongi keevitusrobotite piire valmistatud plekist (Sele 10.3), mitte aga võrgust, nagu muudel juhtudel. Samuti kasutatakse ka metallvõrgust piirdeid, mis on kaetud läbipaistva kilega (Sele 10.3), mis kaitsevad keevitamisel tekkiva valguskiirguse eest. [30]



Sele 10.3. Keevitusala plekkpiire ja kollane läbipaistev piire [31]

Robottehnilisi süsteeme projekteerides ja ehitades puututakse kokku järgmiste oluliste ohutusstandarditega, mis on toodud järgmises tabelis 10.1.

Tabel 10.1. Olulised ohutusstandardid [32]

DIN EN 292	Ohutustehnikanormid masinatele, põhimõisted
DIN EN 61496	Ohutustehnikanormid masinatele, ohutussüsteemide kontaktivaba aktiveerimine
DIN EN 418	Ohutustehnikanormid masinatele, avarii väljalülitussüsteemid
DIN EN 294	Ohutus masinate ümbruses, ohutud kaugused
DIN EN 457	Akustilised ohusignaalid
CSA Z 434-03	Tööstusrobotid ja robotsüsteemid
ANSI R 15.06	Ameerika standard tööstusrobotitele

11. MAJANDUSLIK ANALÜÜS

Majandusliku analüüsi peatükis arvutatakse paindtootmissüsteemi orienteeruv maksumus sõltuvalt komponentidest ja konstrueerimistöde mahust. Osade sõlmede maksumus on võimalik arvutada täpselt, kuna on võimalik lähtuda olemasolevatest pakkumistest. Osade sõlmede maksumus leitakse ligikaudselt, lähtudes valmistamise ajakulust (tarkvaralise poole ja riistvara/konstruktsiooni projekteerimine) ja turu-uuringutest. Laadimisjaama puhul on arvestanud hinnaks edasimüüja hetkel kehtivat hinnakirja. Laadimisjaama hind on võetud firma CityRamp hinnakirjast.[17] Lao riulisüsteemi hind on välja kujunenud firma Laomaailm hinnapakumisest.

Maksumuse arvutamiseks on kasutatud turul keskmiseks hinnaks kujunenud tunnitasusid., mis on toodud tabelis 11.1. Tunnitasud on koostatud antud valdkonnas toimivate ettevõtete turu-uuringu ja hinnakirjade tulemuste põhjal.

Tabel 11.1. Orienteeruvad tunnitasud projekteerimisele, koostamisele ja paigaldamisele

	Tegevus/teenus	Tunnihind, EUR
1	Tarkvaralahenduste väljatöötamine	50
2	Automaatikalahenduste projekteerimine	50
3	Mehaanikaosa projekteerimine	40
4	Paigaldamine, koostamine	25
5	Elektri- ja automaatika installatsioonitööd	25

Kindlasti peame arvestama, et hinnale lisanduvad transpordi kulud, mis täpsemalt saab arvestada kui antud tooteid tellitatakse, kuna transpordikulud sõltuvad kauba kaalust ja sihtkohast.

Järgnevas tabelis 11.2 kirjeldatakse paindtootmissüsteemi ostutoodete nimekirja koos koguste ja hindadega ning projekteerimis tööd.

Tabel 11.2. Ostutoodete maksumus, projekteerimistöde maht ja hinna kalkulatsioon

		Kogus	Ühiku hind	Hind kokku
		tk või h	EUR	EUR
1.0	Transpordisüsteem:			
1.1	Laadimisjaam	1	1740	1740
1.2	Riulilift			
1.3	Riulilift (ostutootena)	1		35300
	komponendid	1	10000	(10000)
	projekteerimine (mehaanika)	220	40	(8800)
	projekteerimine (elekter/automaatika)	180	50	(9000)
	koostamine/paigaldus	300	25	(7500)
1.4	Ladustusmehhanism (teleskoop)	1		17000
	komponendid	1	6000	(6000)
	projekteerimine (mehaanika)	100	40	(4000)
	projekteerimine (elekter/automaatika)	80	50	(4000)
	koostamine/paigaldus	120	25	(3000)
2.0	Ladustamissüsteem:			
2.1	Laoriul			1715
	külgraam C90-12T 4500x1100 mm	4	102,00	(408,00)
	tala 2750x105mm EUR 3x700kg	6	29,38	(176,28)
	tala 1850x105mm EUR 2x1450kg	14	22,03	(308,42)
	stopper riulitalale	40	0,16	(6,4)
	postikaitse EUR C90, H = 200 mm, RAL2002	2	17,14	(34,27)
	betonikruvi 75x10 (pd)	20	0,48	(9,60)
	tagavõrk EUR 1200 x 2200 mm (lk), RAL9018	12	57,60	(691,20)
	konsool tagavõrgule EUR 150 mm, RAL9018	12	6,72	(80,64)
	3D mudeli projekteerimine (kogu süsteemi modelleerimise jaoks)	30	40	(1200)
	Koostamine/paigaldus	20	20	(400)
3.0	Masinanägemissüsteem:			11450
	kaamera	1	700	(700)
	kontroller	1	500	(500)
	valgusti	1	200	(200)
	Tarkvara projekteerimine (vabavara baasil)	160	50	(8000)
	Komponendid (kinnitusvahendid, ühendusetarvikud)	1	200	(200)
	3D mudeli projekteerimine	40	40	(1600)
	Koostamine/paigaldus	10	25	(250)
4.0	Juhtimissüsteem:			11200
	tööstusarvuti (PC)	1	1500	(1500)
	kontroller	1	500	(500)
	Inimese-masina-liides	1	700	(700)
	Juhttarkvara arendus	160	50	(8000)
	ühendusetarvikud	1	500	(500)
5.0	Projekteerimine (üldine)	160	50	8000
6.0	Paigaldus (kogu süsteem)	120	25	3000
7.0	Elektriühendused	50	25	1250
	Kokku			90655

Tabelist 11.2 näeme, et paindootmissüsteemi orienteeruvaks maksumuseks kujuneb 90655 EUR.

Paindootmissüsteemi maksumuse eelarvestus põhineb välja toodete hindade kokku liitmise, eelarvestusliku montaažitöö, projekteerimistöo mahule ning allhanke korras tarnitavate detailide hinna arvestusel. Süsteemi maksumus on orienteeruvalt, täpsema maksumuse tuleb teostada hange ja hanke tulemustest sõltub toote lõplik omahind.

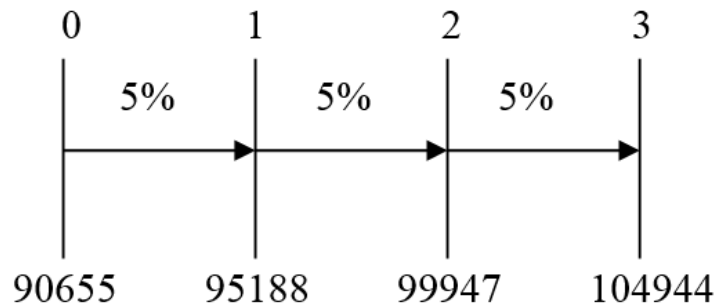
Paindootmissüsteemi omahinna kalkuleerimine annab ligilähedase ülevaate selle tootmisele tehtavatest kulutustest. Kui projekteerimine on teostatud lõplikult, siis antud summa võib muutuda (suuremaks).

Antud etapis ei ole võimalik veel hinnata projekti tasuvust/tasuvusaega, kuna selleks puuduvad piisavad andmed. Ühelt poolt on saadav kasum tootmises (aja kokkuhoid abiaegadelt) ja teiselt poolt vabanev tööjõud muude ülesannete täitmiseks.

Tasuvuse hindamine

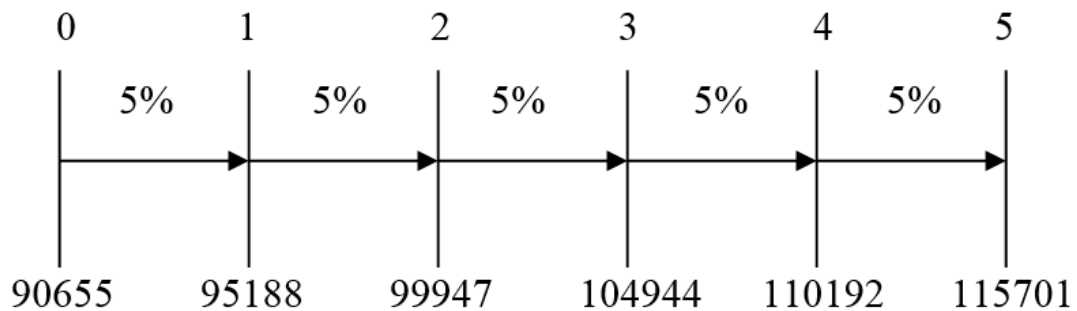
Investeeringu teostamise aluseks võib kasutada mitmeid eri meetodeid, üks nendest on lihtne tasuvusaja meetod. Tasuvusaja näitab perioodi, mille jooksul investeeringu algmaksumus on tasutud temast saadavate tuludega või kulude kokkuhoiuga. Tegemist meetodiga, mis ei arvesta raha väärtuse muutust ajas. Meetod sobib uue süsteemi (masina) investeerimise otsuse aluseks. Tasuvusaja hindamisel on võrreldud kaht erinevat perioodi: 3 aastat ja 5 aastat. Arvutus näitab, kui palju peab süsteem lisaks teenima igal aastal, et ettevõtte investeering tasuks. Investeeringu intressimäär oleneb tellijast, kes on antud juhul ettevõtte, üldisest majandusliku olukorrast ja laenuvõimalustest, ning sellest lähtudes määratakse intress. Selle projekti arvutamiseks on võetud keskmine intressi määr 5 %. [33]

Alljärgnev sele 11.1 näitab projekti investeeringu maksumust 3-aastase perioodiga tasuvusaja kalkulatsiooni korral kui oodatav intressimäär on 5% aastas. Kui investeeringu algmaksumus (võttes arvesse 3-aastast perioodi ja 5% intressimäära) jagada aastati võrdseteks osadeks $104944 \text{ EUR} / 3 \text{ aastat} = 34981 \text{ EUR}$, siis tuleb välja, et iga aasta peab süsteem lisaks teenima 34981 EUR kasumit, et see ennast ära tasuks.



Sele 11.1. Investeeringu hindamine 3-aastase tasuvusaja arvestuse puhul

Alljärgnev sele 11.2 näitab projekti investeeringu maksumust 5-aastase perioodiga tasuvusaja kalkulatsiooni korral kui oodatav intressimäär on 5% aastas. Kui investeeringu algmaksumus (võttes arvesse 5-aastast perioodi ja 5% intressimäära) jagada aastati võrdseteks osadeks $115701 \text{ EUR} / 5 \text{ aastat} = 23141 \text{ EUR}$, siis tuleb välja, et iga aasta peab süsteem lisaks teenima 23141 EUR kasumit, et see ennast ära tasuks.



Sele 11.2. Investeeringu hindamine 5-aastase tasuvusaja arvestuse puhul

KOKKUVÕTE

Käesolev magistritöö on valminud ettevõtte Norcar BSB Eesti AS baasil. Magistritöö eesmärgiks oli arendada paindtootmissüsteem olemasoleva ettevõtte robotkeevituse- ja etteandekompleksi alusel. Magistritöös on käsitletud ja välja töötatud automatiseeritud tootmissüsteemi üldine ideelahendus, mis võimaldab viia alla tootmiskulusid ja tõsta praeguse robotkeevituse kompleksi tootlikkust ning selle kaudu optimeerida tootmisprotsessi. Esmalt on läbi vaadatud ettevõtte tootmise tootlikkuse tõstmiseks loodud arenduse ideelahendus. Seejärel on kirjeldatud olemasoleva robotkeevituse kompleksi ülesehitust. Lao valiku meetodika väljatöötamiseks on teostatud toodete kaardistamine ja tootmismahu analüüs. See näitas, et praeguse tootmismahuga ei ole võimalik tagada laosüsteemi täituvust ühe vahetuse jaoks, ning on otstarbekas tõsta tootmismahu vähemalt kolm korda. Sellisel juhul on võimalik koormata nii operaatori esimene vahetus ning laosüsteemi teine vahetus.

Loodav automatiseeritud laosüsteem on jagatud kolmeks alamsüsteemiks:

- transpordisüsteem (riiulilift ja laadimisjaam);
- ladustamissüsteem (laoriil);
- automaatne tuvastussüsteem ja juhtimissüsteem (automaatne tuvastussüsteem, inimese-masina-liides ja automatiseeritud juhtimissüsteem).

Transpordisüsteemi osas on läbi vaadatud mitmed konstruktiivsed lahendused ja nende omadused. Ladustamissüsteemi peatükis on tehtud konstruktsiooni valik, leitud optimaalne riiuli ehitus, millega on loodud 23 ladustamiskoha ning määratud riiulisüsteemi kandevõime. Juhtimissüsteemi osas on välja toodud iga süsteemi osa kirjeldavad põhitegevused.

Paindtootmissüsteemist lihtsama ettekujutuse saamiseks on projekteeritud süsteemi üldmudel ning iga mooduli üldised 3D mudelid (koostemudel). Süsteemi üldises koostemudelis on näha iga mooduli asukoht asendiplaanis ning on välja toodud moodulite kirjeldused (Lisa 1).

Lisaks on kirjeldatud paindtootmissüsteemi tehnilised ja ohutusega seotud nõuded. Majanduslikus osas on arvatud süsteemi orienteeruv maksumus. Loodava süsteemi konstrueerimine ja arendamine nõuab suuri investeeringuid ning tasuvusaeg sõltub loodavast lisandväärtusest ja sobilike toodete valikust.

SUMMARY

The master thesis was prepared on the basis of Norcar BSB Estonia Ltd. The goal of this work was to develop FMS solution for existing robot welding cell and supply system. During the master thesis, the concept of automatic production system was developed, which provides possibility to rise the efficiency of the welding robot and optimize the production processes. During the first step, the concept how to rise enterprises production efficiency was reviewed. During next step the design and solution of present welding robot complex was described. The methodology for warehouse selection was developed and products score carding and production volume analyze was performed. Analyze has shown, that according to present production volume, there is no possibility to full-fill of store system for one shift. Therefore, the production volumes should be raised at least three times. According to that production plan, the operator from the first shift and the store system at second shift can be equivalently loaded.

The developed FMS solution is divided by 3 sub-systems:

- the transportation system (rack lift and loading station);
- storage system (store racks);
- automatic detection and management system (automatic system of human-machine interface and automated management system).

In the transportation system, different constructive solutions and their parameters were investigated. In the chapter about storage system, the construction has been selected and optimal amount of racks has been proposed. According to that, 23 storage places were developed and capacity of rack system was assigned. In management system chapter, the primary actions of each sub-system were described.

For better understanding of FMS, the general concept was designed, furthermore, for each module also 3D models were developed (assembly models). In the general model, the location on site plane and descriptions of each module could be seen (Attachment 1). In addition, the technical and safety requirements for FMS were described. The cost estimation of the overall system was made in economic chapter. The assembly and development of proposed system requires high investment costs and the payback time depends from value added from products to be produced. It depends of the products to be produced in system and production volume.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Käsiraamat. Uuenduslik tootmine. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2011.
2. Krüüner. S., Jürgenson, I. Paintootmissüsteemide (pts) analüüs ja otstarbekas kasutamine (meca näitel): bakalaureusetöö. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2013.
3. Welding Processes Handbook. 2d ed. Sawston: Woodhead publishing, 2012.
4. Robottehnilised süsteemid [WWW] http://home.fill.ee/~darkfatal/Robotid_002.pdf (14.04.2015).
5. Berlokko, O. Robotkeevituskomplekside valikumetoodika ja toote keevitustehnoloogia simulatsioon lumepuhuri šassii näitel: magistritöö. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2013.
6. Laansoo, A., Pihl, T. Keevitustööd : õppematerjal kutsekoolidele. Tallinn : Innove, 2014.
7. Norcar toote lehekülg [WWW] <http://www.norcar.com/en> (11.01.2015).
8. Mesila, R. Metoodilised materjalid detaili tehnoloogia ja hinnapakumise koostamiseks. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2007.
9. Tulvi, A. Logistika õpik kutsekoolidele. Tallinn : Innove, 2014.
10. Daifuku toote lehekülg [WWW] <http://daifukuna.com/Products/Automated-Storage-Retrieval-System-AS-RS/Unit-Load-Automated-Storage-Retrieval-System> (19.03.2015).
11. Pepperl fuchs toote lehekülg [WWW] <http://www.pepperl-fuchs.com/global/en/21.htm> (27.04.2015).
12. Winkel toote lehekülg [WWW] <http://www.winkel.de/systeme/palettensysteme/palettenuaufgabestation/> (15.02.2015).
13. Penkov, I. Masinatehnika loengumaterjal. Tallinn: TTÜ, 2007.
14. Alfatec toote lehekülg [WWW] <http://www.alfatec.biz/en/> (03.04.2015).
15. Schwingshandl toote lehekülg [WWW] <http://www.schwingshandl.at/?lang=en> (01.24.2015).
16. Koneita toote lehekülg [WWW] <http://webshop.koneita.com/et/lavansiirtovaunut-pinontavaunut/83-nova-bf-2500-pumppukarry.html> (02.05.2015).
17. CityRamp toote lehekülg [WWW] <http://www.ramp.ee/kaartostuk-statsionaarne-tostelaudu-kujuline.html> (22.02.2015).
18. Laomaailm toote lehekülg [WWW] <http://laomaailm.ee/wp-content/uploads/2015/04/Kaubaaluste-riiulisüsteemi-CITY-põhi-ja-jätkuosade-näidishinnad-lisadetailid-ja-tarvikud.pdf> (11.05.2015).

19. Andmekogusüsteemid [WWW] http://e-ope.khk.ee/oo/automaatse_tuvastamise_tehnoloogiad/andmekogumisssteemid.html (17.04.2015).
20. Automaatne tuvastamine [WWW] http://e-ope.khk.ee/oo/vootkooditehnika_kasutamine_laos/automaatne_tuvastamine.html (11.03.2015).
21. Lehtla, T. Robotite juhtimine. Tallinn : TTÜ Kirjastus, 1994.
22. Machine Vision System [WWW] <http://www.roboticsbible.com/machine-vision-system.html> (14.03.2015).
23. Lehtla T., Rosin A. Automaatika. Tallinn: TTÜ, 2001.
24. Keepitusable toote lehekülg [WWW] <http://www.keepitusable.com/human-machine-interface> (03.03.2015).
25. Rosin, A. Programmeeritavad kontrollid SIMATIC S7. Tallinn : Tallinna Tehnikaülikooli elektrienergia ja jõuelektroonika instituut, 2000.
26. Riives, J., Lavin, J. Tootmise korraldamine : õppematerjal kutsekoolidele. Tallinn : Innove, 2014.
27. Masina ohutuse seadus [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/MOS> (03.05.2015).
28. Cisco-Eagle toote lehekülg [WWW] <http://www.cisco-eagle.com/catalog/c-845-machine-guards.aspx> (14.05.2015).
29. Keyence toote lehekülg [WWW] <http://www.keyence.com/products/safety/light-curtain/glr/index.jsp> (21.02.2015).
30. Lehtla, T., Margus, M., Rätsep T. Robotitehnika kutsekoolidele: õppematerjal kutsekoolidele. Tallinn : Innove, 2014.
31. Axelent toote lehekülg [WWW] <http://www.axelentusa.com/xguard-metal-panels> (10.05.2015).
32. Mehhanotehnika ja metallide käsiraamat. Tallinn : TTÜ Kirjastus, 2012.
33. Tasuvus arvutus [WWW] <http://www.teaduspark.ee/UserFiles/Projektid/empower/180412%20EAbel.pdf> (10.05.2015).

LISAD

LISA 1. PAINDTOOTMISSÜSTEEMI SÕLMEDE ÜLEVAADE

LISA 2. PAINDTOOTMISSÜSTEEMI ASENDIPLAAN

LISA 3. LAORIIULI ÜLDVAATEJONIS

LISA 4. U-TÕSTELAUA ÜLDVAATEJONIS

LISA 5. RIIULILIFTI ÜLDVAATEJONIS