



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Tartu Kolledž

**AUTOMATISEERITUD LAOTÕSTUKI
KASUTUSELEVÕTU ANALÜÜS A. LE COQI NÄITEL**

**ANALYZING THE USAGE OF AUTOMATED WAREHOUSE
TRUCK AT A. LE COQ**

RAKENDUSKÕRGHARIDUSTÖÖ

Üliõpilane: Erki Rajamets

Üliõpilaskood 178280EDTR

Juhendajad: Taavi Kase, Insener

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

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

“8.” jaanuar 2021

Autor:

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöös esitatud nõuetele

“8.” jaanuar 2021

Juhendaja:

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

“.....”202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees Helle Hallik, allkirjastatud digitaalselt

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Erki Rajamets, (sünnikuupäev: 16. November 1997)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Automatiseeritud laotõstuki kasutuselevõtu analüüs A. Le Coqi näitel“, mille juhendaja on Taavi Kase,

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

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

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

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

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

_____ (allkiri)

“8.” jaanuar 2021

TalTech Tartu Kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Erki Rajamets, 178280EDTR
Õppekava, peeriala: EDTR17/17 – Küberfüüsikalised süsteemid
Juhendaja(d): Insener, Taavi Kase, 620 4808

Lõputöö teema:

Automatiseeritud laotõstuki kasutuselevõtu analüüs A. Le Coqi näitel
Analyzing the usage of automated warehouse truck at A. Le Coq

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Leida sobiv robottõstuki variant A. Le Coqi tehasesse
2. Võrrelda robottõstuki ja tavatõstuki lahendusi

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Erinevate robottõstukite analüüsimine	30.10
2.	Mõõta tavatõstukil tööülesannete tegemisele kuluvat aega	18.12
3.	Robottõstuki simulatsioonimudeli koostamine ja katse tegemine	18.12
4.	Tulemuste analüüsimine ja järelduste tegemine	28.12

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "11." jaanuar 2021. a

Üliõpilane: Erki Rajamets "8." jaanuar 2021. a
/allkiri/

Juhendaja: Taavi Kase "8." jaanuar 2021. a
/allkiri/

Programmijuht: Helle Hallik "8." Jaanuar 2021. a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	6
SISSEJUHATUS	7
1. A. LE COQI TEHASE HETKESEIS	8
1.1 Yale vastukaalutõstukid.....	8
1.2 Toyota Traigo 48 1,6t, LI-ION.....	9
2. AUTOMATISEERITUD LAOTÕSTUKID	10
2.1 Robottõstuki nõuded.....	10
2.2 Dematic laorobotid	11
2.3 Jungheinrich laorobotid	12
2.4 Still laorobotid	13
2.5 Linde laorobotid	14
2.6 Toyota laorobotid	14
2.7 Laoroboti valik	16
2.8 Laoroboti võrdlus tehase tõstukitega.....	17
3. ROBOTTÕSTUKI KASUTUSELEVÕTU ANALÜÜS.....	19
4. LAOROBOTI SIMULATSIOONIMODELID JA KATSE TAVATÕSTUKIGA	21
4.1 Simulatsioonimudeli alusplaani koostamine	23
4.2 Simulatsioonimudeli loogikaskeem.....	23
4.3 Simulatsiooni töötamine.....	25
4.4 Simulatsioonimudeli puudused	27
4.5 Katse tulemused simulatsioonis.....	27
4.6 Katse tulemused tavatõstukiga	28
4.7 Katsete tulemuste võrdlus	28
5. ROBOTTÕSTUKITE LAHENDUS	30
KOKKUVÕTE	32
SUMMARY.....	34
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	36

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema algatus on AS A. Le Coqi poolt. Uurimisteema on osa A. Le Coqi tehase arendustegevusest. Lisaks ettevõttele sain palju abi ja toetust juhendajalt Taavi Kase, kes suunas mind ja andis erinevaid ideid lõputöösse. Ettevõtte poolseks kontaktisikuks ja praktikajuhendajaks oli energeetikajuht Argo Normak. Täna kõiki, kes andsid panuse käesoleva lõputöö valmimisse.

Märksõnad: Automatiseerimine, Robottõstuk, Simulatsioonimudel, Logistika, Bakalaureusetöö

SISSEJUHATUS

Automatiseerimine tööstuses on tänapäeval kasvav trend. Üks osa automatiseerimisest on erinevate robotite kasutusele võtmine. Käesoleva lõputöö teema kujunes välja automaatika arendamise vajadusest A. Le Coqi Tartu tehases. Tehases on kasutusel hetkel tavatõstukid ettevõtetelt Toyota ja Yale, mida tulevikus võiksid asendada automaatiseeritud laotõstukid (edaspidi ka robottõstuk või laorobot). Lõputöö ülesanne on püstitatud AS A. Le Coqi poolt ning mõeldud ettevõtte tegevuse edendamiseks. Lõputöö autor valis selle teema, kuna autor on varasemalt A. Le Coqis praktikat teinud ning lõputöö temaatikaga tuttav.

Lõputöö eesmärk on leida A. Le Coqi tootmise ladudesse kõige paremini sobiv robottõstuk ning analüüsida robottõstukite lahenduse vajalikkust tehasesse. Selleks on kõige pealt paika pandud erinevad nõuded, millele peaks väljavalitav robottõstuk vastama: piisav kandevõime, piisav tõstekõrgus, piisav kiirus, tõstuki laius jääma alla 1200mm ning tõstekahvlite all puuduma rattad. Sealt edasi on töös võrreldud erinevate firmade tõstukeid ja toodud välja nende tugevused ja nõrkused vastavalt tehase poolt püstitatud nõuetega. Parima väljavalitud robottõstukiga on tehtud tehniliste andmete võrdlus A. Le Coqis hetkel töös olevate tavatõstukitega. Samuti analüüsitakse robottõstuki kasutuselevõttu.

Töö teises pooles on koostatud laoroboti simulatsioonimudelid sõidukiiruse modelleerimiseks ning selle võrdluseks tehtud sama katse tavatõstukiga tehases. Simulatsioonimudelite koostamisest on kirjeldatud alusplaani ja loogikaskeemi koostamist. Samuti on välja toodud, kuidas simulatsioon välja näeb, ja mis on mudelite koostamisel tekkinud puudused. Simulatsiooni käigus saadi robottõstukiga tulemused. Mudeli koostamiseks on kasutatud tarkvaraprogrammi Anylogic. Tehases tehti mudeli järgi sama katse ning mõõdeti tavatõstuki aega, kust saadi tavatõstuki tulemused. Tulemusi analüüsiti omavahel. Lõpus kirjeldatakse uut robottõstuki lahendust ning võrreldakse seda A. Le Coqi praeguse lahendusega.

1. A. LE COQI TEHASE HETKESEIS

A. Le Coq on Eestist pärit joogitootja, kelle tootevalikus on 14 erinevat tootegruppi. Toodetakse õllesid, mahla, vett, karastusjooke, siidrit, lahjasid alkoholseid jooke, Active mahlajooke, spordi- ja energijooke, siirupit ning kalja. Eestis on A. Le Coq kõige vanem ja suurem joogitootja. Baltimaades on üks kaasaegsemaid joogitööstusi. [1]

A. Le Coqis ladustatakse euroaluste peal olevat materjali peamiselt põrandale, üksteise kõrvale ehk sektoritesse, mis on suuremates ladudes omavahel eraldatud joontega. Mõnes laos on ka riuleid, kuhu pannakse näiteks pappi, preforme ja silte. Olenevalt materjalist, näiteks klaastaara ja purgid, ladustatakse neid maas ka üksteise peale. Materjali hoitakse 12 erinevas laos. Suuremad laod on taaraladu, purgiladu, välistaaraladu, PVC ladu ning ladu A, kust tuleb põhiliselt materjal sisse. Nendes viies laos toimub ka kõige rohkem materjali liigutamist. Materjali veetakse vastukaalutõstukitega. A. Le Coqis kasutatakse tõstukeid ettevõtetelt Yale ja Toyota.

1.1 Yale vastukaalutõstukid

Joogitehases kasutatakse Yale'i poolt toodetud tõstukitest kolme mudelit: Veracitor GLP16VX, Veracitor GLP20VX ja Veracitor GLP30VX. Kõik kasutavad kütusena vedelgaasi ehk LPG-d ning kõigi müratase juhi jaoks on 77 dB [2]. Peamised erinevused nende kolme vahel on kandevõime, mootori võimsus ning tõste kõrgus.

GLP16VX mudelil on 2,0 liitrine 33 kW mootor ning selle maksimum kiiruseks ilma laadungita on 21,5 km/h ja laadungiga 21,1 km/h [2]. Tõstuk suudab tõsta kuni 1600 kg raskust alust kuni 5500 mm kõrgusele. Tõstuki mõõtmed on 2230*1068*2149 (mm)(kahvliteta). [3]

GLP20VX mudelil on 2,4 liitrine 44 kW mootor, mille suurimaks kiiruseks laadungita on 18 km/h ning laadungiga 17,3 km/h [4]. Tõstuki kandevõime on 2000 kg ja suudab materjali tõsta kuni 6000 mm kõrgusele. Tõstuki mõõtmeteks on 2486*1157*2181 (mm)(kahvliteta). [5]

GLP30VX mudelil on 2,4 liitrine 44 kW mootor. Suurim kiirus tõstukil laadungita on 20,3 km/h ja laadungiga 19,1 km/h [6]. Tõstuki kandevõime on 3000 kg ja suudab materjali tõsta kuni 5815 mm kõrgusele. Tõstuki mõõtmed on 2633*1186*2206 (mm)(kahvliteta). [7]

1.2 Toyota Traigo 48 1,6t, LI-ION

Ettevõttest Toyota on A. Le Coqis kasutusel üks mudel, mis on joogitehasesse hiljuti soetatud. Selleks on tõstuk Toyota Traigo48 1,6t.

Tõstuk Toyota Traigo48 1,6t on elektriline neljarattaline vastukaalutõstuk, mille aku mahutavus on 660 Ah ja veovõime 1600 kg. Tõstuki maksimum tõstmiskõrgus on 7500 mm. Suurim kiirus on 20 km/h. Tõstuki mõõtmed on 2014*1060*2120 (mm)(kahvliteta). Tõstuk on varustatud SAS stabiilsuskontrolliga (varustatud Li-ion akuga), mis tagab stabiilsuse ja ohutuse. Müratase juhile on 71,5 dB. [8]

2. AUTOMATISEERITUD LAOTÕSTUKID

Automatiseeritud laotõstuk on automaatne arvuti poolt juhitud sõiduk, mis veab materjali inimese abita. Robotit aitavad juhtida sensorid ja tarkvara. Robottõstukid kasutavad navigeerimiseks näiteks laserit, magnet märgiseid maas või kaamerat. [9]

Laoroboteid on mitmeid erinevaid, näiteks robotvedukid, robottõstukid, lintidega robotid, robotvornastajad, kitsavahe riuli robottõstukid, ning kõigil neil on omad eesmärgid. Näiteks robotvedukid on mõeldud selleks, et vedada suuremaid koguseid korraga ühest punktist teise, kuid robotvedukile tuleb materjal peale panna ning maha võtta. Robottõstukid on nagu tavalised vastukaalutõstukid, mis oskavad materjali ise tõsta ja maha panna ning seda teise punkti vedada. Ja näiteks kitsavahe riuli robottõstukid on nagu vastukaalutõstukid, aga mille kahvlid on külje peale pööratud, tänu millele ei pea tõstuk ennast riulite vahel pöörama. [10] Käesolevas lõputöös valitaksegi A. Le Coqi tehasele välja robottõstuk.

Laorobotite tootjaid on maailmas üsna mitmeid. Lõputöö autor valis välja rohkem tuntud ettevõtted: Dematic, Jungheinrich, Still, Linde ja Toyota; ning räägib neist alates alapeatükist 2.2. Igast ettevõttest toob välja A. Le Coqi jaoks kõige paremini sobivad robottõstukid. Peatüki lõpuks valib välja kõige paremini sobiva robottõstuki ning võrdleb seda hetkel A. Le Coqis kasutuses olevate tõstukitega.

2.1 Robottõstuki nõuded

Robottõstuki valikut tehes on oluline, et robot oleks täisautonoomne ning vajaks võimalikult vähe inimese sekkumist. Kuna robottõstuk peaks suutma tõsta kõige raskemat materjali, mis on 0,33 liitrised klaaspudelid kaaluga 783 kg, siis peaks tõstuki kandeveovõime olema vähemalt 1200kg. Robottõstuk peaks suutma euroaluseid tõsta vähemalt 3 meetri kõrgusele, sest materjali asetatakse nii üksteise peale kui ka riulitesse. Roboti suurim kiirus võiks olla vähemalt 14 km/h. Robotil ei tohiks olla tõstekahvlite all rattaid, sest suurel osal euroalustel on tõstekahvlite jaoks augud kinnised, nagu on näha joonisel 2.1. Tõstukite tõstekahvlite all olevad rattad ei tõuse koos kahvlitega õhku ning need jäävad maha ja seetõttu sõidaksid need vastu euroaluse põhjal olevaid laudasid.



Joonis 2.1. Euroalus [11]

Roboti laius peaks jääma alla 1200mm, et mahuks liikuma ühte sektorisse, mida on ka näha joonisel 2.2, kus sektorite ette on kirjutatud tähised A25-A35. Sektori A27 ees on mõõdetud sektori laius millimeetrites.



Joonis 2.2 ladu A sektorid A25- A35

2.2 Dematic laorobotid

Dematic on ettevõtte, mis toodab erinevaid laoroboteid, konveier- ja teisi automaatikasüsteeme, ning teeb automaatika lahendusi tööstus- ja logistikaettevõtetele. Ettevõttel on mitmeid eri suuruse ja kujuga laoroboteid, mis laiendab valikuvõimalusi. [12] Dematicul on laorobotite jaoks oma tarkvara, kus on võimalik näha infot töös olevate robotite kohta [13]. Eestis pakub laotehnika edasimüüja Petrem OÜ koostöös Dematic kontsernidega automaatika lahendusi [14].

Dematic pakub laorobotitest vastukaalu robottõstukeid, lintidega roboteid, robotvedukeid, kitsa ja väga kitsa vahekäigu robottõstukeid ning kliendile kohandatud laoroboteid. Vastukaalu robottõstukitest pakutakse mudelit Compact Straddle Fork AGV. [13]

AGV Compact Straddle Fork on robottõstuk kandeveovõimega 1634kg ning tõste kõrgusega kuni 1676mm. Robotile on külgedele pandud tugijalad, mis aitavad raskemaid laadungeid paremini vedada, aga mis teevad tõstuki laiemaks. Tõstuki suurim kiirus on 5,6km/h. Robot navigeerib laseri järgi ning laser turvasüsteemi abil. Robottõstukil puuduvad tõstekahvlite all rattad. [15] Robottõstuki miinusteks on nii kiirus, tõste kõrgus kui ka teadmata tõstuki laius.



Joonis 2.3 Robottõstuk Dematic Compact Straddle Fork [15]

2.3 Jungheinrich laorobotid

Jungheinrich tegeleb materjali käitlemise tehnika tootmisega ja pakub erinevaid automaatika lahendusi. Jungheinrich on üks maailma populaarsemaid tööstuslike

tõstukite tootjaid. [16] Eestis on Jungheinrich ettevõtte tehnika edasimüüjaks AS Agrovaru [17]. Eestist kasutab Jungheinrich laoroboteid Saku Õlletehas [18].

Jungheinrich pakub laorobotitest vastukaalu robottõstukeid, robotvedukeid, kitsa riulivahe tõstukeid ja robotvornastajaid. Vastukaalu robottõstukitest pakutakse ühte mudelit EKS 215a. [19]

EKS 215a on elektriline robottõstuk, mille kandevõime on 1500 kg ja tõste kõrgusega kuni 6000 mm. Robottõstuki mõõtmed on 1405*985*2475 (mm). Suurim kiirus on robotil 9 km/h. EKS 215a on varustatud 48 V ja 465 Ah Li-ion akuga, mis tagab suurema võimsuse ja kiirema laadimisaja. Roboti müratase on 62 dB. Samuti puuduvad ka tõstukil tõstekahvlite all rattad. [20] Robotil on navigeerimiseks küljes laser, mis tähendab, et ei ole vaja liikumiseks põrandale teha jooni või märgiseid, ning eraldi on külge lisatud erinevad sensorid, mis tagavad suurema turvalisuse [21]. Roboti miinusteks on roboti kiirus, mis jääb 5km/h võrra alla lubatud nõude.

2.4 Still laorobotid

Ettevõtte Still on Saksamaalt pärit firma, mis toodab erinevat laotehnikat ning pakub erinevaid logistika süsteemide lahendusi [22]. Laorobotitest pakuvad robotvornastajaid, kitsa riulivahe robottõstukeid, robotvedukeid ja vastukaalu robottõstukeid [23]. Eestist on Still laotehnika edasimüüja Petrem OÜ [24].

Vastukaalu robottõstukitest pakub Still mudeleid FM-X 10-25/Li-ion koos iGo Süsteemiga. Süsteem iGo tähistab seda, et tõstukile on lisatud juurde automaatika varustus, mis teeb tavalise tõstuki robottõstukiks. Erinevate FM-X mudelite peamine vahe on maksimum kandevõime ja tõste kõrgus, kus näiteks FM-X 10 suudab kuni 1000 kg laadungit tõsta ning kuni 7000 mm kõrgusele, aga FM-X 25 mudel suudab kuni 2500 kg laadungit tõsta ja kuni 12050 mm kõrgusele. [25]

FM-X mudelitest valib autor välja FM-X 20/Li-ion, sest mudel suudab kuni 2000 kg ning kuni 13000 mm kõrgusele laadungit tõsta, mis on piisav A. Le Coqi jaoks. Roboti mõõtmed on 2484*1440*2450 (mm). Robottõstuki teeb laiaks kahele küljele integreeritud tugijalad, aga see-eest puuduvad rattad tõstekahvlite all. Roboti aku on 48 V ning 620 Ah ning maksimum kiiruseks 6,1 km/h(manuaalselt juhituduna 14 km/h).

FM-X 20/Li-ion miinusteks on roboti laius, mis on 1440 mm, ehk on laiem kui ühe sektori laius ettevõtte tehases, ning maksimum kiirus, mis on 6,1 km/h. [26]

2.5 Linde laorobotid

Linde on maailmas tuntud laotõstukite ja logistika seadmete tootjana ning pakub ka infralogistika lahendusi [27]. Linde laorobotite valikust leiab vastukaalu robottõstukeid, robotvornastajaid, väga kitsa riulivahe robottõstukeid ja robotvedukeid. Laorobotid kasutavad navigeerimiseks laser sensoreid. [28] Eestist on Linde koostööpartner ettevõtte Willenbrock Baltic OÜ [29].

Vastukaalu robottõstukitest on valikus R-MATIC 1120-00. Robottõstukil R-MATIC 1120-00 on 48 V ja 560 või 620 Ah aku. R-matic 1120-00 suudab tõsta laadungit kuni 1600 kg ja kuni 11455 mm kõrgusele. Roboti mõõtmed on 2615*1561*3430 (mm). Robottõstukil ei ole rattaid tõstekahvlite all, aga on külgedel tugijalad, mis teevad tõstuki laiaks. Roboti maksimum kiirus on 7,2 km/h (manuaalselt juhitud on 14 km/h). Robottõstukile on lisatud 3D kaamera, mis aitab takistusi tuvastada ja ka materjali eristada. Vajadusel saab tõstukit juhtida inimene. [30] Roboti miinusteks A. Le Coqi suhtes on roboti laius, mis ületab 361 mm lubatud nõudest ja ka kiirus, mis on lubatud nõudest 6,8 km/h väiksem.

2.6 Toyota laorobotid

Toyota Material Handling on ettevõtte, mis toodab erinevaid materjalikäitlusseadmeid, pakuvad tõstukite renti ning logistilisi ja automaatika lahendusi. Ettevõtte on osa Toyota Industries Corporation'ist. [31] Laorobotitest pakuvad erinevaid robottõstukeid, robotveokeid ja robotvornastajaid. Laorobotid kasutavad navigeerimiseks laser skannerit ning kokkupõrgete vältimiseks on eraldi takistuste tuvastaja. Ka materjali käitlemiseks on lisatud sensorid ja kaamera, et tagada täpsus ja turvalisus. Robottõstukitel on oma tarkvara, mis annab neile käske ja juhib tõstukeid. [32] Eestis on Toyota Material Handling Euroopa tütarettevõtte TMH Baltic Eesti filiaal, kes tegeleb tehnika edasimüümisega [33].

Robottõstukite valikust leiab mudelid OAE120CB ja SAE160. Mudel SAE160 on elektriline robotvornastaja kandevõimega kuni 1600 kg ja maksimum tõstekõrgusega 2150 või 4500 mm (Kui roolis on inimene, siis 2350 või 4700 mm) olenevalt masti tüübist. Laaroboti mõõtmed on Duplex Tele masti puhul 1161*930*2381 (mm) ja Triplex Hi-Lo masti puhul 1108*930*2381 (mm). SAE160 mudel on varustatud 24 V ja 300 Ah Li-ion- või 500 Ah Pliiakuga ning roboti suurimaks kiiruseks on 8 km/h (manuaalselt juhitud 6 km/h). Robottõstuki müratase jääb alla 70 dB. Robottõstukit on võimalik ka manuaalselt juhtida. [34] Tõstuki miinusteks on maksimum kiirus ning tõstekahvlite all olevad rattad.

Mudel OAE120CB on elektriline vastukaalu robottõstuk, mille kandevõime on kuni 1200 kg ja suurim tõstekõrgus on 1700 või 4150 mm olenevalt masti tüübist. Laarobotil on 24 V 252, 465 või 620 Ah mahutavusega aku. Suurimaks kiiruseks on 8 km/h (Manuaalselt juhitud 12 km/h). Sõidumootori võimsus on 2,8 kW. Laaroboti mõõtmed on 1764*950*2381 (mm). Müratase on 62 dB. Robottõstukit on võimalik ka manuaalselt juhtida. [35] Tõstuki miinuseks on kiirus, mis on väiksem etteantud nõudest.



Joonis 2.4 Toyota OAE120CB [35]

2.7 Laoroboti valik

Laaroboteid valides tuleb välja, et kõiki nõudeid täitvat roboteid ei ole lihtne leida. Tabelis 2.1 on näha robottõstukite nimekirja ja nende nõuetele vastavust. Rohelise värviga on märgitud täidetud nõue ning punasega täitmata nõue. Lõputöö koostamise käigus analüüsi viie tuntud ettevõtte laaroboteid ning leiti, et kõigi analüüsitud robotite kiirus jääb alla 14 km/h. Kiireim neist on Jungheinrichi laarobot kiirusega 9 km/h. Still'i ja Linde robottõstukite laius on üle 1200 mm, täpsemalt Still robottõstukil 1440 mm ja Lindel 1561 mm. Kuna ühe sektori laius on täpselt 1200 mm, siis ei mahuks Still ja Linde robottõstukitest kumbki oma tööd tegema. Samuti on teadmata ka Dematic laaroboti laius, mis tähendab, et Still, Linde ja Dematic robottõstukid A. Le Coqi valikuks parasjagu ei sobi. Robottõstukid, mille laius on alla 1200 mm, on Jungheinrich ettevõttest mudel EKS 215a, mis on 985 mm lai, ning Toyota ettevõttest mudelid SAE160 laiusel 930 mm ja OAE120CB laiusel 950 mm. Kõigil kolmel on ka piisav kandeveovõime: Jungheinrich tõstukil 1500 kg, Toyota mudelil OAE120CB 1200 kg ning mudelil SAE160 1600 kg. Samuti on tõstekõrgus kõigil kolmel piisav: Jungheinrichi laarobotil kuni 6000 mm, Toyota SAE160 robotil kuni 4500 mm ja Toyota OAE120CB laarobotil kuni 4150 mm. Kuna Toyota SAE160 tõstekahvlite all on rattad, siis ei saaks sellega mitmeid tööülesandeid tehases täita, mis tähendab, et see ei sobiks A. Le Coqi tehasesse. Jungheinrichi robottõstukil ja Toyota OAE120CB mudelil rattad tõstekahvlite all puuduvad. Võrreldes akusid, siis Jungheinrichi laarobotil on 48 V 465 Ah Li-ion ja OAE120CB laarobotil 24 V vastavalt valikule 252, 465 või 620 Ah aku. Lõputöö autor valib robottõstukite seast A. Le Coqi jaoks sobivaimaks Toyota OAE120CB mudeli, sest robottõstuk on üks kahest, mis täidab enim nõudmisi. Samuti on valiku põhjuseks Toyota seadmetega olev eelnev kogemus A. Le Coqi tehases ning on olemas ka Toyota poolt tehnilise toe olemasolu.

Tabel 2.1 Robottõstukite vastavus nõuetele

Nõuded Robottõstuk	Kandeveovõime 1200 kg	Laaroboti laius kuni 1200 mm	Tõstekõrgus 3000 mm	Maksimum kiirus 14 km/h	Rattad puuduvad tõstekahvlite all
Dematic Compact Straddle Fork	1634 kg	Pole teada	1676 mm	5,6 km/h	Jah
Jungheinrich EKS 215a	1500 kg	985 mm	6000 mm	9 km/h	Jah
Toyota SAE160	1600 kg	930 mm	4500 mm	8 km/h	Ei

Toyota OAE120CB	1200kg	950 mm	4150mm	8 km/h	Jah
Still FM-X 20/ Li-ion	2000 kg	1440 mm	13000 mm	6,1 km/h	Jah
Linde R-MATIC 1120-00	1600 kg	1561 mm	11455 mm	7,2 km/h	Jah

2.8 Laoroboti võrdlus tehase tõstukitega

Võrreldes Toyota OAE120CB robottõstukit A. Le Coqis kasutuses olevate tõstukitega, mida illustreerib tabel 2.2, siis jääb robottõstuk nii mõneski tehnilises osas alla. Näiteks kiirus, mis on tihti kiires töötempo üsnagi tähtis osa, sest töö ei tohiks seisma jääda. Kui väljavalitud laoroboti maksimum kiirus on 8 km/h, siis hetkel kasutuses olevad tõstukid on enam kui 2 korda kiiremad: Toyota tõstukil 20 km/h ja Yale tõstukitel kuni 21,5 km/h. Toyota laoroboti kandevõime on madalam kui tavatõstukitel. Robottõstukil on kandevõime 1200kg, aga tavatõstukitel on 1600-3000 kg. Samuti on robottõstuki aku nõrgem võrreldes Toyota tavatõstukiga: robottõstukil 24 V vastavalt valikule 252, 465 või 620 Ah ning Toyota tavatõstukil 48 V 550 Ah.

Kuid robottõstukil on ka eeliseid tavatõstuki ees. Näiteks pikkuselt ja laiuselt on robottõstuk väiksem. Laorobotil on laius rohkem kui 100 mm väiksem võrreldes tavatõstukitega, mis annab laorobotile parema võimaluse sektorite vahel manööverdamiseks. Samuti laoroboti müratase jääb veidi üle 60 dB. Toyota tavatõstuki müratase on keskmiselt 71,5 dB ning Yale tavatõstukid keskmiselt 77-101 dB. Kõige suurem eelis on see, et robottõstuk on ise robot, ehk inimene ei pea tõstukit juhtima. Inimesel on võimalik tegeleda samal ajal teiste ülesannetega, mis vajavad lahendamist. Samuti võivad tavatõstukid pikema aja jooksul halvendada inimese tervises seisundit [36].

Tabel 2.2 Robottõstuki võrdlus tehase tavatõstukitega

Tõstuk	Robottõstuk Toyota OAE120CB	Toyota Traigo48 1,6t	Yale Veracitor GLP16-30VX
Mõõtmed (mm)- Pikkus*laius*kõ	1764*950*2381	2014*1060*2120	2236*1068*2175 2486*1157*2181

rgus			2633*1186*2206
Kandeveovõime (kg)	1200	1600	1600-3000
Tõste kõrgus (mm)	4150	7500	3105-5500
Kiirus (laadungiga/ laadungita) (km/h)	8	20/20	19,1-21,1/20,3-21.5
Kütus	Elekter	Elekter	Vedelgaas
Mootorijõud (kW)	2,8	6*2	33-44
Elektrimootori lisainfo	24 V 465/620/252 Ah aku	48 V 550 Ah Li-ion aku Energiakulu 4,5 kWh/h	Puudub
Sisepõlemismootori lisainfo	Puudub	Puudub	PSI 2,0-2,4L Kütusekulu 2.35-3,1 l/h
Müratase (dB)	62	71,5	77-101
Muu lisainfo	Laser navigatsioon + sensorid turvalisuse suurendamiseks, Manuaalselt juhtimise võimalus	puudub	puudub

3. ROBOTTÖSTUKI KASUTUSELEVÖTU ANALÜÜS

Laorobotite kasutusele võtmine tähendab ka mõningate ettevalmistuste tegemist, et robottõstukil oleks võimalik laos iseseisvalt hakkama saada. Ettevalmistusi tuleb teha nii laos sees kui ka tarkvaraliselt süsteemis. Asutusesiseses kirjavahetuses Toyota Material Handling Baltic Eesti Filiaaliga selgus, et Toyota ei müü eraldi robottõstukeid, aga pakub täislahendust robottõstukite, navigatsiooni, T-ONE tarkvara, akulaadimissüsteemi ning kõike muud projekti realiseerimiseks.

Kuna Toyota OAE120CB kasutab laser navigeerimist, siis tuleb keskkonda integreerida reflektorid, mis peegeldavad tagasi tõstukilt tulevat laserkiirgust [34]. Reflektorid peaksid asetsema nii, et kõikjal, kus tõstuk sõitma peab, on laseril reflektoriga kontakt. Laseri ja reflektori vaheline kaugus peaks jääma alla 30 meetri ning reflektorite kõrgus peaks olema laseri kõrgus robottõstuki mastil. Laser navigeerimine ei vaja juhtmete vedamist ega teibi märgistusi. [37]

Lisaks reflektoritele vajavad robottõstukid ka akulaadimispunkti, kus saaks oma akut laadida tööülesannete vahel või kui aku on tühi. Selleks on vaja laadimisdoki üles seadmist. Toyota laoroboti laadimisdokki näeb jooniselt 3.1, kus on näha ees kuldseid klemme, mille vastu robottõstuk laadimiseks sõidab.



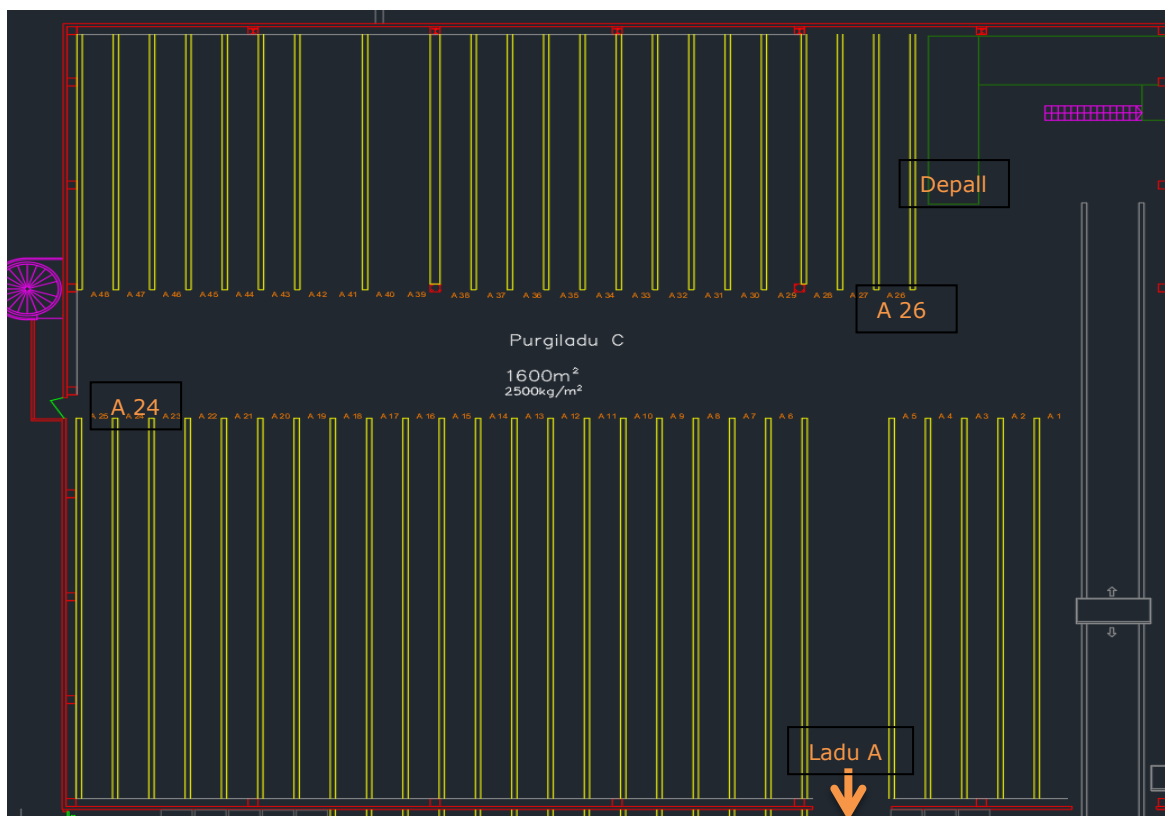
Joonis 3.1 Toyota OAE120CB laadimisdokk [38]

Tarkvaraliselt on vaja Toyota tarkvaraprogrammi T-ONE (Optimise, Navigate, Execute ehk optimeeri, navigeereri, täida), mis hakkab olema vahekiht süsteemis, kus toimub Toyota robottõstukitega suhtlus. T-ONE annab robottõstukitele käsklusi ning juhiseid, kuidas tõstukid sõitma peavad, näiteks mööda lühimat teed hoides kokku aega. Tarkvaras tuleb ka üles märkida kõik materjali laadimispunktid, kus toimub robottõstukil materjali mahalaadimine või üles korjamine. Samuti näeb tarkvarast hetkel kogu toimuvat protsessi ning kus tõstukid parasjagu laos on. T-ONE suhtleb ka teiste süsteemidega, et teada täpselt, millal on vaja materjali vedada, mis tagab pideva materjali liikumise voo. [39]

4. LAOROBOTI SIMULATSIOONIMUDELID JA KATSE TAVATÕSTUKIGA

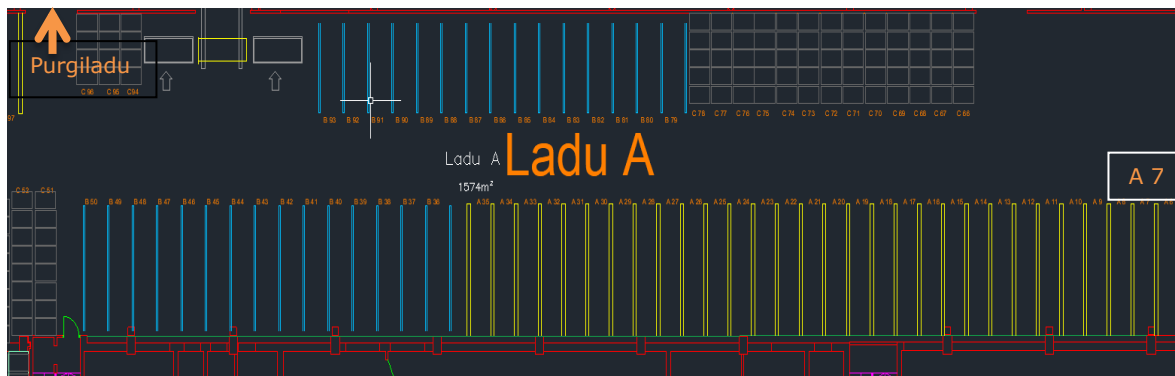
Väljavalitud laorobotiga Toyota OAE120CB koostab lõputöö autor pealtvaates simulatsioonimudelid A. Le Coqi laost, kus laorobot teeb oma tööd. Simulatsioonimudeleid koostab autor selleks, et saaks võrrelda robottõstukil tööülesande täitmisele kuluvat aega tavatõstukiga. Võrdluse tegemiseks tehakse sama katse tavatõstukiga tehases kohapeal.

Kokku tehakse kolm ühesuguse loogikaskeemiga simulatsioonimudelit, kus kahes neist asub tööülesanne ainult purgilaos (joonisel 4.1), ning kolmandas lisatakse purgilao juurde ka ladu A (joonisel 4.2). Ladude joonistel on ära märgitud tähtsamad laadimispunktid: Depall, A26, A24 ja A7 (joonisel 4.2). Nooltega on ära märgitud kohad, kust saab purgilattu või lattu A. Joonisel 4.1 kollaste joonte vahel asuvad sektorid, kus asetseb purgimaterjal, ning sektorite ees on tähised A1-A48. Alumistesse sektoritesse A1-A25 mahub purke kokku ühte sektorisse, kahe korruse peale, 30 alust ning ülemistesse sektoritesse A26-A48 igasse sektorisse 20 alust. Üleval paremal rohelise joonega on tähistatud purgi depalletiseerimise konveierlint, kuhu peale tuleb laorobotil esimeses ülesandes purgimaterjal tõsta.



Joonis 4.1 Purgiladu pealtvaates

Joonisel 4.2 on näha ladu A. Laos on samuti näha kollaseid jooni, mis tähistavad sektoreid, ning kus on erinevat sorti materjali. Siniste joontega on tähistatud riulid.



Joonis 4.2 Ladu A pealtvaates

Esimene mudel ja ülesanne on selline, kus tõstetakse purgilaos sektorist A26 olevat purgimaterjali depalletiseerimise liinile (joonisel 4.1 nimetatud depall). Esimese ülesande alguspunktiks on depalletiseerimise lindi eest, haaratsid suunatud lindi poole. Teine ülesanne on samuti purgilaos, kus tõstetakse sektorist A24 sektorisse A26. Selle ülesande alguspunktiks on sektor A26, haaratsid suunatud sektorisse. Kolmandas tööülesandes tõstab tõstuk materjali ladu A sektorist A7 purgilattu sektorisse A26. Kolmanda ülesande alguspunkt on samuti purgilaos sektor A26, haaratsid suunaga sektorisse. Kõigis ülesannetes teeb robottõstuk viis korda materjali toomist, et saaks võtta aega iga materjali toomise kohta ning kõigist toodud kordadest arvutada keskmine ajakulu. Hiljem võtab lõputöö autor aega samu ülesandeid täitvalt tavatõstukilt laos sees, et oleks võimalik võrrelda robottõstuki aegasid tavatõstuki aegadega.

Simulatsiooni koostamiseks kasutab lõputöö autor programmi Anylogic, mis on mõeldud simulatsioonimudelite koostamiseks. Anylogic võimaldab kasutada agendipõhist, diskreetse sündmustepõhist ja süsteemide dünaamika meetodeid. [40] Lõputöö autor valib simulatsiooni mudeli koostamiseks tarkvara Anylogicu, sest autoril on sellega kõige rohkem kogemust.

4.1 Simulatsioonimudeli alusplaani koostamine

Esimeseks sammuks on vaja mudelile panna purgilao ja ladu A alusplaani, mida aitab koostada lõputöö autor varasemalt tehtud praktika käigus A. Le Coqis, ning mida näeb joonistelt 4.1 ja 4.2. Mudelisse tuleb luua tõstuki ja purgialuse agendid, et oleks võimalik neid mudelis teha ja kasutada. Materjali lisatakse vastavalt ülesandele, kas purgilaos sektoritesse A26 või A24, või siis laos A sektorisse A7. Robottõstuki alguspunkt ja lõpppunkt on sama. Ehk esimeses mudelis on robottõstukil alguspunktiks Depalletiseerimise lindi ees ning teises ja kolmandas mudelis on purgilao sektoris A26.

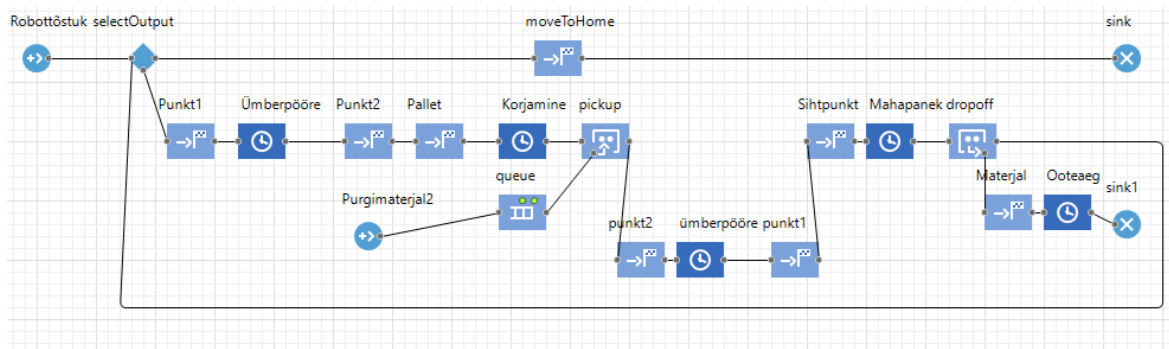
Et tõstukit oleks võimalik liikuma ning purgimaterjal maha panna tuleb mudelisse märkida vastavad alad ning alade vahele teelõigud, et oleks võimalik tõstukil ühelt alalt teisele sõita. Alad ja teelõigud kokku moodustavad võrgustiku. Alade peale tuleb ära märkida tekkepunktid, kuhu on võimalik tekitada purgimaterjal ja robottõstuk.

4.2 Simulatsioonimudeli loogikaskeem

Järgmiseks tuleb luua plokkidest loogikaskeem, kuidas agendid mudelis käituvad.

Lõputöö autor koostas järgmise loogikaskeemi, mida illustreerib ka joonis 4.3:

- 1) Mudelisse tekitatakse üks robottõstuk ja purgimaterjal.
- 2) Robottõstuk sõidab läbi märgitud punktide purgimaterjali juurde.
- 3) Robottõstuk võtab purgimaterjali.
- 4) Robottõstuk sõidab läbi märgitud punktide tagasi alguspunkti.
- 5) Robottõstuk asetab materjali maha.
- 6) Robottõstuk täidab käske 2-5 neli korda veel.
- 7) Tõstuk sõidab alguspunkti ja kaob pildilt.



Joonis 4.3 Anylogic plokkidest koostatud loogikaskeem

Et tekitada mudelisse robottõstukit või purgimaterjali, on selleks vaja kasutada *source* plokki. *Source* plokkis tuleb ära märkida millistele tekkepunktidele või aladele ning mitu agenti tahetakse tekitada ning on võimalus ka täpsustada erinevaid andmeid. Näiteks tõstuki agendile täpsustati, et maksimum kiirus on 8 km/h, nagu seda on Toyota OAE120CB robottõstukil ning tekitatakse ainult üks tõstuk. Purgimaterjali *source* plokkile määrati, et tekitatakse mudelisse korraga 5 euroalust. Joonisel 4.3 näeb kahte *source* plokki, mille nimedeks on pandud Robottõstuk ja Purgimaterjal2.

Järgmine plokk joonisel 4.3 on *selectOutput*, mis aitab valida järgmist plokki loogikaskeemis. Siin kontrollib *selectOutput* seda, kas laorobot peab tooma purgimaterjali juurde või läheb algpositsioonile. Selle jaoks on tehtud ka eraldi muutuja *palletsNeeded*, mille sisestab kasutaja simulatsiooni käivitamise alguses, ning mis väheneb iga kord, kui tõstuk on purgimaterjali depalletiseerimise lindile viinud. Kui see arv on null, siis läheb loogikaskeemil joonisel 4.3 edasi mööda ülemist teekonda, ehk pole vaja materjali juurde tuua, aga kui see arv on suurem kui null, siis valitakse alumine teekond ehk tõstuk läheb materjali juurde tooma.

Kui on vaja purgimaterjali juurde tuua, siis on esimene samm liikuda purgimaterjali juurde. Seda ülesannet teevad plokiid *moveTo*. Loogikaskeemis kasutati kolme *moveTo* plokki, et jõuaks materjalini, sest tõstuk liigub läbi kahe tee peale märgitud punkti. Selles plokkis tuleb ära märkida, missugune agent liigub ning kuhu ta liikuma peab. Lõputöö autor märkis agendiks tõstuki ning sihtkohaks kas tee peale jääva punkti või materjali asukohta. Tee peale märgitud punktid on abiks, et tõstuk sõidaks kindlat teedpidi. *MoveTo* plokkide vahel on ka üks *delay* plokk. *Delay* plokk peatab simulatsioonimudelil liikumise, mis jäljendab tõstuki ümber pööramisele minevat aega. *Delay* plokk kestab 1,5-2,5 sekundit. *MoveTo* plokiid on joonisel nimetatud Punkt1, Punkt2 ja Pallet ning *delay* plokk on Überpööre. Tõstuki kiiruseks on pandud sektoris sõites 4 km/h ning väljaspool sektoreid 5, 7 või 8 km/h olenevalt kohast, kus tõstuk sõidab.

Järgmiseks on loogikaskeemil *delay* ja *pickup* plokk, kus tõstuk korjab materjali peale. *Delay* plokk nimega Korjamine on selleks, et peatada mudelis liikumine ja jäljendada materjali peale korjamist. Peale korjamine kestab 4,5-6,5 sekundit. *Pickup* plokile on ühendatud nii tõstuki kui ka purgimaterjali poolne plokiosa. Plokiosa poolelt, kust tuleb purgimaterjal, on kasutatud ka *queue* plokki, mida peab kasutama, et purgimaterjal oleks eelnevalt juba järjekorda pandud ning mudel saab aru, missugust purgimaterjali järgmiseks korjatakse. *Queue* plokis on määratud kui suur järjekord tekitatakse, ning kuidas agente järjestatakse. Lõputöö autor määras järjekorra suuruseks purgimaterjali tekke arvu ning agente järjestatakse nii, et esimesena tekitatud agendid korjatakse esimesena. Kui *queue* plokis on järjekord määratud, siis teab ka *pickup* plokk, mida korjatakse. *Pickup* plokis määras autor, et korruga saab tõstuk vedada ühte materjali.

Koos materjaliga peab tõstuk sõitma lõpppunkti. Olenevalt ülesandest on lõpppunktiks purgilaos depalletiseerimise lint või sektor A26. Selleks on kasutatud uuesti punkt2 ja punkt1 vaheplokk, et tõstuk sõidaks kindlat teedpidi, ja Sihtpunkti plokk, mis tähistab materjali viimise lõpppunkti. Punkt2 ja punkt1 ploki vahel on *delay* plokk nimega ümberpööre, mis jäljendab tõstuki ümberpöördele minemisele aega. Lisaks on juurde kirjutatud plokile programmikood, mis lahutab maha veel vajamineva purgimaterjali arvu.

Kui tõstuk on sõitnud lõpppunkti, siis paneb tõstuk materjali maha. Selleks on kasutatud nii *delay* kui ka *dropoff* plokki. *Delay* plokk jäljendab jällegi aega, mis läheb materjali lindile panekule. *Dropoff* plokist lähevad materjali ja tõstuki teekonnad lahku. Materjali pildikujutis tekib maha või lindile 5 sekundiks ja seejärel kaotatakse mudelist ära. Tõstuki pool loogikaskeemis läheb algusesse *selectOutput* ploki juurde ja kontrollib, kas on vaja purgimaterjali vaja juurde tuua, või läheb oma algpositsioonile *moveToHome* ploki kaudu. *MoveToHome* plokis on määratud sihtkohaks algpositsioon ning kui ta sinna jõuab, siis pildilt kaob tõstuk ära.

4.3 Simulatsiooni töötamine

Simulatsiooni käivitamisel küsib programm kasutajalt materjali kogust, mida tõstuk peab vedama ühest punktist teise olenevalt ülesandest. Joonisel 4.4 on näha liigurmuutajat, millel liigutamisel saab määrata, mitu purgimaterjali on vaja vedada. Valitud kogus saab jääda 0 ja 58 vahele. Keskmise arv näitab hetkel valitud arvu.

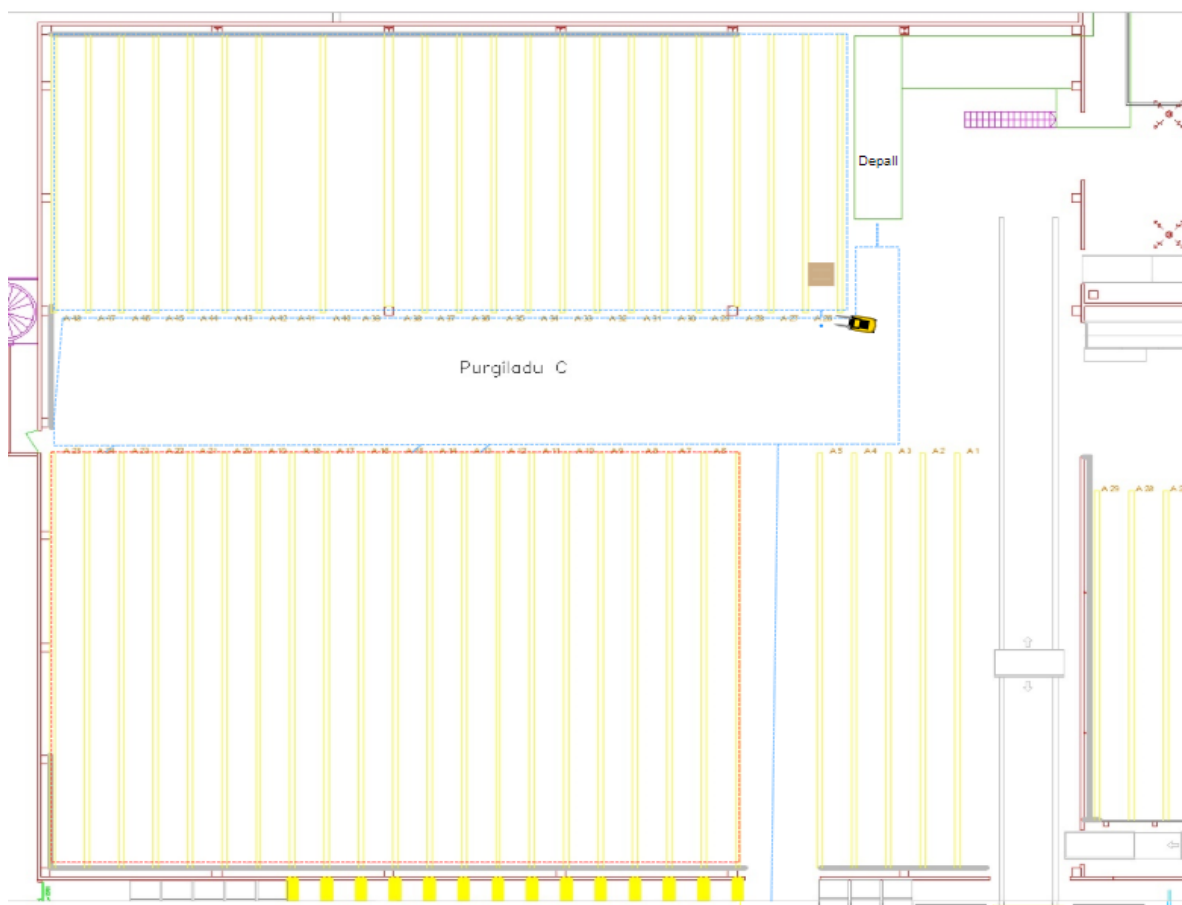
Joonisel on selleks arvuks 5. Kõigi ülesannete simuleerimisel valis autor koguseks 5, et saaks aega mõõta iga materjali vedamisele kuluvat aega.

Sisesta purgimaterjali kogus depalletiseerimisse



Joonis 4.4 Purgimaterjali koguse sisetamine

Kui kogus on valitud, siis tuleb vajutada programmi all vasakus servas kolmnurkset käivitamise nuppu, mis paneb simulatsiooni tööle. Sellele järgneb purgilao plaan, millel on peal materjali ja tõstuki kujutised, ning mida näeb joonisel 4.5. Joonisel 4.5 on käivitatud esimene simulatsioonimudel, kus tõstuk veab purgilao sektorist A26 olevat materjali depalletiseerimise liinile. Tõstuk sõidab loogikaskeemi järgi ning veab materjali depalletiseerimislinde kasutaja poolt valitud kord arve. Joonisel 4.5 on näha, kuidas tõstuk on parasjagu sõitmas sektorisse A26, et tuua materjali.



Joonis 4.5 Simulatsiooni töötamine purgilao

4.4 Simulatsioonimudeli puudused

Simulatsioonimudelites on kaks puudust, millest ühele leidis autor lahenduse. Simulatsioonitöös on märgata, et tõstuk pöörab end hetkega ümber, kui ta on materjali üles tõstnud. Tegelikult peaks tõstuk ennast sektorist välja tagurdama, ning alles siis ümber pöörama, sest sektor on liiga kitsas tõstukil ümber pööramiseks. Selle probleemi lahendamiseks kasutas lõputöö autor sektorist välja jõudes loogikaskeemis *delay* plokki, mis peatab tõstuki liikumise mingiks ajahetkeks. See peatus jälgendab tõstuki ümberpööramise aega. Ümberpööramiseks on aega antud kuni 2,5 sekundit.

Viimane puudus mudelis on mitme tõstuki kasutus. Kui hetkel panna simulatsioonis sõitma rohkem kui ühe tõstuki, siis nad sõidavad alguses sama materjali juurde ning simulatsioon lõpetab töötamise veateate tõttu. Kui mudelis tahaks kasutada kahte või enam tõstuki, siis tuleb kasutada loogikaskeemis transpordivahendi plokkide. Nende plokkidega on võimalik panna tõstukid sama tööd tegema üksteist segamata. Transpordivahendi plokkide kasutamine tähendaks loogikaskeemi suures ulatuses ümber muutmist.

4.5 Katse tulemused simulatsioonis

Esimeses ülesandes, kus oli vaja materjali tuua purgilaos sektorist A26 purgi depalletiseerimise liinile, tõi robottõstuk viis korda materjali. Alguspunktiks oli depalletiseerimise liini ees, siis sõitis tõstuk sektorisse A26, et võtta materjal, ning seejärel sõitis tõstuk depalletiseerimise liini juurde, kuhu peale pandi materjal ning saadigi mõõtetulemus. Mõõtetulemused sekundites olid järgmised: 29,96; 28,02; 27,84; 28,31; 28,50. Arvutades aritmeetilist keskmist, siis tuleb keskmiseks ajaks 28,53 sekundit. Kuna purgi depalletiseerimise liinile on tunniga vaja tõsta neli alust, siis jõuab robottõstuk selle töö tehtud vähem kui kahe minutiga.

Teises ülesandes pidi robottõstuk tooma materjali purgilaos sektorist A24 sektorisse A26. Siin oli alguspunkt sektor A26, sealt sõitis edasi sektorisse A24 materjali pealevõtuks, ning sõitis tagasi sektorisse A26, kuhu asetati materjal. Sellist teekonda läbiti samuti viis korda. Katse tulemusel saadi järgmised ajad: 58,3; 55,77; 55,81; 56,18; 56,59. Aritmeetiliseks keskmiseks tuleb aeg 56,53.

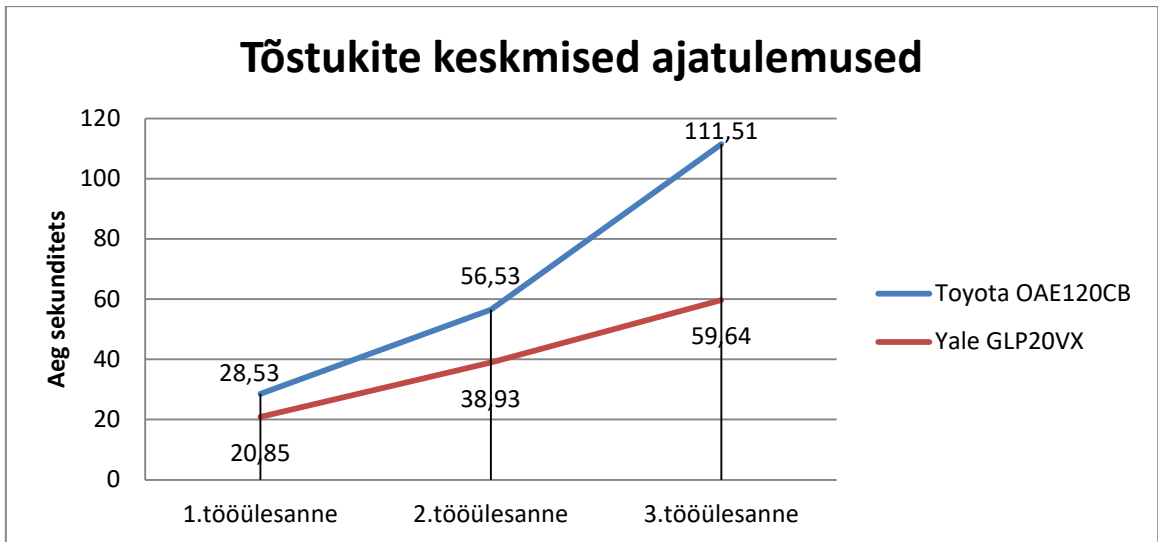
Viimane ning kõige pikema teekonnaga ülesanne, toimus purgilao sektori A26 ja ladu A sektori A7 vahel. Ülesandes alustas tõstuk sõitmist sektorist A26, kust sõideti lattu A sektorisse A7 materjali pealevõtuks, ning seejärel tagasi purgilattu sektorisse A26, kuhu asetati materjal. Sama teekonda läbiti viis korda ning autor võttis aega. Mõõtetulemused saadi järgmised: 1.53,24; 1.50,84; 1.50,88; 1.51,19; 1.51,41. Aritmeetiliseks keskmiseks tuleb aeg 1.51,51. Tunni aja jooksul jõuaks robottõstuk keskmiselt 32 alust tuua ladu A-st purgilattu.

4.6 Katse tulemused tavatõstukiga

Aegade võrdlemiseks võttis lõputöö autor aega tehases olevatelt tavatõstukitelt, millega tehti samu ülesandeid. Igat ülesannet tehti samuti viis korda. Katset tehti tõstukiga Yale Veracitor GLP20VX. Esimese ülesande ajad tulid järgmised: 21,07; 20,87; 19,69; 21,72; 20,92. Keskmiseks tulemuseks arvutati 20,85 sekundit. Teise ülesande tulemusteks saadi 46,63; 37,98; 36,80; 34,91; 38,35. Teise ülesande aegade aritmeetiline keskmine on 38,93. Viimase ülesande tulemused olid järgmised: 1.00,22; 59,84; 59,46; 59,53; 59,14. Kolmanda ülesande aegade aritmeetiline keskmine tuli 59,64.

4.7 Katsete tulemuste võrdlus

Võrreldes robottõstuki tulemusi simulatsioonis tavatõstuki tulemustega, siis leiab lõputöö koostaja, et robottõstuk on igas ülesandes aeglasem. Joonisel 4.6 on näha robottõstuki Toyota OAE120CB ja tavatõstuki Yale Veracitor GLP20VX aritmeetiliste keskmiste aegade võrdlust samade ülesannete puhul. Esimese ülesande robottõstuki keskmine aeg tuli 28,53 ning tavatõstukil 20,85. See näitab, et robottõstuk on 37% aeglasem kui tavatõstuk. Teise ülesande keskmised tulemused on robottõstukil 56,53 sekundit ning tavatõstukil 38,93 sekundit. See tähendab, et robottõstuk on 45% aeglasem tavatõstukist. Kolmandas ja kõige pikema teekonnaga ülesandes tuli robottõstuki keskmine aeg 1.51,51 ning tavatõstukil 59,64. Siit tuleb välja, et robottõstuk on 87% aeglasem tavatõstukist. Pikemate teekondadega ülesannete puhul on tavatõstukitel võimalus ära kasutada suuremat kiirust, seetõttu jäävadki robottõstukid aeglasemaks. Kokkuvõtteks võib järeldada seda, et mida pikem on teekond, seda aeglasemaks jääb robottõstuk tavatõstuki kõrval.



Joonis 4.6 Robottõstuki ja tavatõstuki ajatulemuste võrdlus

5. ROBOTTÖSTUKITE LAHENDUS

Kui võtta kasutusele Toyota robottõstukid, siis näeks uus lahendus välja selline, et A. Le Coqi laos töötaksid nii robottõstukid kui ka tavatõstukid. Tavatõstukeid pole hetkese seisuga võimalik süsteemist täielikult eemaldada, kuna on ladusid, kus sektoreid pole maha märgitud ning materjali asetatakse maha nii, kuidas parajasti mahub. Robottõstukite jaoks on vaja kindlat süsteemi ja materjal peaks asetsema alati kindlas kohas. Ka sissetulevat materjali vedavatel veoautodel ei ole kindlat punkti või aadressi, kus peatuda. Veoautod jäävad tavaliselt lao A ukse taha nii nagu parajasti tagurdatud on ning täpselt samas punktis need iga kord ei peatu. Seetõttu peab inimene tavatõstukiga materjali maha laadima. Probleemi lahendaks see, kui ehitada veoautode jaoks kindel punkt, kus tuleks neil iga kord seisma jääda. Lao siseselt, kus on olemas kindlad sektorid, on robottõstukitel võimalus tööd teha. Suuremates ladudes nagu ladu A, Taaraladu, Purgiladu, PVC hall on sektorid olemas.

Praeguses olukorras veetakse sissetulevat materjali tavatõstukiga veoautost kohe õigesse lattu, näiteks purgimaterjali puhul purgilattu. Võimalus oleks robottõstukeid kasutada siin nii, et tavatõstukiga pannakse materjal ladu A-s lähedal asuvasse sektorisse ning sealt edasi veaks robottõstuk materjali õigesse lattu. Tekkinud materjali vedavate veoautode järjekorra puhul säästaks see nii veoautojuhtide aega ning materjal saaks kiiremini lattu. Robottõstuki eelis on ka see, et teine inimene saab tegeleda teiste ülesannetega ja säästa aega, mida tavatõstukiga ei oleks võimalik teha.

Uue robottõstukite lahendusega saaks olema ladudes kindel materjali asetsemise süsteem. Süsteemis oleks näha, kus sektoris asub mingi materjal. Praeguses olukorras ei ole kindlat süsteemi ning pole kuskilt näha, kus mingisugune materjal täpselt asub ning materjali asukoht on tihti muutuv. Hetkel on olukordi, kus mõne materjali leidmiseks tuleb küsida abi tõstukijuhi käest ning võib ka juhtuda nii, et üks tõstukijuht tõstis materjali ühte kohta ning teine tõstukijuht tõstab sama materjali järgmise kohta, teistele infot jagamata. Robottõstukite lahendus lahendaks sellise probleemi.

Joonisel 5.1 on võrreldud robottõstukite lahendust hetkese tavatõstukite lahendusega. Robottõstukite lahendus on parem selle poolest, et materjalide kogused ja asukoht oleks ladudes teada. Samuti võimaldavad robottõstukid tööd teha ööpäevaringselt, aga tavatõstukite lahenduse korral on vaja vahetustega töötajaid. Kui sissetulevat

materjali on vaja saada kiiresti lattu, siis asendaks robottõstuk teist töötajat. Ka laosiseselt saavad robottõstukid suure osa ülesandeid tehtud, mis tähendab, et töötajaid on lattu vähem vaja või nad saaksid tegeleda teiste ülesannetega. Robottõstuki lahenduse miinuseks on kiirus ehk tavatõstukid on kiiremad kui robottõstukid, mis tuli välja katsete tulemustest. Samuti pole hetkeseisus võimalust robottõstukitel veoautodelt materjali maha laadida, kuna veoautodel pole kindlat punkti selleks olemas.

Tabel 5.1 Robottõstukite ja tavatõstukite lahenduste võrdlus

Robottõstukite lahendus	Tavatõstukite lahendus
Töös on robottõstukid ja tavatõstukid	Töös on ainult tavatõstukid
Materjalide kogused ja asukoht teada.	Materjalide kogused ja asukoht pole alati teada.
Robottõstukid ei saa hetkel veoautodelt materjali maha laadida.	Tavatõstukid tõstavad veoautodelt materjali maha.
Sissetuleva materjali saab ühe tavatõstuki ja robottõstukiga kiiresti lattu.	Sissetuleva materjali kiiresti lattu saamiseks on vaja kahte töötajat.
Lao siseselt ei ole vaja inimese abi.	Inimesed juhivad tavatõstukeid.
Võimalus töötada ööpäevaringselt	Vajab vahetustega töötajaid ööpäevaringseks töötamiseks
Robottõstukid on aeglasemad	Tavatõstukid on kiiremad

A. Le Coq tehase arvates oleks vaja veel simulatsioonimudelisse kaasata ka robottõstukeid, mis ei saanud väljavalituks, et saaks järelduste tegemiseks rohkem infot robottõstukite lahenduse sobivuse kohta tehasesse. Praeguse Toyota robottõstukiga tehtud mudelist leiab aga seda, et robottõstuk on piisavalt kiire, et tuua tunni aja jooksul 30 alust ladu A-st purgilattu ning jõuaks ka vajalikud 4 alust asetada depalletiseerimise liinile. Hea on see, et robottõstuki töökiiruse taha töö ei jääks ning robot saaks tööga hakkama. Kuid selleks, et väljavalitud robottõstukiga Toyota OAE120CB-ga-saaks tulevikus asja edasi uurida tuleks teha ka mudelikatsed teiste robottõstukitega, et näha, kuidas teised tõstukid käituvad.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärk oli analüüsida erinevaid automaatiseeritud laotõstukeid, valida välja A. Le Coqi Tartu tehase jaoks parim robottõstuk ning analüüsida robottõstuki lahenduse vajalikkust tehasesse. Esmalt analüüsiti hetkel A. Le Coqi tehases olevaid Toyota ning Yale tõstukeid. Seejärel pandi paika vajalikud nõuded, mis peaksid robottõstukil olema. Nõuded on vajalikud selleks, et tõstuk oleks võimeline laos täitma ülesandeid, mida täidavad hetkel kasutuses olevad tavatõstukid. Väljavalitava robottõstuki nõuded olid järgmised: Kandeveovõime vähemalt 1200 kg; Tõstekõrgus vähemalt 3000 mm; Robottõstuki laius jääb alla 1200 mm; Robottõstuki kiirus vähemalt 14 km/h; Robottõstukil puuduvad tõstekahvlite all rattad.

Töös võrreldi Jungheinrich, Dematic, Toyota, Linde ning Still firmade automatiseeritud laotõstukeid. Parimaks robottõstukiks osutus ettevõttest Toyota tõstuk OAE120CB mudel, kuna robottõstuk täitis enim A. Le Coqi poolt antud nõudmisi: Kandeveovõime tõstukil 1200kg; Tõstekõrgus on kuni 4150mm; Robottõstuki laius on 950mm; Tõstekahvlite all puuduvad rattad. Ükski robottõstuk ei täitnud kiiruse nõuet. Toyota OAE120CB tõstuki maksimum kiirus on 8 km/h.

Parimaks valitud robottõstukiga Toyota OAE120CB koostas lõputöö autor simulatsioonimudelid tarkvaraprogrammiga Anylogic, kus modelleeriti ladudes tööülesannete täitmisele kuluvat aega. Kokku oli kolm tööülesannet. Tööülesannete täitmise aegasid mõõdeti ka tavatõstukiga tehases, et võrrelda aegade erinevusi. Tulemustest selgus, et väljavalitud tööülesannetest lühima teekonnaga tööülesande puhul on robottõstuk 37% aeglasem, aga väljavalitud tööülesannetest pikima teekonnaga ülesande puhul 87% aeglasem. Samuti selgus, et mida pikem on teekond, seda aeglasemaks jääb robottõstuk, sest robottõstukiga on võimalik sõita kuni 8 km/h samal ajal kui tavatõstukiga kuni 21 km/h.

Töö lõpus võrreldi robottõstukite lahendust hetkese tavatõstukite lahendusega ning leiti robottõstukite kasutamises head ja vead. Robottõstukite lahenduses on hea see, et saadakse tehasesse korralik süsteem, kus on näha materjali koguseid ja asukohti. Samuti on võimalik robottõstukitel suur osa ülesandeid enda peale võtta ning nendega tegeleda ööpäevaringselt, mis võimaldab teistel töötajatel tegeleda muude tööülesannetega. Robottõstukite lahenduse miinuseks on aga robottõstukite töökiirus, mis on aeglasem kui hetkel kasutuses olevate tavatõstukite omast ning robottõstukitel pole hetkeseisuga võimalik materjali vedavatelt veoautodelt materjali maha laadida.

Lõputöö autori hinnangul on üsna keerukas leida sobivat robottõstukit ettevõtte jaoks, mis täidaks kõiki vajalikke nõudmisi. Nagu eelnevalt mainiti ei täitnud ükski laotõstuk kiiruse nõuet, kus laotõstuki kiirus oleks vähemalt 14 km/h. Suurim kiirus on robottõstukil Jungheinrich EKS 215a, mille maksimum kiirus on 9 km/h. Samuti oli simulatsioonimudeli koostamine autori jaoks keeruline, kuna mudeli koostamine osutus algselt plaanitud mõttest keerulisemaks ning tuli teha töö käigus mitmeid muudatusi. Töö autori arvates läks hästi nii mudelis kui ka tehases saadud katsete tulemuste ja võrdlustega ning on rahul lõputöö lõpptulemusega.

SUMMARY

The task of this thesis was to analyse different types of automated lift trucks, to choose the best one for the factory of A. Le Coq in Tartu and analyse the necessity of the automated lift truck in the factory. At first the analyse of the Toyota and Yale forklift trucks in the factory of A. Le Coq was taken. After that, the requirements were set for automated forklifts so it would be possible to use them in the factory and capable to do tasks that forklifts do. The requirements that were set for automated forklifts: maximum load weight atleast 1200 kg; maximum lift height atleast 3000 mm; maximum width 1200 mm; maximum speed atleast 14 kph; no wheels under the forks.

Automated forklifts were compared from the companies Dematic, Jungheinrich, Toyota, Linde and Still. The most suitable automated forklift was Toyota OAE120CB, because it met the most requirements of them all: maximum load weight 1200 kg, maximum lift height 4150 mm, maximum width is 950 mm, maximum speed 8 kph and no wheels under the forks. None of the automated forklifts, that were analysed, met the speed requirement.

With the Toyota OAE120CB, the simulation models were made with the program called Anylogic. In the models the automated forklift performed some tasks that were measurable by time. There were three tasks. Same tasks were also performed with the forklift in the A. Le Coq factory and the time was measured so it would be possible to compare times of automated forklift and conventional forklift. The results of the time measures appeared to be on the conventional forklifts side. It turned out that with the shortest path of task the automated forklift is 37% slower than conventional forklift and with the longest path of task, automated forklift is 87% slower. Also it appeared that the longer the path is, the slower automated forklift is compared to conventional forklift, because automated forklift can only speed up to 8 kph while conventional forklift up to 21 kph.

Finally the comparison of the automated forklift solution and conventional forklift solution was made. Advantages of the automated forklift solution is that automated forklift trucks could perform big part of the tasks that conventional forklifts do and do them even at night. It also means that workers that are on the conventional forklift could do tasks that are more complex. Another advantage of the automated forklift solution is that the factory would get a proper system, where it would be possible to

see how much there is some specific material and where it is located at the certain moment. The disadvantages of the automated forklift solution would be that the automated forklifts are slower than conventional forklifts meaning that the task is performed slower than usually. Another disadvantage in the current situation would be that automated forklift is not capable to unload the incoming truck that imports the material.

In the author's opinion it is quite complicated to find the perfect automated forklift for the factory, where all the requirements are met. Like it was said, none of the automated forklifts had the maximum speed at least 14 kph. The fastest truck was Jungheinrich EKS 215a, which had the speed up to 9 kph. Also the making of the simulation model was quite hard for the author, because the original idea that was modeled had too many problems and there were many changes that had to be made because of the problems. In the end, the author believes, that the simulation model and the experiment in the factory was a success and is satisfied of the outcome.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. A. Le Coq. (s.a). Meist. <https://www.alecoq.ee/a-le-coqist/meist/> (03.10.2020)
2. Yale. (s.a). VDI 2198 – General Specifications. LPG powered GLP 16VX, GLP 18VX, GLP 20SVX. *VX16-20 series Diesel and LP Gas Forklift Trucks*, 1. <http://viewer.zmags.com/publication/3f5a932c#/3f5a932c/6> (03.10.2020)
3. Laadur. (s.a). Vastukaalutõstuk Yale GP16VX. <https://www.laadur.ee/toode/gp16vx/?mid=246> (03.10.2020)
4. Yale. (s.a). VDI 2198 – General Specifications, LPG powered GLP20VX, GLP25VX. *VX20-35 series LP Gas Forklift Trucks*, 1. <http://viewer.zmags.com/publication/844aa8bc#/844aa8bc/4> (03.10.2020)
5. Laadur. (s.a). Vastukaalutõstuk Yale GP20VX. <https://www.laadur.ee/toode/gp20vx/?mid=246> (03.10.2020)
6. Yale. (s.a). VDI 2198 – General Specifications, LPG powered GLP30VX, GLP35VX. *VX20-35 series LP Gas Forklift Trucks*, 1. <http://viewer.zmags.com/publication/844aa8bc#/844aa8bc/6> (03.10.2020)
7. Laadur. (s.a). Vastukaalutõstuk Yale GP30VX. <https://www.laadur.ee/toode/gp30vx/?mid=246> (03.10.2020)
8. Toyota Material Handling. (s.a). Electric powered forklift 1.6 – 2.0 t. *Electric powered forklift 1.6 – 2.0 ton Traigo48*. https://media.toyota-forklifts.eu/published/21455_Original%20document_toyota%20mh.pdf (03.10.2020)
9. Lodamaster. (s.a). Automated guided vehicles. <https://www.lodamaster.com/en/solutions/automated-guided-vehicles> (04.10.2020)
10. MHI. (s.a). Automatic Guided Vehicles. <https://www.mhi.org/fundamentals/automatic-guided-vehicles> (04.10.2020)
11. EPAL The Pallet System. (s.a). EPAL 2 KAUBAALUS. <https://ee.epal-pallets.org/kaubaalused/epal-2-kaubaalus> (20.11.2020)
12. Dematic. (s.a). About Dematic. <https://www.dematic.com/en-gb/about/about-dematic/> (04.10.2020)
13. Dematic. (s.a). Dematic AGVs brochure. https://info.dematic.com/NA_BR-1164?_ga=2.214761559.1548137375.1610025864-688837964.1601557484 (04.10.2020)
14. Petrem. (s.a). Petrem. <https://petrem.ee/> (04.10.2020)
15. Dematic. (s.a). AGV Compact Straddle Fork brochure. https://info.dematic.com/NA_BR-

- [1169? ga=2.190260715.1548137375.1610025864-688837964.1601557484](https://www.jungheinrich.co.uk/about-us)
(04.10.2020)
16. Jungheinrich. (s.a). About us. <https://www.jungheinrich.co.uk/about-us>
(04.10.2020)
 17. Jungheinrich. (s.a). Eesti Jungheinrich. AS Agrovaru. <https://www.ee.jungheinrich.com/index.php?id=1146> (04.10.2020)
 18. Saku Õlletehas. (03.03.2017). Saku Õlletehas viis lõpule robottransporteritega laosüsteemi ehituse. <https://saku.ee/et/newsroom/saku-olletehas-viis-lopule-robottransporteritega-laosusteemi-ehituse/> (20.11.2020)
 19. Jungheinrich. (s.a). Automated Guided Vehicles. <https://www.jungheinrich.co.uk/systems/automated-guided-vehicle-system/agv-trucks> (04.10.2020)
 20. Logisnext. (s.a). EKS 215a. https://www.logisnextamericas.com/-/media/mcfa/sites/portal/files/forklifts/jungheinrich/class-iii/eks_215a/eks_215a_spec_sheet-english.pdf (04.10.2020)
 21. Jungheinrich. (s.a). Automated Guided Vehicle System medium/high level order picker EKS215a. <https://www.jungheinrich.co.uk/resource/blob/892426/3b44afa574da37455d31ac429dd68fb6/eks-215a-factsheet-en-2020-12-pdf-data.pdf> (15.12.2020)
 22. Still. (s.a). About us. <https://www.still.co.uk/company/about-us.html>
(06.10.2020)
 23. Still. (s.a). Still Advanced Applications. Intralogistics system solutions. https://data.still.de/assets/products/Intralogistic_Systems/Automation_STILL_iGo/STILL_iGo_Update_2020_/pdf/Advanced_Applications_EN.pdf?mod=1585655623&s=24de64129b570776c9a56ac4bbfd79af (06.10.2020)
 24. Petrem. (s.a). Kes me oleme?. <https://petrem.ee/meist/> (06.10.2020)
 25. Still. (s.a). FM-X Reach Trucks. <https://www.still.co.uk/forklift-trucks/new-forklifts/reach-trucks/fm-x.html> (06.10.2020)
 26. Still. (s.a). FM-X Technical Data, Driver Seated Reach Truck. https://data.still.de/assets/products/Vehicles/Reach_Trucks/FM-X/pdfs/FM-X_EN_TD.pdf?mod=1603103060&download=1&s=b0298c61ff3f4555ff557e3880df433b (06.10.2020)
 27. Linde Material Handling. (s.a). Company. <https://www.linde-mh.com/en/About-us/Company/> (06.10.2020)
 28. Linde Material Handling. (s.a). Automated Trucks. <https://www.linde-mh.com/en/Products/Automated-Trucks/> (06.10.2020)
 29. Willenbrock Baltick. (s.a). Avaleht. <https://www.willenbrock.ee/> (06.10.2020)

30. Linde Material Handling. (s.a). Technical Data. *Robotic Reach Truck R-Matic*.
https://www.linde-mh.com/media/Datasheets/EN_ds_r_matic_br1120_en_a_1.pdf (06.10.2020)
31. Toyota Material Handling Baltic Eesti Filiaal. (s.a). Kes me oleme.
<https://baltic.toyota-forklifts.eu/et/miks-toyota/kes-me-oleme/> (07.10.2020)
32. Toyota Material Handling Baltic Eesti Filiaal. (s.a). Smarter handling with lean automated trucks from Toyota. <https://baltic.toyota-forklifts.eu/et/automation/automatiseeritud-lahendused/smarter-handling-with-lean-automated-trucks-from-toyota/> (07.10.2020)
33. Toyota Material Handling Baltic Eesti Filiaal. (s.a). Toyota Material Handling Baltic Eesti Filiaal. <https://baltic.toyota-forklifts.eu/et/miks-toyota/kes-me-oleme/toyota-material-handling-baltic-eesti-filiaal/> (07.10.2020)
34. Toyota Material Handling. (s.a). Autopilot stacker truck 1,6 ton.
<https://qpsearch.bt-forklifts.com/PIPDF/746908-040.pdf> (07.10.2020)
35. Toyota Material Handling. (s.a). Autopilot order picking truck 1,6 ton.
<https://www.toyota-material-handling.co.th/web-upload/filecenter/Toyota%20Autopilot%20-%20OAE120CB%20Product%20Information.pdf> (07.10.2020)
36. Conger. (16.09.2020). 6 Health Risks for Forklift Operators and How to Prevent Them. <https://www.conger.com/health-risks-forklift-operators/> (10.10.2020)
37. AGV network. (s.a). What is a Laser Guided Vehicle? LGV Advantages and Disadvantages. <https://www.agvnetwork.com/what-is-a-laser-guided-vehicle-lgv> (27.11.2020)
38. Toyota Material Handling. (06.12.2017). Automated block stacking with Toyota. <https://youtu.be/zaP01-K2Kn0> (27.11.2020)
39. Toyota Material Handling. (s.a). Toyota presents its new intelligent AGV automation software T-ONE. <https://toyota-forklifts.eu/about-toyota/news-and-editorials/toyota-presents-its-new-intelligent-agv-automation-software-t-one/> (27.11.2020)
40. Anylogic. (s.a). Multimethod modeling environment. <https://www.anylogic.com/features/> (03.12.2020)