

**TAL
TECH**

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

**AUTOMAATJUHITAVATE TÕSTUKITE
KASUTUSELEVÕTU EDUTEGURID EESTI
ETTEVÕTETES**

**SUCCESS FACTORS FOR AUTOMATED GUIDED VEHICLES
INTRODUCTION IN ESTONIAN COMPANIES**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kirill Pavlov

Üliõpilaskood 182966EALM

Juhendaja: Ott Koppel, PhD

Tallinn 2021

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.

“26” mai 2021

Autor: Kirill Pavlov

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“26” mai 2021

Juhendaja: Ott Koppel

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“19” mai 2021 .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Kirill Pavlov, (sünnikuupäev:10.08.1988)

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

„Automaatjuhitavate tõstukite kasutuselevõtu edutegurid Eesti ettevõtetes“, mille juhendaja on Ott Koppel

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

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

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

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

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

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

TalTech mehaanika ja tööstustehnika insituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kirill Pavlov, 182966EALM

Õppekava, peeriala: EALM02/18 - Logistika

Juhendaja: Ott Koppel, PhD

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Automaatjuhitavate tõstukite kasutuselevõtu edutegurid Eesti ettevõtetes

(inglise keeles) Success Factors for Automated Guided Vehicles Introduction in Estonian Companies

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Kaardistada automaatjuhitavate tõstukite kasutamist Euroopas ja Eestis.
2. Pakkuda välja lahendused läbi automaatjuhitavate tõstukite kasutamise tööprotsesside optimeerimiseks Eesti ettevõtetes.
3. Välja selgitada kriitilised edutegurid, mis julgustavad Eesti logistika- ja tööstusettevõtteid juurutada automaatjuhitavate tõstukite tehnoloogiad materjali käsitlemise protsesside tõhustamiseks.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lähteandmete kogumine ja analüüs.	01.03.2021
2.	Kaardistatud parimate praktikate ja tehniliste lahenduste kirjeldus.	01.04.2021
3.	Analüüsi tulemuste esitamine ja lõputöö vormistamine	01.05.2021

Töö keel: eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "26" mai 2021.a

Üliõpilane: Kirill Pavlov

/allkiri/

"26 " mai 2021.a

Juhendaja: Ott Koppel

/allkiri/

"26". mai 2021. a

Konsultant: ".....".....2021.a

/allkiri/

Programmijuht: ".....".....2021.a

/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	5
SISSEJUHATUS	6
1. AUTOMAATJUHTIMISEGA TÕSTUKID (AGV)	8
1.1. Automatiseerimine logistika valdkonnas	8
1.2. AGV klassifikatsioon ja tööpõhimõtted	11
1.3. Laserjuhitavad tõstukid (LGV).....	17
1.4. Rahvusvaheline praktika	22
2. METOODIKA.....	29
2.1. Uurimisstrateegia.....	29
2.2. Intervjuud.....	30
2.3. Vaatlused.....	33
2.4. Tehnoloogia valik	35
2.5. Investeeringuprojekti hindamine	36
3. ANALÜÜS JA SÜNTEES.....	39
3.1. Intervjuude tulemused	39
3.2. Vaatlustulemused	43
3.2.1. Kaubakäsitletus tööstusettevõttes	43
3.2.2. Tööprotsessid logistikaettevõtte laos.....	45
3.3. Pakutav tehniline lahendus.....	46
3.4. Tasuvusanalüüs	49
3.5. Järeldused	54
KOKKUVÕTE	57
SUMMARY.....	59
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	61
LISAD	64
Lisa 1. LGV virnastaja Toyota SAE160 tehniline spetsifikatsioon	64
Lisa 2. LGV lükandmasti virnastaja Toyota RAE160 tehniline spetsifikatsioon	66

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö teema on „Automaatjuhitavate tőstukite kasutuselevõtu edutegurid Eesti ettevõtetes“.

Magistritöö näol on tegemist ettevõttepõhise projektiga ning töö teema on valitud seoses uuritava valdkonna arengu uurimisega Eestis. Magistritöös käsitletakse juhita tőstukite kasutuselevõttu Eestis ning analüüsitakse edutegureid ja tootmis- ja logistika ettevõtete protsesside automatiseerimise kitsaskohti.

Lõputöös käsitletavaks probleemiks on vähene teadmine automaatjuhitavate tőstukite kasutuselevõtu takistavatest teguritest Eesti ettevõtetes. Eesmärgiks on selgitada välja kriitilised edutegurid, mis julgustavad Eesti logistika- ja tööstusettevõtteid juurutada automaatjuhitavate tőstukite tehnoloogiad materjali käsitlese protsesside tõhustamiseks. Püstitatud eesmärgi saavutamiseks rakendatakse kvalitatiivset uurimisstrateegiat, mille raames viiakse läbi intervjuud valdkonna esindajatega, vaadeldakse logistika ja tööstusettevõtte kauba/toodangu teisaldamise tööprotsessid ning teostatakse laserjuhitavate tőstukite kasutuselevõtuga seotud tasuvusanalüüs.

Lõputöö tulemused kasutatakse ettevõttes Toyota Material Handling Baltic SIA Eesti Filiaali automatiseerimise valdkonna toodete müügi arendamiseks.

Võtmesõnad: automatiseerimine, automaatjuhtimisega tőstukid, laserjuhitavad tőstukid, efektiivsus, materjali käsitlese, magistritöö.

SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö teema, „Automaatjuhitavate tőstukite kasutuselevõtu edutegurid Eesti ettevõtetes“, põhineb erinevate äri sektorite poolt kasutatavatel tehnoloogiatel, mis võimaldavad teostada kaubakäsitlust, teisaldada koormasid või teostada mitmesuguseid laotoiminguid ilma inimese otsese osaluseta või jättes talle õiguse teha põhilisi otsuseid. Teema aktuaalsust toetab viimastel aastatel maailma töötleva tööstuse, tootmise ja logistika valdkonnas tõusutrendis oleva digitaliseerimise ja automatiseerimise tehnoloogiate rakendamise.

Lõputöö uurimisprobleem seisneb selles, et tänapäeval puudub teadmine automaatjuhitavate tőstukite (AGV) kasutamisest Eesti ettevõtetes. Töö eesmärgiks on välja selgitada kriitilised edutegurid, mis julgustavad Eesti logistika- ja tööstusettevõtteid juurutada automaatjuhitavate tőstukite tehnoloogiad materjali käsitluse protsesside tõhustamiseks. Eesmärgi saavutamiseks püstitab autor järgmised uurimisküsimused:

- Milline on Eesti tootmis- ja logistika ettevõtete teadlikkus laserjuhitavate tőstukite tehnoloogiast?
- Mis on juhita tőstukite aktsepteeritav tasuvusaeg Eesti ettevõtetele?
- Mis on Eesti ettevõtete avatuse tase tootmise ja tootlikkuse parandamiseks läbi innovaatilisi tehnoloogiate?
- Missugune on Eesti ettevõtete töökeskkonna valmidus AGV tehnoloogia kasutamiseks?
- Milline võiks olla logistika ja tööstusettevõtte tööprotsesside tõhustamiseks sobiv automaatjuhitavate tőstukite tehniline lahendus?
- Missugune on automaatjuhitavate tőstukite tehnoloogia kasutuselevõtu tasuvusaeg?

Uurimisküsimustele lahenduste leidmisel rakendab autor kvalitatiivset uurimisstrateegiat, mille raames kasutab andmekogumismeetoditena struktureeritud intervjuud ja vaatlust ning toetudes saadud tulemustele teostab uuritava logistika ja tööstusettevõtte sisendandmete baasil juhita tőstukite tehnoloogia juurutamise projekti tasuvusanalüüsi. Autor korraldab intervjuud logistika ja töötleva tööstuse ettevõtete esindajatega uurimaks nende teadlikkust automaatjuhitavate tőstukite tehnoloogia kohta, ettevõtete poolt eesmärgistatud automatiseerimise projektide tasuvusaega, tőstukijuhtide volavust ning ettevõtte tööprotsesse, millel on automatiseerimiseks potentsiaali. Tegelikult töökeskkonnaga tutvumiseks ja tehnoloogiliste protsesside kaardistamiseks korraldab autor uuritavates ettevõtetes vaatlust. Uurimuse objektidena käsitletakse Eesti logistika ja puidutööstusettevõtet. Tasuvusanalüüsi tulemuste alusel

tehakse ettepanekud automaatjuhitavate tõstukite projekti juurutamiseks ning põhjendatakse seotud eelised ja puudused.

Magistriöö koosneb kolmest osast. Esimeses osas antakse ülevaate automatiseerimise valdkonna varasemate uuringute kohta ning käsitletakse Euroopa tootmis- ja logistika ettevõtete parimad praktikad juhita tõstukite kasutamise kontekstis. Ühtlasi selgitab autor juhita tõstukite olemust, kontseptsiooni ja tehnilisi eripärasusi, toob välja tootmise ja logistika kaubakäsitluse protsesside automatiseerimise eelised ja puudused ning kirjeldab automatiseerimise projektide tasuvusanalüüsi teostamise käiku.

Lõputöö teises osas tutvustatakse valitud metoodikat ehk uurimisstrateegiat: tuuakse välja kasutatud kvalitatiivseid andmekogumismeetodeid, milleks on struktureeritud intervjuu ja vaatlus. Ühtlasi kirjeldatakse kahe uuritava ettevõtte automatiseerimise projektide tasuvusanalüüs. Kolmandas osas annab autor ülevaate uuritavatele ettevõtetele tehtavatest ettepanekutest automaatjuhitavate tõstukite kasutuselevõtu kohta ning selgitab, mis valdkonna ettevõttele on antud tehnoloogia juurutamine protsessiliselt ja majanduslikult kasulik.

Lõputöö tulemused võivad pakkuda huvi logistika, töötleva tööstuse või tootmisettevõtete tööprotsesside automatiseerimiseks, eeskätt tooraine, toodangu või kaubakäsitluse operatsioonide puhul. Ühtlasi lõputöös välja toodud argumendid ja esitatud teoreetiline materjal võib olla kasulik automaatjuhitavate tõstukite või muude laotoimingute automatiseerimise lahenduse pakkuvatele ettevõtetele.

1. AUTOMAATJUHTIMISEGA TÖSTUKID (AGV)

1.1. Automatiseerimine logistika valdkonnas

Logistika ajalugu on tihedalt seotud automatiseerimise evolutsiooniga, mis algas aurumasinast ning arenes tänapäevaste robotiseeritud materjali teisaldamise- ja pakkimisseadmeteni ning isesõitvate tőstukiteni. Logistika protsesside automatiseerimise vajadust rõhutavad järgmised peamised tegurid [1]:

- suurenev tööjõupuudus,
- plahvatuslikult kasvav e-kaubandus,
- koostööpartneritega tehniliste lahenduste integreerimise vajadus.

Vastavalt 2019. aasta McKinsey Ülemaailmse Instituudi hinnangule olid automatiseerimise suurima arengupotentsiaali esiridadel sellised valdkonnad nagu transport ja laondus [1]. Eelnevalt mainitud logistiliste toimingute esile kutsuvate tegurite asendamine automatiseerimise lahendused on mitmed. Tööjõu puudumise valguses lahendab robotiseeritud tehnika kasutuselevõtt nii tööprotsesside tõhususe, kui ka kuluefektiivsuse suurendamise väljakutseid. Kui inimesed on asendatud masinatega, siis kaovad inimfaktoriga seotud mured: haiguslehed, puhkused, eksimused ja möödarääkimised, toodete puudulik kvaliteet. Seadmed ei väsi, ei vaja puhke- ja lõunapause, on täpsed ülesannete täitmisel, masinatega teostatavate operatsioonide kiirus on tunduvalt kõrgem, nende eest ei pea tasuma sotsiaalmaksu ja tervisekindlustust.

USA tööstatistika büroo tegi 2017. aastal arvutusi, mille kohaselt ligi neli miljonit ameeriklast töötavad ladudes järelevalve, materjalide käsitleja või pakendaja ametikohtadel, mis tegi peaaegu kolm protsenti kogu Ühendriikide tööjõust; üheskoos teenisid mainitud töötajad üle 100 miljardi dollari aastapalka. Automatiseerimine ei võimalda kõiki neid töötajaid koondada ja paljusid saab ümber paigutada uutele töökohtadele, mis hõlmavad koostööd uute masinatega ja/või nende hooldamist. Kuid kui kasvõi osa neist töökohtadest kaob, kujutab see endast ikkagi olulist murrangut [1].

Väga kiiresti kasvav ja arenev e-kaubandus muudab omakorda kogu logistika valdkonda. Veebimüügi kasv on hästi dokumenteeritud. Näiteks Ameerika Ühendriikides on e-kaubanduse kasv viimase kümne aasta jooksul olnud keskmiselt 15 protsenti aastas ja kaubavalik on dramaatiliselt laienenud [1]. Logistika ja e-kaubanduse valdkondade koostöö on viimaste aastate jooksul muutunud palju tihedamaks, kui mis tahes muus tööstusharus [2].

Kaubamahud suurenevad, koos sellega suureneb ka kaupade töötlemise, pakendamise ja transportimise vajadus. Ostjad eeldavad, et kaup tarnitakse kiiresti ning tarneraskused madaldavad tugevalt kaubandusettevõtte konkurentsieelist. Tööjõu puudumine omakorda suurendab probleemi ning võimalikuks lahenduseks on kauba käsitluse protsesside automatiseerimine. Automatiseerimistehnoloogia on jõudnud kaugemale. Uute täielikult automatiseeritud ladude lahendused on demonstreerinud maailmale mitme uue tehnoloogia potentsiaali, mis on atraktiivsed nii logistika kontsernidele, kui ka investoritele [1].

Aastal 2020 rõhutas logistika automatiseerimise aktuaalsust COVID-19 pandeemia puhkemine ja globaalne tervisekriis, millega kogu maailma ettevõtted täna silmitsi seisavad. Rahvusvaheline ärinõustamisvõrgustik KPMG kirjutab oma Eesti üksuse kodulehel, et koroonaviiruse põhjustatud tervisekriis ei puuduta ainult inimeste tervist, vaid avaldab märkimisväärset mõju kaubandusele, paljude tootmisettevõtete jätkusuutlikkusele ning nõuab äriorganisatsioonide juhatuse poolt kiiret reageerilist ja mitmete tööprotsesside ümberehitamist [2].

Ülemaailmne masinnägemissüsteemide, andurite ja tarkvara ning tööstusautomaatikas kasutatavate tööstusdokumentide lugejate tarnija Cognex Corporation avaldas oma blogis artikli teemal, kuidas koroonaviirus muutis meie ostlemise harjumusi ja kiirendas automatiseerimise jaemüügi sektoris. Antud artikli autorid jagavad Cognex'i tähelepanekuid selle kohta, kuidas COVID-19 võimendas paljude ettevõtete investeeringuid automatiseerimisse eeskätt tegevuse efektiivsuse suurendamise ja inimtööjõu asendamise eesmärgiga [3]. Kui enne pandeemia puhkemist kavandasid mitmed äriorganisatsioonid uuenduslikke tehnoloogiate (näiteks, robotite rakendamist toodetud ühikute korjamiseks või laovarude haldamise automatiseerimiseks) juurutada lähima kolme-viie aasta jooksul, siis töötajate terviseriskid, mida COVID-19 kaasa tõi, sundisid uute tehnoloogiate kasutuselevõtu tähtaegu üle vaadata ja lühendada [3].

Automatiseerimise käigus luuakse ja juurutatakse tehnoloogiaid ja seadmeid, mis teostavad rutiinseid toiminguid olematu inimsekkumisega. Seoses sellega, et tootmises, laonduses või logistika valdkonnas teostatakse mitmete tööprotseduuride korral korduvaid tegevusi ning tihtipeale tingimused jäävad samaks, sobivad paljud sellised operatsioonid eelseadistatud masinatele või robotitele teostamiseks [4].

Ladudes ja tootmistehastes toimub inimeste poolt tehtavate tööülesannete hulga vähenemine järjepidevalt. Laoroboteid ja iseliikuvaid masinaid arendatakse ja toodetakse üha enam, nende hinnad langevad ja sageli automatiseerimise tehnoloogiate soetamine võib kujuneda majanduslikult põhjendatuks ka väiksematele ladudele,

logistika terminalidele või tootmisettevõtetele. Maailma praktikas kasutatakse erinevaid täis- ja poolautomaatseid lahendusi, näiteks [4]:

- automatiseeritud ladu (ingl. k. *Automated Warehouse*) – arvuti juhitud süsteem, kus kauba käitlemise operatsioonid teostatakse automaatselt või poolautomaatselt töötavate laorobotite poolt minimaalse inimsekkumisega.
- autonoomsed mobiilsed laorobotid (ingl. k. *Autonomous Mobile Robot - AMR*), mis toimetavad kaubaaluseid komplekteerija töökohale ja teisaldavad need pärast komplekteerimist tagasi hoiukohale.
- laosüsteemid (näiteks, vertikaalkarusell, horisontaalkarusell, liftitorn) mida kasutatakse üldjuhul peen- ja tükikauba hoiustamiseks ja väljastamiseks etteantud algoritmi või töötaja nõudmise alusel.
- sahtellao kraanasüsteemid – spetsiaalse tarkvara juhitud, automaatselt töötavad tõste- ja teisaldusseadmed ning riulisüsteemid kindlaks määratud suurusega hoiukohtadega.

Viimase aastakümne jooksul on lao automatiseerimine kiiresti arenenud. Suure tõuke on andnud AVS/R ehk automaatjuhitavad/robotiseeritud kauba ladustamise ja riuldamise tehnoloogia, mille näol on tegemist vahekäikudega riulite ja neid teenindatavate roobotseadmetega, mis töötavad igas vahekäigus igal riuli tasandil.

Teine oluline areng on olnud kaubaaluste automatiseeritud virnastamine ja lahtipakkimine, eriti ka 2000. aastate alguses välja töötatud tehnoloogia abil. Suhteliselt hiljuti võeti kasutusele kaubakäsitluse protsessi toetamiseks automaatjuhitavaid tõstukeid. Nende süsteemide kasutuselevõttuga kaasneb kauba liigutamise protsessi automatiseerimine [5].

Automatiseerimise võimaldab uuendada ja tõhustada mitmetasandilisi tööprotsesse, lihtsustada nende juhtimist ja kontrolli. Samal ajal ka automatiseerimine iseenesest on kompleksne protsess ja nõuab suuri investeeringuid. Üldjuhul lähtuvad ettevõtted põhimõtetest, et lao-, logistika või tootmise toimingute automatiseerimise kasuks peab otsustama alles pärast seda, kui tuvastatud, et traditsiooniliste tehnoloogiliste lahendustega jätkamine ei ole olemasoleva töö mahu kontekstis jätkusuutlik tegevus [4].

Automatiseerimise tehnoloogiate rakendamine suurendab tootlikkust, lühendab protsesside tsükliägu, vähendab komplekteerimisvigu ja sellest lähtuvalt tõstab teenindustaset. Kasvav operatsioonide teostamise kiirus lühendab klientide/tellijate ooteaega ning seeläbi suurendab usaldust tootja, tarnija või teenuse ositaja suhtes. Ka lao- või logistika ettevõtte ruumikulusid on võimalik automatiseerimisega vähendada kuni 85% tänu kõrgemale ladustamisele ja kiirematele logistilistele operatsioonidele.

Arvutused näitavad, tegevuskulude osas on võimalik saavutada kuni 65% kokkuhoiu peamiselt tööjõukulude vähendamise tõttu. Logistiliste toimingute tõhustamine on saavutatav protsesside eelseadistamisega ja operatsioonide dünaamilisteks muutmisega [4].

Tootmise/töötleva tööstuse protsesse iseloomustab vajadus käsitseda materjale, mida on vaja sisendina tootmistegevusse või mis on toodetud protsesside endi poolt. Konkurentsivõime ja jätkusuutlikkuse tagamiseks peavad tootmisettevõtted vähendama tootmiskulusid, mis sunnib ettevõtteid tööjõukulusid kokku hoidma. Selles kontekstis on materjalide käitlemine üks peamisi võimalike kokkuhoiu allikaid, eriti enamikus arenenud riikides, kus palgad on suhteliselt kõrged. Tööstus 4.0 tehnoloogiad pakuvad selle probleemiga tegelemiseks palju võimalusi. Automatiseerimine on seotud võimalusega vähendada inimeste otsest tööhõivet protsessides [6].

Logistika on veel üks suur valdkond, mis liigub automatiseerimise poole. Tõepoolest, automatiseeritud materjalikäsitluse lahenduste eesmärk on töötingimuste parandamine, inimeste leevendamine väsitavatest ja mitte motiveerivatest ülesannetest [6].

Isegi kui materjali käitlemise otseseid kulusid on raske hinnata, väidetakse, et see võib saavutada umbes 20–25% kogu tootmiskulust [7]. Peamised tegurid, mis aitavad neid otseseid kulusid suurendada, on aja raiskamine ja tööjõukulud. Üldiselt ei lisa materjali käitlemine tootele väärtust, kuna see ei ole tootmisprotsess [8]. Seetõttu on lao ja materjali käitlemise automatiseerimine teema on viimastel aastatel on majandusteadlaste ja praktikute tähelepanu all [9].

1.2. AGV klassifikatsioon ja tööpõhimõtted

Tootmise-, laonduse ja transpordilogistika toimingute automatiseerimise üheks lüliks on automaatjuhtimisel töötavad tõstukid (ingl. k *Automated Guided Vehicle* ehk AGV). AGV on robotiseeritud seade, mida tavaliselt kasutatakse tööstuslikes rakendustes automatiseeritud vahenditena materjalide transportimiseks kogumiskohtadest mahakandekohtadesse (st materjalide käitlemise ülesanded), eriti rajatistes nagu jaotuskeskused, tootmisettevõtted, terminalid ja laod [6].

Efektiivsuse tõstmiseks ja tööjõukulude vähendamiseks nii tootmisel kui ka logistika valdkonnas kasutatakse tõhusa vahendina roboteid. Automaatjuhitavad tõstukid on mõeldud peamiselt materjali liigutamiseks ühest kohast teise. AGV'sid kasutatakse tavaliselt tootmisettevõttes, ladudes, jaotuskeskustes ja terminalides [10].

Automaatjuhtimisel töötavaid tõstukeid on kasutatud ligi kolm aastakümneid alates aastast 1953, mil valmistati ja rakendati esimene automaatõstuk. AGV masinaid on

pidevalt arendatud ning arendustöö tulemusel on AGV'd muutunud töös paindlikumaks, on lisandunud uusi tehnoloogiaid ja lihtsustunud nende sünkroniseerimine erinevate töökeskkondadega [4].

Automaatjuhtimisega tõstuki näol on tegemist elektrimasinaga, mis liigub iseseisvalt, ilma juhita pardal. Tõstuki liikumist ja operatsioonide teostamist juhib ja kontrollib spetsiaalne tarkvara ja mitmed turvasüsteemid. Masin on varustatud täiendavate mehhanismidega peale- ja mahalaadimiseks, mis toimivad ilma inimese sekkumiseta [4]. Juhita tõstukid on ühendatud keskse navigeerimissüsteemiga, mis saadab sõidukile juhised, saab erinevate rongis olevate andurite kaudu nende asukohateavet ja juhendab neid vastavate transpordiülesannete täitmisel eelnevalt kindlaksmääratud radadel [7].

Automaatjuhtimisega tõstukite ehitus sarnaneb tavalise alusesiirdaja, virnastaja, lükandmastivirnastaja, kahveltõstuki või veduki omaga (joonis 1). AGV tõstuk liigub eelnevalt määratletud teekonna järgi. Liikumise algust kutsub esile programmeeritud sündmus (näiteks, andurid, operaatori signaal jne) [11].

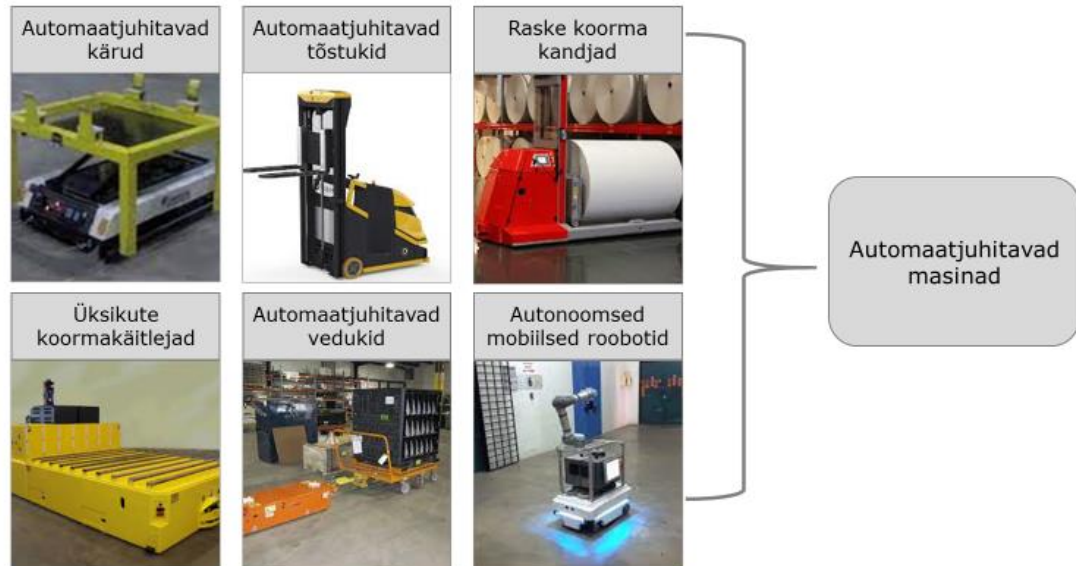


Joonis 1. Automaatjuhitavad virnastajad [12]

Automaattõstukid saavad töökorraldused arvutilt raadio teel (WLAN) ja orienteeruvad ruumis kasutades erinevaid tehnilisi lahendusi (laserid ja peeglid, põrandasse paigaldatud andurid jms). Automaattõstukite liikumisteed ja tõstmise operatsioonid on ette programmeeritud ning seetõttu kasutatakse neid piiratud ulatuses, enamasti rutiinsete tööülesannete täitmiseks [4].

Paljud AGV'd sarnanevad teiste inimeste juhitavate tõstukitega, kuid on loodud töötama ilma inimese otsese sekkumiseta ja juhisteta. Automaatjuhitavate masinate klassifikatsiooni (joonis 2) valguses eristatakse järgmised seadmete tüübid [13]:

- automatjuhitavad kärud (ingl. k *Automated Guided Carts - AGC*),
- automaatjuhitavad tõstukid (ingl. k *Forklift AGVs*),
- automaatjuhitavad vedukid (ingl. k *Towing AGVs*),
- ühikute koormakäitlejad (ingl. k *Unit Load Handlers*),
- raske koorma kandjad (ingl. k *Heavy Burden Carriers*),
- autonoomsed mobiilsed robotid (ingl. k *Autonomous Mobile Robots*)



Joonis 2. Automaatjuhitavate masinate klassifikatsioon ([13], kohandatud autori poolt)

Automaatjuhitavate kärude näol on tegemist minimaalsete omadustega kaubakäsitluse seadmetega. Nende masinate navigatsiooni võimalused põhinevad nii lihtsamatel tehnilistel lahendustel (nagu magnetlint), kui ka keerukatel sensoripõhistel navigatsioonisüsteemidel, mis kasutavad tehisintellekti oma keskkonnas liikumiseks. AGC masinad saavad transportida mitmesuguseid materjale, alates väikestest osadest kuni laaditud kaubaalusteni, ja neid kasutatakse sageli sortimis- ja ladustamisrakendustes. Üks näide AGC'ist on automatiseeritud haiglakäru, mida kasutatakse kompaktsete koormate, näiteks söögikordade ja tühjade toidualuste, puhta või määrdunud voodipesu, bioloogiliselt ohtlike jäätmete või steriilsete tarvikute tõhusaks transportimiseks kogu haiglas ilma, et töötajal oleks vaja käru käsitsi ühest kohast lükata. Kirjeldatud tehniline lahendus võib aidata vähendada haigla tööjõukulusid. [13]

Automaatjuhitavad kahveltõstukid on kõige levinum AGV tüüp. Need on ette nähtud samade funktsioonide täitmiseks, mida täidab inimese käitatav tõstuk (kaubaaluste transportimine), kuid ilma inimese käitamiseta. [13]

Pukseerimissõidukid ehk automaatjuhitavad vedukid tõmbavad ühe või mitu mootoriteta koormat kandvat sõidukit enda taha. Need masinad kasutatakse sageli raskete koormate transportimiseks pikema vahemaa tagant. AGV vedukitel võib olla mitu väljalülitamise ja vastuvõtmise peatust mööda lao või tehase territooriumil määratud rada. [13]

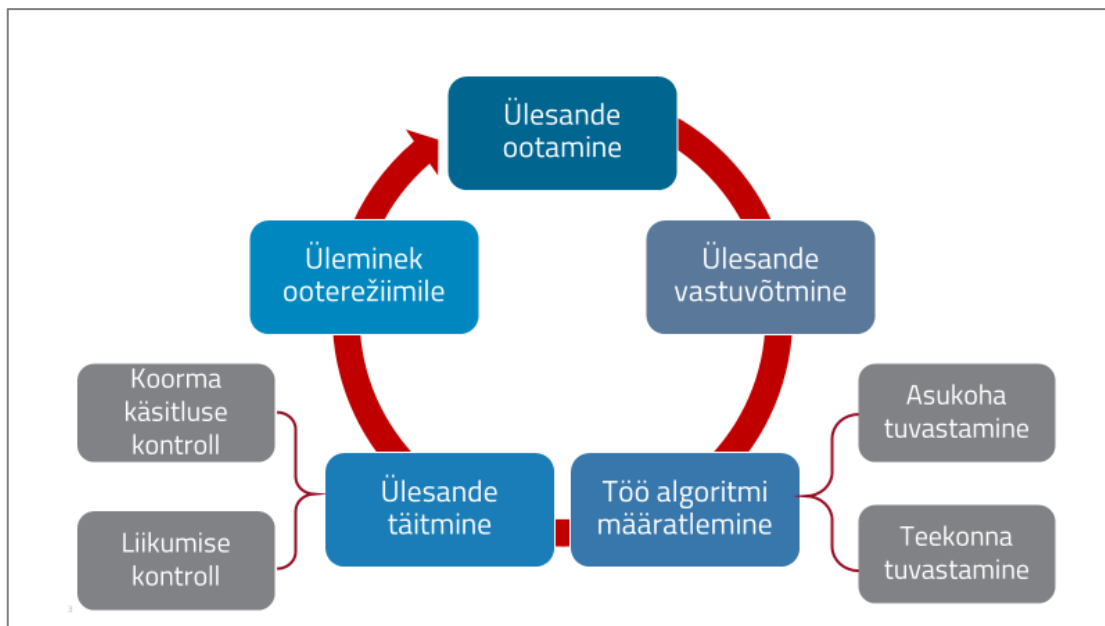
Ühekoormakäitlejad on mõeldud koorma üksikute komponentide teisaldamiseks, näiteks üksikuid esemeid, üht kaubaalust või pakendit, mis sisaldab mitut eset. Raskemate koormate käitlemiseks sobivad raske koormakandjad, mida kasutatakse sellistes valdkondades nagu suurte detailide kokkupanek, valamine ning mähiste ja plaatide transport. Mõnel raskekoorma kanduril on iselaadimisvõimalused. [13]

Autonoomsed mobiilsed robotid (AMR) on tavaliselt tehnoloogiliselt arenenumad kui muud tüüpi AGV'd. Kui paljud AGV'd kasutavad fikseeritud navigatsioonisüsteeme, juhtmeid või magnetlinti, on AMR'id varustatud intelligentsete navigeerimisvõimalustega, näiteks andurite ja kaamerasüsteemidega, mis võimaldavad masinatel tuvastada takistusi ja neist mööda sõita. Tänu keerukamale tehnoloogiale saavad AMR'id dünaamiliselt navigeerida ning seetõttu tõstavad kaubakäsitluse protsessi ajaefektiivsust. [13]

AGV tõstuki ehituse kohaselt käsitletakse põhilisi komponente ja süsteeme [12, 14]:

- mehaanilised osad (raam, korpus, roolimiseadmed, mootorid ja ülekandesüsteemid, eriotstarbelised robotosad, tõstemehhanismid);
- elektroonilised ja elektrilised osad (keskprotsessor ehk juhtseade koos programmeeritava kontrolleri, mis vastutab liikumisprotsessi eest, mikrokontrollerid, andurid ja elektrisüsteem);
- kahe sõltumatult töötava elektrimootoriga jaam, mis tagab veojõu ja pööramise;
- jõuallikas ehk toiteplokk, mis koosneb suletud hooldusvabade akude komplektist;
- täitemehhanism, mis on seotud tõste- ja haaramise funktsioonidega;
- turva- ja hoiatussüsteem, sealhulgas valgus- ja helisignaalid, mis aktiveeruvad sõidu ajal ning - navigeerimissüsteem, mis võimaldab liikuda antud trajektoori mööda.

Erinevalt mehitatud tõstukist on automaatjuhitava tõstukil olulisi eripärasusi: spetsialiseeritud tarkvarad ja navigatsioonisüsteemi olemasolu. Tõstuki tarkvaraarhitektuur on loodud vastavuses masina töö loogikaga - tõstuki juhtploki on integreeritud planeerimise-, marsruudi-, sõiduplaani- ja navigatsiooni süsteemi programmid, mis on ühendatud roolimehhanismidega. Roolimehhanismid hõlmavad kahe iseseisvalt liikuva rattaga diferentsiaaljuhtimist, juhitava ratta juhtimise kasutamist ja kombineeritud tehnikaid [14]. AGV masina tööprotsessi üldpõhimõtte on esitatud joonisel 3.



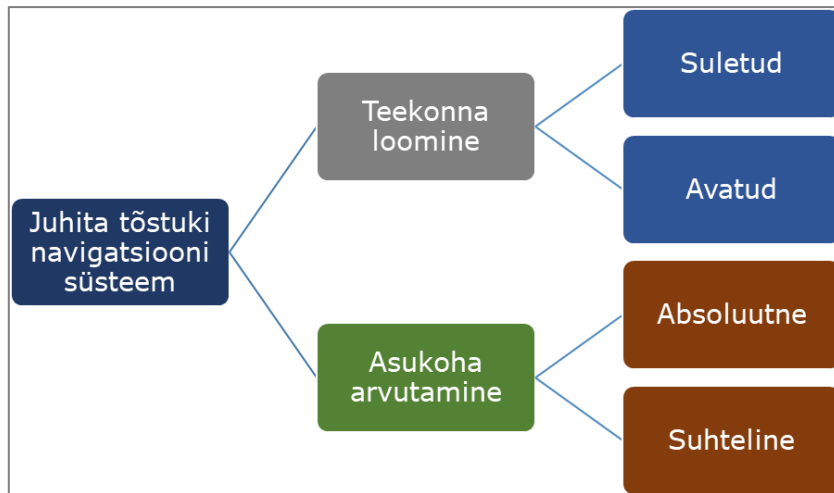
Joonis 3. Automaatjuhitava tõstuki tööprotsess (autori joonis)

Automaatjuhitava tõstuki autonoomset liikumist võimaldab seadme juhtimis- ehk navigatsioonisüsteemi. Selleks, et tõstukit saaks pidada autonoomseks, peab see olema võimeline liikuma punktist A punkti B ilma inimese sekkumiseta. Integreeritud navigeerimissüsteemi võimaldab juhita tõstukil liikuda keskkonnas teatud rada pidi ja vältida takistusi, millega ta kokku puutub [15].

Navigeerimistehnoloogia põhimõtted on pidevas arengus ning on paari aasta jooksul saanud olulise muutuse: varem kasutati navigeerimiseks magnetlindi, spetsiaalset värvi või traadi, kuid nüüd on rakenduses optilise, laseri või töökeskkonna kaardi järgi navigeerimise tehnoloogiad. Automaatjuhitavaid tõstukeid nimetatakse intelligentseks transpordiks, kuna see toimetab materjali õigel ajal õigesse kohta. Tehnoloogia ei avalda kahjulikku mõju keskkonnale ja on ohutu kasutada. [16]

Sõltuvalt süsteemi raja omadustest, eristatakse suletud ja avatud navigatsioonisüsteeme. Suletud navigeerimissüsteemi korral liigub tõstuk kindlaks määratud teekonnal. Avatud navigeerimissüsteemis juhita tõstuk võib reaalses oma trajektoori muuta, näiteks takistuse ilmnemisel kasutada ümbersõidu teed.

Tulenevalt sellest, kuidas AGV arvutab oma praeguse asukohta, eristatakse absoluutseid ja suhtelisi navigeerimissüsteeme. Absoluutse süsteemi korral arvutatakse tõstuki asukoht igal ajahetkel, suhtelist süsteemi iseloomustab tõstuki asukohta arvutamine eelmise asukoha järgi (joonis 4) [15].



Joonis 4. Juhita tõstukite navigeerimissüsteemide kategooriad ([15], kohandatud autori poolt).

Saadaval on mitmeid erinevaid navigatsioonisüsteemide võimalusi. Kui varasemalt toimus navigatsioon värvi- või magnetriba, markerite ja juhtmete abil, siis tänapäeval tänu tehnoloogia arengule suurenes optilise, laaseri ja inertsiaalse navigatsioonisüsteemi kasutamine. Automaatjuhitavate tõstukite navigatsioonisüsteemide lahendused [14].

1. Tõstuk liigub mööda põrandasse põimitud rada, mis võib koosneda juhtmetest, rööbastest või kaablitest. Meetodi eeliseks on töökindlus- ja kõrge tööohutus, kuid on vajalik raja ehitamine ning selle konstruktiivne mobiilsus on piidatud.
2. Põranda pinnale liimitakse magnetlint (transporti mitte takistav), liikumine toimub mööda seda. Tegemist on kõige levinuma ja odavama lahendusega, kuid selle puuduseks on magnetlindi hõõrdekulumine.
3. Tõstuk on varustatud pöörleva laseriga, mis tuvastab ümbritsevasse piirkonda paigaldatud helkureid ja nende asukohta. Sobib väga kõrget täpsust nõutavate logistiliste operatsioonide teostamiseks.
4. Optiline navigeerimine: AGV pardakaamera järgib põrandale joonestatud rada.
5. Inertsiaalne navigeerimine töötab ilma märkide ja väliste tugipunktideta. Tööpõhimõtteks on vigade kogunemine inertsiaalsüsteemide poolt. Sõltuvalt logistilise süsteemi tehnilistest nõuetest saab kasutada ülitäpseid inertsiaalseid süsteeme.
6. Geonavigeerimise korral varustatakse robotid töökeskkonna kaardiga, mis võimaldab masinal liikuda iseseisvalt olenemata infrastruktuuri tüübist. Vastav tarkvara arvutab marsruudid autonoomselt. See tehnoloogia on väga paindlik - kaardistamistarkvara abil saab tõstuk kaarti igal ajal muuta. Tegemist on kõige usaldusväärsema lahendusega, mida kasutatakse AMR tehnoloogias. Antud kontseptsiooni nimi on SLAM (ingl k *Simultaneous Localization and Mapping*).

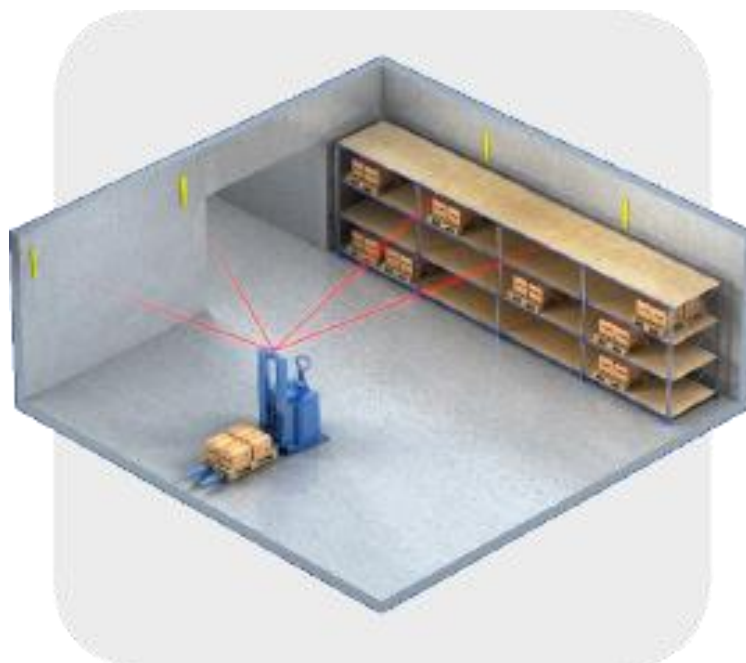
Viimastel aastatel suuremat populaarsust kogub automaatjuhitavate tõstukite kasutamisel lasernavigeerimine. Laserjuhitava tõstuki eripärad on kirjeldatud järgmises peatükis.

1.3. Laserjuhitavad tõstukid (LGV)

LGV on automaatjuhitav tõstuk, mis on väga sarnane tavalise automaatjuhitava tõstukiga (AGV), kuid navigeerimine toimub laseri abil. Neid mehitamata juhitavaid sõidukeid kasutatakse tööstuslikes rakendustes materjali viimiseks tootmisüksusesse eelnevalt määratletud teekonna kaudu [7].

Laserjuhitavat tõstukit (ingl. k *laser guided vehicle; LGV*) defineeritakse kui juhita tõstukit, mis orienteerub ruumis tõstukil oleva laseri ja ruumi eri punktidesse paigutatud peeglite abil. Tõstuki tööd juhib arvuti laosisese raadiovõrgu kaudu. Raadiosageduslik ühendus tõstuki ja seda juhtiva arvuti vahel võimaldab tõstuki paindlikku juhtimist ja süsteemide töö kontrolli. Uued marsruudid ja tõsted edastatakse tõstukitele reaajas [4].

Tõstukile on paigaldatud väikese võimsusega (0,1–0,3 mW), ühtlase nurkkiirusega pöörlev laser. Laserikiir on inimsilmale nähtamatu ja ühtlasi ohutu. Seintele ja riiulikonstruktsioonidele paigaldatakse tõstuki liikumise alale laserikiire kõrgusele seda tagasipeegeldavad ribad (joonis 5) [4].



Joonis 5. Lasernavigatsiooni printsiip peeglite abil [12]

Pöörlev laserikiir liigub üle reflekteerivate ribad ja püütakse kinni laseriga kokku ehitatud skanneri poolt. Korraga peab olema laserile „nähtav“ vähemalt kolm punkti ruumis, mille koordinaatide ja tagasipeegeldumise aegade alusel arvutab tõstuk ruumis

oma asukoha suure täpsusega. Mõõtmine ja asukoha määramine toimuvad pidevalt tőstuki liikumise ajal. Ruumis orienteerumise täpsus on +/- 10 mm [4].

Tőstuki asukoha kindlaksmääramisel kasutatakse nn kolmnurga süsteemi, mille järgi on tőstuk suuteline alati oma asukohta ruumis tuvastama, kui selle laserkiire jaoks on „nähtaval“ vähemalt kolm peeglit ruumi erinevates kohtades. Tőstuki asukohta ruumis tuvastatakse kaheksa korda sekundi jooksul, mis tagab suure täpsuse liikumisel. Laseri kiir pole inimsilmale nähtav ja juhuslikul silma tabamisel on see silmale kahjutu. [4]

LGV tőstukeid saab rakendada keerukate ladude automatiseerimiseks - integreerida erinevat tüüpi riiuleid, näiteks ühe sügavuse, sissesõidu ja raskusjõu voolu tänu sellele, et saatmist ja marsruutimist kontrollib täielikult laohaldustarkvara. Ainus süsteemi toimimise vajadus on paigutada strateegilistesse punktidesse refketoreid ehk peegleid, et iga masina laserpea saaks praegust asukohta positsioneerida [17].

Laserjuhitavad tőstukid on võimelised täitma tootmis- või logistika ettevõtte operatsioone kogu süsteemi ulatuses: alates tootmismaterjali kohale toimetamisest kuni lao täieliku haldamiseni. Üldiselt kasutatakse juhita tőstukeid materjalide või kaupade liigutamiseks, traditsiooniliselt - tootmissüsteemides. Viimasel ajal leiavad juhita tőstukid laiemat rakendust muude transpordiülesannete täitmisel teistes valdkondades, näiteks ladudes, konteinerterminalides ja välistes (maa-alustes) transpordisüsteemides [12].

LGV tőstukite kasutamise eesmärk on vähendada kulusid ja suurendada kasumlikkust läbi lastikäsitluse efektiivsuse tőstmise. Olulist kokkuhoidu saab saavutada kogu logistikatoimingute või nende teatud osa automatiseerimisega. Automaatne transpordisüsteem tasub ennast väga kiiresti ära, eriti kui töö käib mitmes vahetuses. Robotiseeritud tehnika kasutamine aitab vähendada tööjõukuluseid või vabastada töötajad materjalikäsitluse füüsilistest ja rutiinsetest ülesannetest. Automatiseeritud süsteem töötab 24/7 - pole vaja tootmisprotsessi katkestada. LGV-põhiseid süsteeme eristab kõrge turvalisuse ja töö stabiilsuse tase - turvalahendused välistavad toote, hoonete või seadmete kahjustamise riski [12].

LGV tőstukite põhilised tüübid on [12]:

- LGV alusesiirdajad,
- LGV vastukaaltőstukid,
- LGV kitsavahe- ehk VNA tőstukid (ingl.k *Very Narrow Aisles*),
- LGV virnastajad,
- LGV veokid,
- LGV lükandmastivirnastajad.

Juhita seadme tüübi valik oleneb töökeskkonnast ja tootmise või logistiliste toimingute tüübist ning koormast või materjalist, mida on tarvis teatud tõstuki tüübiga teisaldada. Näiteks, stabilisaatoritega varustatud kahvlid võimaldavad LGV virnastajal (joonis 6) teisaldada kaubaaluseid madalal kõrgusel või tõsta aluseid põrandast põrandani [12].

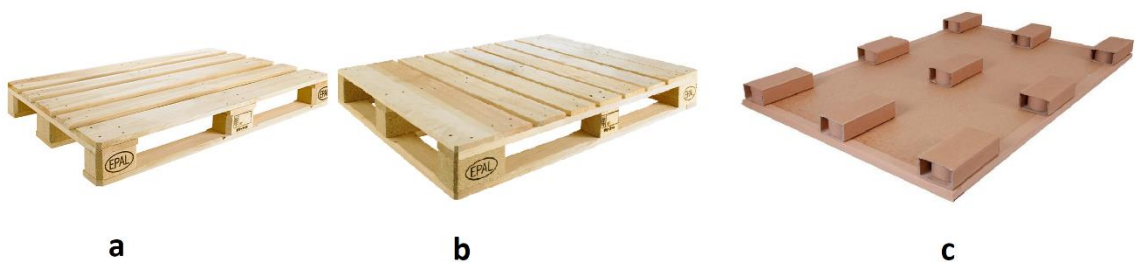


Joonis 6. Toyota laserjuhitav virnastaja [12]

LGV vastukaaltõstukeid (joonis 7) kasutatakse alustega, mida ei ole võimalik käsitleda tõstukiga millel on tugijalad, näiteks EPAL2 või IKEA tüüpi alused (joonis 8).



Joonis 7. Toyota laserjuhitav vastukaaltõstuk [12]



Joonis 8. Aluste tüübid:
a) EPAL1; b) EPAL2; c) IKEA [12]

Juhita kitsavahetõstukid (joonis 9) on loodud töötamiseks lao kitsades korridorides riiulite vahel. Selliste masinate kasutamine võimaldab paigaldada lattu rohkem riiuleid, mis omakorda tähendab suuremat laomahtu. Mõned mudelid on varustatud kolmepoolsete tornikahvli kinnitustega, mis võimaldavad sellist tüüpi LGV-del siseneda kitsasse vahekäiku ja transportida koormaid läbi vahekäigu vajalikesse tarnepunktidesse. Ühtlasi võivad kitsavahetõstukid olla komplekteeritud bilateraalse teleskoopkahvlitega. Minimaalne vahekäigu laius, mil kitsavahetõstuk saab töötada – on 1,7 meetrit [12].

LGV virnastajad saavad sarnaselt kitsavahetõstukitega töötada riiulite vahel, kuid vahekäigu minimaalne laius nende masinate opereerimiseks on kolm meetrit. Virnastajatel kahvlid on varustatud kahe välimise toega, mis jaotavad tõstetava koormuse kaalu. Kahvlid asuvad masti küljes tõstuki liikumise vastassuuna poole mis olulisel määral parandab sõiduki manööverdusvõimet [12].



Joonis 9. Toyota juhita kitsavahe tõstuk [12]

LGV-süsteemi ja juhita tõstuki valik sõltub seadme poolt teostavatest ülesannetest, samuti olemasoleva või kavandatava infrastruktuuri eripärast ja keerukusest. Valides juhita süsteemi kaardistatakse järgmisi aspekte:

- LGV tõstukiga liigutatav koormus ja alus,
- töökorraldused ja vahemaad,

- vastuvõtupunkt (ingl. k *pick-up position*) ja väljalangemispunkt (ingl. k *drop-off position*),
- aluste kogus tunnis,
- akutüüp ja aku laadimise strateegia.

Juhita tõstukite eriliikide tehniline kirjeldus on välja toodud tabelis 1. Tabelis on näidatud seadmete maksimaalne sõidukiirus, tõstekõrgus ning kandevõime. Olenevalt tõstuki tüübist on need parameetrid erinevad.

Tabel 1. Toyota juhita tõstukite eriliikide tehnilised spetsifikatsioonid [12]

Tõstuki tüüp	Maksimaalne sõidukiirus, km/t	Tõstekõrgus, mm	Kandevõime, kg
LGV alusesiirdaja	8	207,5	2500
LGV vastukaaltõstuk	8	kuni 4150	1200
LGV kitsavahe tõstuk	12	kuni 10000	1500
LGV virnastaja	8	Kuni 4700	1600
LGV lükandmasti virnastaja	8	Kuni 10000	2500

LGV tõstukid saavad liigutada mitmesuguseid materjale, sealhulgas kaubaaluseid, rulle, kärkeid ja konteinereid, lisaks saavad teostada transportimiseks palju erinevaid operatsioone.

Juhita tõstukeid kasutatakse peamiselt kohtades, kus on vaja sooritada töökohti teenindades rutiinseid, kindlate liikumistrajektoridega tööoperatsioone. Kui kaubaaluseid on vaja vedada pidevalt ühest lao piirkonnast teise, sobib selleks kõige paremini ilma juhita tõstuk. Juhita tõstukid sobivad hästi täisaluste teisaldamiseks vastuvõtualalt hoiukohtadele ja kauba väljastamisel hoiukohalt väljastusalale. Samuti sobivad automaattõstukid kauba toimetamiseks tootmisliinilt lattu ja ühelt konveierliinilt teisele [4].

Mitmed tootmis- ja logistikafirmad nii Euroopas kui USA-s kasutavad automaattõstukeid edukalt juba kümmekond aastat laadimaks haagistele karastusjookidega kaubaaluseid. LGV tuvastab kaubaaluse, tõstab selle põrandalt ja liigub kasutades virtuaalset laserit kindlaksmääratud haagise juurde. Raadiovõrgu kaudu antakse tõstuki arvutile teada, millisele kohale on vaja alus poolhaagises paigutada. Tõstuk jätkab teed poolhaagisesse, asetab kaubaaluse jookidega ettenähtud kohale ning väljub poolhaagisest uut töökorraldust täitma. Ajal, mil AGV-d teevad kvaliteetselt kogu rutiinse töö, on töötajate ülesanne neid jälgida ja vajadusel kõrvaldada tõrked tõstukite töös [4].

1.4. Rahvusvaheline praktika

LGV-süsteemide kasutamine on viimastel aastatel dramaatiliselt kasvanud. Seda seetõttu, et LGV-süsteemid suurendavad materjali käsitleuse efektiivsust ja seeläbi suurendavad tootlikkust. LGV-süsteemide eeliste hulgas tuleb märkida [18].

- Ööpäevaringse lao-, tehase või logistika ettevõtte töötamise võimalus.

Kuna LGV tõstuk ei vaja juhtide poolset opereerimist, saavad masinad töötada iga päev ja isegi öösel. Ainult kahe operatsiooni vahel on vaja planeerida aku laadimise aeg.

- Tööprotsesside ja töötajate ohutus.

Seoses sellega, et juhita tõstuk järgib programmeeritud marsruuti, jälgitakse masina liikumist protsessi algusest lõpuni. See võimaldab kontrollida tarneid ja jälgida kaupade liikumist reaajas. Juhita tõstukid on varustatud ohutusseadmetega, mis takistavad kokkupõrkeid marsruudil olevate mistahes objektidega. Teatud mudelite materjali käsitleuse täpsus on umbes 10 mm, mis võimaldab koormat võimalikult täpselt paigutada ja seeläbi ennetada võimalikud kahjustused, mis sageli esinevad käsitsi kaupade liigutamisel.

- Operaatorite töötingimuste parendamine.

Juhita tõstukid lihtsustavad töötajate jaoks raskete koormuste teisaldamise protseduure ehk asendavad teatud operatsioonides inimtööjõudu täielikult, seega töötajaid saab suunata tõhusamate ülesannete täitmiseks. LGV masinad võivad töötada ka piirkondades, kuhu inimesed ei pääse, näiteks äärmuslike temperatuuride või ohtlike materjalide tõttu.

- Tootmiskulude vähendamine.

LGV-süsteemid võimaldavad tõhusat, ohutut ja kiiremat kaupade transporti ning vähendab tööjõukulusid. Kõik see võimaldab tootmise tootlikkust suurendada.

- Osalise automatiseerimise võimalus.

Vajaduse korral võib kasutada mitte kogu LGV-süsteemi, vaid üksiku seadet ehk juhita tõstukit ning automatiseerida saab ainult teatud lüli või töökeskkonna ala.

Paraku LGV-süsteemidel on ka oma puudused, millega peab ettevõtte arvestama, tehnoloogia kasutuselevõtu projekti algstaadiumis [18]:

- Juhita tõstukid ei sobi töötamise välistingimustes.
- Süsteem tegeleb ainult korduvate ülesannetega ehk ei saa operaatorina tootmisvajaduse korral ülesandeid muuta, LGV piirdub ainult juba määratud ülesandega.
- Süsteemi kõrge hind. Esialgne investeering LGV-süsteemi on palju suurem kui töötaja palkamine ja käsitõstuki ostmine. Mida rohkem tunde LGV päevas töötab, seda kiiremini tasub see end ära. Ettevõtetele, mis töötavad graafikuga 8/5 ja 24/7 on maksumus praktiliselt ühesugune, ainult tasuvus on kordades erinev.

- Süsteemi piiratud paindlikkus. Erinevalt mehitatud tõstukite lahendusest ei ole LGV-süsteem võimeline paindlikult reageerida välistest teguritest põhjustatud muutustele, muuta oma ülesandeid ja trajektoori.
- Ettevõtte töökeskkonnale esitatavad nõuded. Enne LGV-süsteemi soetamisse investeerimist peab kaardistama kas töökeskkonda soodustab LGV-d või mitte. Süsteemi laitmatuks toimimise eelduseks on ühtlane põrand/pind, sooned ja praod tekitavad süsteemi töös häireid.
- Tööruumides peab olema kvaliteetne wifi leviala.

Seoses sellega, et tootmise-, laonduse ja logistika valdkonna automatiseerimise tehnoloogiad ja süsteemide näol on tegemist üsna kalli investeeringuga, on automatiseerimise rakendamine õigustatud põhiliselt suure töökoormusega, suurtes laonduse või sisemise transpordi projektides. Vaatamata sellele, et autonoomselt toimivate seadmete ja iseliikuvate masinate tootmismahud maailmas suurenevad ja seetõttu langeb nende maksumus, suuremahuliste protsesside automatiseerimise otsuse langetamisel peab lähtuma paljudest teguritest ning enne automatiseerimise projektiga alustamist on kasulik tutvuda maailmas või teistes ettevõtetes toimivate lahendustega.

Logistiliste toimingute automatiseerimise kõige levinumate viiside hulgas paistavad silma automatiseeritud juhitud sõidukid (AGV). AGV-de maailmaturu väärtus oli aastal 2018. aastal 3,89 miljardit USA dollarit ja see peaks hinnanguliselt jõudma 2024. aastaks 10 miljardi dollarini, nagu märgitakse automatiseeritud juhitud sõidukite turuaruandes [19]. Lisaks tootmise- ja laonduse valdkonnale leiavad AGV'd rakendust ka lennujaamades pagasiveo puhul, puuetega inimeste abistamisel, toidu, vee ja ravimite tarnimisel, pommide ja miinide kaardistamisel paljude muude toimingute optimeerimisel [7].

Paljud ettevõtted vajavad tootmisliinidel paindlikkust ning tõhusat ja mõõdetavat viisi osade ja komponentide tarnimiseks. Kui varem investeerisid paljud ettevõtted konveierisüsteemidesse, siis tänapäeval on levinumaks lahenduseks automaatjuhitavad masinad [12]. Kuna peamised tootmisfunktsioonid on automatiseeritud, rakendatakse tehnoloogiat laonduse ja logistika valdkonna paljude protsesside tõhustamiseks. Automaatjuhitavad tõstukid on selle trendi suurepärase näide ja paljude väikeste ja keskmise suurusega tootjate jaoks märkimisväärne võimalus oma tegevuse tõhustamiseks [20].

Järgnevalt esitab autor näited juhita tõstukite tehnoloogia rakendamisest Euroopa ettevõtetes. Põhja-Itaalia toiduettevõtte, mis tegeleb külmutatud pitsade tootmisega ning müüb oma toodangut 55 riigis, võttis kasutusele AGV tõstukeid pitsade täitmiseks

mõeldud toorainete transportimiseks köögist, kus need koostisosad on valmistatud, tootmisliinidele, kus pitsad täidetakse. Enne oli antud tootmisprotsessi etapp manulaane ehk toorainet toimetati tootmisliinidele tööjõu poolt. Inimtööjõu kasutamise peamiseks kitsaskohtadeks oli ajas venitatud protsess, väike tootmiskaht ning suured tööjõukulud – korruga oli vaja kahte või kolme töötajat vahetuses. Antud tootmisetapi automatiseerimiseks töötajad olid asendatud AGV tõiastukiga. Automatiseerimine tõi kaasa järgmised eelised [21]:

- tööjõukulude kokkuhoid,
- tööohutuse parendamine,
- tootmistsükli arvu ja transpordi operatsioonide sageduse kasv.

AGV-de ostmise tõi kaasa algse investeeringu 248000 eurot, mis hõlmab ostu, paigaldust, aksessuaare ja töötajate koolitust. Kahe kasutuses oleva sõiduki aastakulud (elekter ja hooldus) on hinnanguliselt umbes 15000 eurot. Sellest hoolimata võimaldaks automatiseeritud lahendus aastas säästa 128270 eurot, mis tuleneb vähenenud tööjõukuludest. Kulude ja tulude vahetust, mis saadakse kuludest lahutades aastast säästu, on seetõttu positiivne kogu esimese kuni teise aasta jooksul. Rakendades 2% intressimäära, on investeeringu puhaskasulikkus kolme aasta pärast on umbes 78600 eurot; tasuvusaeg on ligikaudu kaks aastat ja kaks kuud, kinnitades investeeringu absoluutset eelist [21].

Tunnustatud elektrimootorite tootja tehas Tšehhis võttis kasutusele AGV tõiastukeid mootorite koostetehhi operatsioonide automatiseerimiseks kaks aastat tagasi [12]. Juhita tõiastukid toimetavad koosteliinile elektrimootorite komponente ning peale koostamist – pakkimisliinile. Ettevõtte investeeris automatiseerimisprojekti 120000 eurot ning selle eeldatav tasuvusaeg on kolm aastat. Automatiseerimisega kaasnevad eelised [12].

- Personali töötasu kokkuhoid – suurenenud tootmiskahtude korral jäi mootorite komplekteerimise meeskonna koosseis samaks ehk lisatööjõu värbamise vajadust ei tekkinud.
- Tootlikkuse suurenemine – enne AGV tehnoloogia juurutamist tarnisid tootmisjaama operaatorid komponente ise käsikahveltõistukite abil, nüüd saavad töötajad keskenduda tootmisele ning mittetootlik tegevus on teostatav masinatega.
- Tõistukite opereerimiskulude madaldumine - energiasääst või teeninduskulud on antud projektis siiski teisejärgulised.
- Võimalus üleminna kolmes vahetuses töögraafikule, mis omakorda tõiastab tootmiskahtu.

Euroopa juhtiv logistika teenusepakkuja võttis kasutusele automaatselt juhitavaid tõiastukeid laadimise protsessi töövoos optimeerimiseks [12]. Töövoos tipphetkedel võivad

töötajad kogeda stressi, mille tõttu tekib kaubale kahju tekitamise risk. Töötajate ülekoormuse vältimine aitab säilitada produktiivsust olemasoleva meeskonnaga ilma vajaduseta palgata renditöötajad, kes põhjustavad laadumisprotsessi aeglustamist ja koolituskulude tekkimist [12].

Kasutusele võetud AGV tõstukid on varustatud turvaskanneriga, mis tuvastab eesolevad objektid ning ohutult peatab masina. Kõiki AGV-sid saab vajadusel ka käsitsi juhtida. Juhita tõstukid on varustatud 1400 mm pikkade kahvlitega ülegabariidiliste kaupade jaoks ja tugevdatud kahvliotstega tihedaks virnastamiseks. Automaatsed juhitavad tõstukid sõidavad vastupidises suunas, mis on turvalisem, kuna koorem ei saa kukkuda masina tagant, kuid on ka produktiivsem, kuna tõstuk suudab sel viisil suurendada liikumise kiirust [12].

Juhita tõstukite kasutuselevõtt suurendas ettevõtte tootlikkust, uuendatud seadmete park hakkas töötama kuni 400 kaubaalust vahetuses, võrreldes inimese poolt 250 töödeldava kaubaalusega ühe vahetuse jooksul. AGV-de juurutamisel ettevõtte logistika protsessidesse tõi kaasa palju eeliseid. Operaatorid kogevad vähem stressi, töövoog jäi ühtlasemaks, kauba kahjustamise osakaal langes [12].

Kolme ettevõtte näitel kirjeldatud juhita tõstukite tehnoloogia kasutuselevõtu eelised on sarnased olenemata ettevõtte tegevusvaldkonnast: toidutootja, logistika operaator ning elektrimootori tehas olid silmitsi ühesuguste kitsaskohtadega ning automatiseeride oma tööprotsesse juhita tõstukite juurutamise näol, toovad välja ka ühiseid eeliseid: tööjõukulude vähenemine, kauba kahjustamise osakaalu langus, tootlikkuse ja tõhususe kasv.

Automaatjuhitavate tõstukite kasutamine leidis kõige enim rakendust tootmises ja tööstuse valdkonnas ning logistika ja laonduse teenuseid pakutavates ettevõtetes. Kaasaegsed laod ja logistika terminalid on tööstuse ja kaubanduse oluliseks lüliks. Tööstusega seotud laondus on suhteliselt kitsalt orienteeritud ning seda iseloomustavad erilised tegurid, mis on seotud kasutatava tooraine, materjalide, komponentide ning valmistoodangu eripäradega. Tegevusvaldkonna ja/või kasutamiststarbe järgi jaotatakse ladusid tootmisettevõtete ja hulgi kaubanduse ladudeks [4].

Erinevate valdkondade tootmistehased suurendavad oma tootlikkust võttes kasutusele automatjuhitavaid tõstukeid (AGV). Mehitatud seadmete kasutamisel peavad töötajad leidma määratud üksuse, mis toimetab vajalikke tööriistaid ja materjale konveierite kõrvale/laoriulite vahele. Selle tagajärjel kulub kaupade ja toodete liigutamiseks palju aega, enne kui mistahes tööd saab alustada. Uus tootmise meetod, mis eeldab teatud algoritmide baasil automatiseeritud tehnika rakendamist, jagab kogu tootmisprotsessi

paljudeks eraldatud toiminguteks ja iga toiming määratletakse ette juhtsüsteemis. Seejärel jäävad töötajad kindlatesse töökohtadesse, samal ajal kui AGV-d liigutavad toorainet, pooltoodangut või valmistoodangut ümber tehase [22].

Tootmisettevõtte logistikasüsteem jaotatakse funktsionaalselt kolmeks valdkonnaks – hankelogistika, tootmisprotsesse kindlustav logistika, ehk tootmislogistika ja jaotuslogistika. Laost algavad ja laoga lõpevad kõik logistika funktsionaalsed valdkonnad. Laod võimaldavad tagada tootmisettevõttel katkematut tootmist. Võrreldes kaubandusettevõtetega, mis kasutavad reeglina suhteliselt universaalseid valmistoodete ladusid, on tootmisettevõtetel vaja materjali- ja tooraineladusid, pooltoodete ladusid, valmistoodangu ladusid, tööriistade, varuosade, abimaterjalide ladusid jms. Suurtes tootmisettevõtetes võib olla mitmeid ladusid, väikesed võivad saada hakkama kahega või isegi üheainsaga [4].

Logistikaettevõtte ladu (ingl.k *logistics company warehouse*) on logistikateenuste osutaja avalik või lepinguline ladu või nende kombinatsioon, mille puhul müüjale (kliendile) kuuluvad tooted on ladustatud logistikafirma ehk kolmanda osapoole teenusepakkuja ruumides. Müüja tagab kaupade olemasolu ja müügi, teenuse tarnija aga kaupade nõuetekohase ladustamise ja käitlemise [4].

Laonduse ja logistikaga seotud tegevused on erinevate valdkondade ettevõtetes sarnased, peamised erinevused seisnevad selles, mis toodangu/kaubaga eripärasustega on tegemist ning kust tuleb (tootmisliin või veok) toodang või kaup. Kauba hoiukohale paigutamine (ingl. k. *put away*) on laotoiming, mille käigus viiakse lao vastuvõtualalt vastuvõtukontrolli läbinud kaup või tootmisest tulnud toodang kaubaalusel või muus pakendis lao hoiukohale. Kui hoiuühikud asetatakse püsivatele hoiukohtadele laoriilitel (kaubaaluse- või peenkaubariilid), räägitakse riuldamisest (ingl. k. *racking*) [4].

Laotoiming (ingl. k *warehouse operation*) on eesmärgistatud tegevus või osategevus, mis on osa laoprotsessist ning on seotud kaupade mahalaadimise, vastuvõtmise, hoiukohtadele paigutamise, komplekteerimise, pakendamise, väljastamise ning muude laotegevustega. Selleks, et laotööd oleks võimalik planeerida ja juhtida, jaotatakse ladudes tehtav töö üksikuteks töötoiminguteks ehk laooperatsioonideks. [4] Laotöö põhitoimingud on järgmised [4]:

- kauba mahalaadimine;
- hoiuühikute koostamine (vajadusel);
- kauba vastuvõtukontroll;
- hoiukohtadele paigutamine;
- laosisene teisaldamine (vajadusel);
- komplekteerimine väljastamiseks;

- konsolideerimine (vajadusel);
- pakendamine (vajadusel);
- lähetamine/väljastamine;
- inventeerimine;
- lisaväärtustoimingud (vajadusel);
- töö infosüsteemis.

Suur osa jaemüügiladusid kasutab endiselt käsitsi tellimuste komplekteerimise süsteeme. Jaekauplused esitavad jaotuskeskuses tavaliselt suuri täiendustellimusi. Seejärel saadab ladu tellimused mitmel kaubaalustel. Seetõttu nõuab üks tellimus mitmeid valimisreise (väljasõite valimiskohtade ja depoo vahel). Hiljuti on välja töötatud AGV-põhised valikusüsteemid, mida nimetatakse Pick Support AGV'deks (PS-AGV), et minimeerida sõitude aega suurte tellimuste täitmisel. Kirjeldatavas süsteemis jälgib AGV valijat automaatselt ja transpordib materjali, nii et komplekteerija saab allalaaditud esemed maha anda. Kui kaubaalus või kast on täis, vahetatakse AGV automaatselt uue tühja alust kandva AGV-ga.

Masin saab jätkata komplekteerimistee naasmata depoosse ja AGV transpordib kogu koorma automaatselt depoosse. Korporatsioon Swisslog'i poolt välja töötatud AGVPick™ ja Kollmorgen'i väljatöötatud Pick-n-Go™ on kaks sellise süsteemi näidet. Locus Robotics arendas selle süsteemi veel ühe variandi. Valija jälgimise asemel suundub AGV (nimega LocusBots™) automaatselt valimiskohta ja ootab komplekteerija saabumist. Kui komplekteerija paneb toote AGV kantavasse kliendikotti, läheb AGV järgmise asukohta. Kui tellimus on lõpule viidud, sõidab AGV ootealasse. Mõni süsteem automatiseerib kogu materjali käsitlemise protsessi. Näitena võib tuua TORU™'i, mille näol on tegemist komplekteerimisrobotiga. Antud lahenduse puhul läheb AGV automaatselt komplekteerimise kohta ja võtab eseme kätte ilma komplekteerija abita. Sarnaselt eelmistele variantidele transpordib AGV pärast tellimuse valmimist komplekteeritud esemed järgmisesse punkti. Süsteemi eelised [5]:

- mitteproduktiivsete protsessi etappide elimineerimine;
- ohutum ja kauba kahjustamise välistav materjali käsitlemine;
- produktiivsuse kasv 60-100%;
- energiasäästlik.

Oma iseloomult sarnaneb automatiseerimine protsesside optimeerimise ehk parendamisega, kus kõigepealt kaardistatakse olemasolev olukord ning seejärel - soovitud olukord, mida saavutatakse teatud teguri rakendamisega tulevikus. Logistikas ja tootmisvaldkonnas on automatiseerimine kõige rohkem seotud inimtööjõu masinatega asendamisega ning seeläbi kulude kokkuhoiu- ja töö operatsioonide kvaliteedi ja tõhususe suurendamisega. Oluline on enne automatiseerimist protsessid

põhjalikult läbi analüüsida ning tuvastada, mis eeliseid ja puudusi võib protsesside automatiseerimine kaasa tuua.

Tuginedes eelpool toodud teoreetilistele alustele ja juhita töstukite kasutamise rahvusvahelisele kogemusele ja parimatele praktikatele käsitleb autor edaspidistes lõputöö osades juhita töstukite kasutuselevõtu võimalused ja takistatavad tegurid Eesti äriorganisatsioonides. Uurimisküsimuste lahendamiseks rakendab autor kvalitatiivset uurimisstrateegiat tuvastamaks logistiliste toimingute automatiseerimise segavaid faktoreid Eesti tööstus- ja logistikaettevõtetes. Andmeteabe saamiseks kasutab autor intervjuud Eesti suurimate tööstus- ja logistikaettevõtete juhatajatega ning rakendab puidutööstus- ja logistikaettevõtte protsesside vaatlust selgitamaks, mis toiminguid võib automatiseerida läbi juhita töstukite kasutuselevõtu.

2. METOODIKA

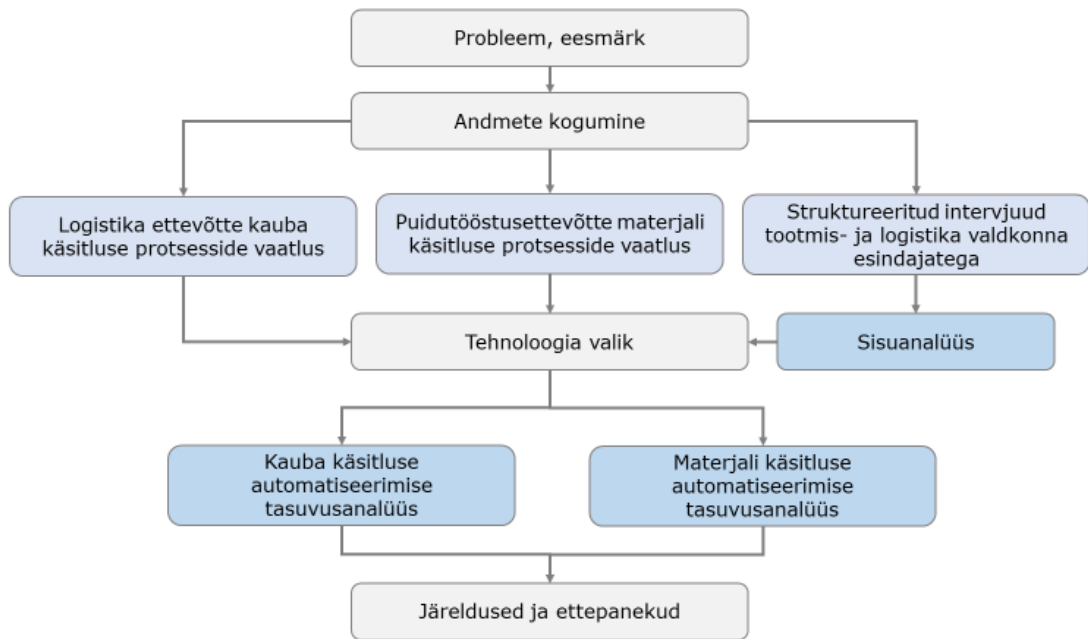
2.1. Uurimisstrateegia

Lõputöö uurimisprobleemiks on automaatjuhitavate tõstukite vähene kasutamine Eesti ettevõtetes ning eesmärgiks on kaardistada edutegurid, mis julgustavad Eesti logistika ja tööstusettevõtteid juurutada automaatjuhitavate tõstukite tehnoloogiad materjali käsitlemise protsesside tõhustamiseks. Eesmärgi saavutamiseks püstitab autor järgmised uurimisküsimused:

- Milline on Eesti tootmis- ja logistika ettevõtete teadlikkus automaatjuhitavate tõstukite tehnoloogiast?
- Mis on juhita tõstukite aktsepteeritav tasuvusaeg Eesti ettevõtetele?
- Mis on Eesti ettevõtete avatuse tase tootmise ja tootlikkuse parandamiseks läbi innovaatilisi tehnoloogiate?
- Missugune on Eesti ettevõtete töökeskkonna valmidus AGV tehnoloogia kasutamiseks?
- Milline võiks olla logistika ja tööstusettevõtte tööprotsesside tõhustamiseks sobiv automaatjuhitavate tõstukite tehniline lahendus?
- Missugune on automaatjuhitavate tõstukite tehnoloogia kasutuselevõtu tasuvusaeg?

Uurimisküsimuste lahendamiseks rakendatakse kvalitatiivset uurimisstrateegiat, mille raames kasutatakse andmekogumismeetoditena struktureeritud intervjuud ja vaatlust. Uurimuse objektidena käsitletakse Eesti puidutööstusettevõtet ja logistika teenuseid pakkuvat ettevõtet. Uurimisstrateegia algoritm on kujundatud allpool toodud joonisel 10.

Intervjuude vahendusel hangib autor üldisemat teavet Eesti ettevõtete automatiseerimise kohta ehk selgitab välja Eesti tööstus- ja logistikaettevõtete esindajate teadlikkust automaatjuhitavatest tõstukitest, äriorganisatsioonide poolt eesmärgistatud tasuvusaega AGV tehnoloogiasse investeerimisel ning valmidust innovatiivsete tehnoloogiliste juurutamiseks. Intervjuude tulemuste töötlemiseks kasutab autor sisuanalüüsi: liigendab ja tüpeerib intervjuueeritavate vastused, toob välja sarnased kogemused ja nähtused, üldistab ja kirjeldab erinevused.



Joonis 10. Kvalitatiivne uurimisstrateegia (autori koostatud joonis)

Ettevõtete loomulikku töökeskkonna ja tegelikku olukorra tuvastamiseks rakendab autor vaatlust, mille puhul kaardistab uuritavate puidutööstus- ja logistikaettevõtete materjali teisaldamisega seotud logistilisi toiminguid, mis teostatakse mehitatud tõstukite kasutamisel. Toetudes ettevõtete poolt seatud eesmärkidele ja vajadustele ning materjali transportimisega seotud protsessi vaatlustulemustele kavandab autor tasuvusanalüüsi. Tasuvusanalüüs teostatakse iga uuritava ettevõtte toodangu/kauba käsitluse protsessi lõigu automatiseerimise kohta ning selle raames arvutab autor uuritavate ettevõtete jaoks välja, kas ja mis perioodi jooksul tasub AGV tehnoloogia kasutuselevõtt ennast ära.

Eelpool välja toodud kvalitatiivne uurimisstrateegia on valitud seoses vajadusega mõista logistiliste operatsioonide toimimise reaalseid asjaolusid, viia need kokku ettevõtete tööprotsesside automatiseerimise vajaduste ja võimalustega, esitada uuritavatele ettevõtetele teatud tööprotsessi lõigu automatiseerimisega seotud tasuvusanalüüsid ning võimalusel avastada uuritava valdkonna uusi aspekte.

2.2. Intervjuud

Intervjuu on vestluse vorm andmete kogumiseks uurimisprobleemi lahendamise eesmärgiga [23]. Intervjuul on teatud eesmärk ning sellega üritatakse saada võimalikult usaldusväärset infot uurimisküsimustele vastuste näol. Intervjuu käigus esitatakse uurija poolt küsimusi ja küsitletav annab oma vastused [24].

Infokogumisintervjuud on kahte tüüpi: praktilised (kogutakse infot mingi praktilise probleemi lahendamiseks) ja uurimuslikud (infot hangitakse süstemaatiliselt). Uurimuslikku intervjuud peetakse teaduslikuks meetodiks ning sellele on iseloomulikud järgmised tunnused [25]:

- intervjuu läbiviimise kohta on koostatud plaan ning küsitleja on eelnevalt tutvunud uurimisobjektiga nii praktiliselt, kui ka teoreetiliselt;
- intervjuud alustab ja juhib küsitleja;
- intervjueril tuleb reeglina küsitletavat motiveerida ja kutsuda esile huvi vestluse kohta;
- Intervjuerija tunneb oma rolli, aga küsitletav õpib selle selgeks intervjuu käigus;
- Intervjuerija tagab küsitleja käest saadud informatsioonile konfidentsiaalsust.

Lisaks liigitatakse intervjuud struktuuri alusel ehk eristatakse: struktureeritud, poolstruktureeritud ja struktureerimata intervjuud.

Struktureeritud intervjuu puhul kasutatakse abivahendina ankeeti küsimuste ettemääratud järjekorraga ning valikvastuste võimalusega. Poolstruktureeritud intervjuud ehk teemaintervjuude puhul esitatakse küsimused vabalt valitud järjekorras ning struktureerimata intervjuu, mille puhul esitatakse küsimused vestlusvormis ning intervjuu teema võib vestluse käigus muutuda [25].

Valitud uurimisstrateegia raames läbiviidud intervjuude eesmärgiks oli selgitada välja Eesti logistika- ja tööstusettevõtete juhtide teadlikkust juhita tõstukite tehnilistest lahendustest, kauba käitlemise protsessidega seotud kitsaskohtadest ning kaardistada ettevõtete vajadused automatiseerimise valdkonnas. Enne intervjuudega alustamist korraldas autor seotud osapoolte jaoks koolituse, mille raames selgitas automatjuhitavate tõstukite tööpõhimõtteid, tõi välja nende kasutamise eelised ja puudused nii protsesside toimimise, kui ka kuluefektiivsuse valguses ning esitas muid logistika ja laonduse valdkonna automatiseerimise tehnoloogiad. Koolitus kestis 60 minutit ning lõppes vabas vormis arutelu ja parimate praktikate välja toomisega.

Uurimuse käigus viidi läbi kuus uurimuslikku struktureeritud intervjuud: kolm intervjuud olid tehtud tööstusettevõtete juhatajatega ning kolm - logistika valdkonna esindajatega. Intervjuu küsimused olid eelnevalt läbimõeldud ning küsimuste esitamise järjekord kindlaks määratud. Seoses sellega, et töö kirjutamise ajal on Eestis levimas koronaviirus SARS-CoV-2, intervjuud olid korraldatud telefoni teel ja Microsoft Teams keskkonnas. Intervjuu küsimused olid eelnevalt saadetud intervjueritavatele tutvumiseks e-kirja teel.

Intervjueeritavad olid valitud autori poolt eesmärgist lähtuva valimina, mis tähendab seda, et autor toetas oma eriteadmistele ja töökogemusele ning võttis valimisse uuritavad ettekatsetult kindlate kriteeriumide alusel. Lisainfo valimisse kuulunud esindajate kohta on esitatud tabelis 2.

Tabel 2. Intervjuus osalenute iseloomustus

Nr.	Ettevõtte esindaja	Vastutusala
1.	Rahvusvahelise ettevõtte logistika terminali logistikajuht	Kauba vastuvõtt ja välja saatmine, liikumine laos, ladustamine ja hoiustamine, transporttöölise meeskonna juhtimine
2.	Suure kaubaveo ettevõtte tehnikajuht	Tõstukite pargi ja laoseadmete korrashoid, tehnikute meeskonna juhtimine
3.	Külmutatud toitu valmistava ettevõtte laojuh	Tooraine ja valmistoodangu käsitlemine, ladustamine, hoiustamine, laotöötajate meeskonna koordineerimine
4.	Logistika ettevõtte logistikajuht	Kauba vastuvõtt ja välja saatmine, liikumine laos, ladustamine ja hoiustamine, transporttöölise, laotöölise juhtimine, laosüsteemi ja lao korrashoid
5.	Puidutööstusega tegeleva ettevõtte logistika osakonna juhataja	Tooraine tellimine ja vastuvõtmine, tootmisse teisaldamine, pool- ja valmistoodangu transportimine tootmisliinide vahel, ladustamine, hoikohale paigutamine, lao ja tõstukite pargi korrashoid
6.	Metallitööstuse tehase tehnikajuht	Konveierite ja tootmisliinide, tõstukite parki ja abistavate seadmete korrashoid, transporttöölise meeskonna koordineerimine

Korraldatud intervjuu koosnes kümnest avatud küsimusest, mis puudutasid ettevõttes töötavate tõstuki juhtide volavust, nende töötasusid ja saadavust tööturult. Ühtlasi uuris autor ettevõtete tööprotsesside automatiseerimise plaanide, automatiseerimise projektide eeldatava tasuvusaja ning kauba kahjustamisega seotud juhtumite esinemissageduse ja kulude kohta. Intervjuu küsimused on esitatud tabelis 3.

Igale intervjuule kulub keskmiselt 40-50 minutit ning vestlused olid korraldatud telefoni teel või digitaalses kekskkonnas silmast silma ehk autor tagas seda, et kolmandad isikud ei sekkuks vestlusesse, autor ei sõnastanud/soovitanud intervjueeritavatele võimalikke vastuseid, ei muutnud küsimuste sõnastust – vajadusel ainult andis täpsustavaid selgitusi. Vastused olid registreeritud intervjueerija poolt iga intervjuu käigus kirjalikult ning hiljem olid kantud üle Excel'i tabelisse edaspidiseks andmetöötuseks.

Tabel 3. Tootmise ja logistika valdkonna automatiseerimisega seotud intervjuu küsimused

Nr	Küsimus
1	Missugused logistilised protsessid Teie töökeskkonnas võivad olla automatiseeritud?
2	Mis on tõstukijuhi keskmine tööstaaž Teie ettevõttes?
3	Kui kiiresti leiab tööturul vastava kvalifikatsiooni- ja oskustega tõstukijuhti?
4	Kui kaua kestab uue tõstukijuhi koolitamise protsess Teie ettevõttes?
5	Mis on tõstukijuhi töötasu keskmine kasv viimase viie aasta jooksul teie ettevõttes?
6	Kas teie tehas/ladu töötab ühes vahetuses kaheksa tundi päevas viis päeva nädalas või ettevõttes on mitu töövahetust?
7	Mida Te teate juhita tõstukite kasutamise eeliste kohta?
8	Mis on Teie ettevõtte eeldatav tasuvusaeg automatiseerimise projekti puhul?
9	Kui sageli esineb Teie ettevõttes toodangule/kaubale kahju tekitamise juhtumeid?
10	Mis on toodangu/kauba kahjustamisega seotud keskmine kulu aastas Teie ettevõttes?

2.3. Vaatlused

Vaatlus on uurimisviis, mis kas iseseisvalt või kombineerituna teiste uurimismeetoditega annab ülevaate uuritavate tegevuste või nähtuste, olukordade ja keskkondade kohta. Vaatlusel põhinevas uurimuses selgitatakse asjaolu olemus välja mitte küsimuste esitamise, vaid selle asjaolu jälgimise vahendusel. Kui intervjuus küsitakse, mida inimesed arvavad teatud nähtuse kohta, siis vaatlus annab ülevaate selle kohta, kuidas asjaolud tegelikult on või kuidas inimesed antud asjaoludes käituvad. Vaatlus võib olla iseseisvaks uurimismeetodiks või seda saab kombineerida teiste andmekogumismeetoditega [26].

Käesoleva lõputöö raames rakendas autor vaatlust uuritavate ettevõtete tööprotsesside ja tõstukijuhtide kauba käsitlemise toimingute kaardistamiseks. Vaatluse ruumideks olid tööstusettevõtte ja logistika terminali laoruumid, tegutsejateks tõstukijuhid, laotöötajad, tootmisjuhid ja logistikajuhid, objektiks – laotõstukid ja nende teisaldatavad kaubaalused ja toodang, vaadeldavaks tegevuseks – kauba/toodangu transportimine. Seoses sellega, et vaatlus toimus konkreetsetes töökeskkonnas, siis tegemist oli süstemaatilise vaatlusega, mis viiakse läbi määratletud tingimustes (antud juhul tingimusteks olid ettevõtete tööruumid ning vaatlus toimus kaubakäitlemise töö teostamise ajal) [25]. Läbiviidud vaatluse iseloomustus on välja toodud tabelis 4.

Tabel 4. Autori korraldatud vaatluse iseloomustus [25]

	Tööstusettevõte	Logistikaettevõte
Ruum	Laoruum, tootmistsehh	Laoruum
Tegutsejad	Tõstukijuhid, vahetusevanemad, laojuhatajad, tootmise töölised, tootmisjuht	Tõstukijuhid, laojuhataja, laotöötajad, logistika juht
Tegevus	Toodangu teisaldamine tootmistsehhis (tootmisliinilt komplekteerimisliinidele) ja puhverlaos (toodangu paigutamine hoiukohale)	Kauba käsitus laoruumis (riiuldamine, paigutamine hoiukohale, vastuvõtust sisse toomine)
Objekt	Mehitatud tõstukid, kaubaalused, toodang, tootmisliinid, laoriulid, laoruum	Mehitatud tõstukid, kaubaalused, kaup, laoriulid, laoruum
Akt	Kauba käsitus, laotoiming	
Sündmus	Kauba peale- ja maha laadimine, toimetamine punktist A punkti B	
Eesmärk	Kauba/toodangu käsitluse protsessi kaardistamine	

Arvestades valitud uurimismeetodi ja vaadeldavate objektide eripäradega, valmistus autor vaatluseks põhjalikult ette, mille raames eelnevalt määratles järgmisi aspekte [25]:

- vaatluse nähtus;
- vaatluse sihtrühm;
- vaatluskohad;
- vaatluspäevik;
- ohutuse väljaõpe;
- vaatluse käigus tegi autor märkmeid, jooniseid ja kasutas diktofoni oma tähelepanekute salvestamiseks hilisema andmetöötamise eesmärgiga.

Vaatluse nähtustena käsitleti kauba käitlemise protsessi ja laotoiminguid, sihtrühmaks – uuritavate ettevõtete kauba/toodete transpordiga seotud meeskonna liikmeid. Vaatluskohtadena valis autor kohti töökeskkonnas, kus ta otseselt ei seganud tööprotsessi ning ühtlasi olid kohad ohutud viibimiseks. Autor varus eelnevalt koostatud vaatluspäevikuga, kuhu märkis ära vaatluse kuupäeva, koha (ettevõtte nimi ja tööruum), vaadeldava nähtuse osalejate, masinate ja seadmete kirjelduse ja arvu, visandas tööprotsesside ja tõstukite liikumise skeemid ning pani kirja oma tähelepanekuid ja kommentaare. Lisaks kasutas autor fotoaparaati vaadeldavate sündmuste ja töökeskkondade jäädvustamiseks. Mõlema objekti territooriumil/tööruumides viibimiseks sai autor juhatuse käest luba.

Esimeseks vaadeldavaks objektis osutus Eesti puidutööstusettevõtte tootmistsehh. Antud organisatsiooni näol on tegemist Eesti puidutööstusettevõttega, mis valmistab aiamaaju, laste mänguväljakuid, liimpuittooteid, mööblit, valmiselementidest elumaju ja aiapiirdeid. Ettevõtte tootmispinnaks on 17000 ruutmeetrit ning kogu ettevõtte ala on 80000 ruutmeetrit. 95% toodangust eksporditakse Euroopasse. Ettevõtte 2020. aasta käive on 20 miljonit eurot, töötajate arv – 200. Tootmine töötab 24/5 graafiku alusel.

Uuritav ettevõtte kasutab tootmises kaasaegseid tehnoloogiaid ja seadmeid ning tootmisarengu strateegia on suunatud automatiseerimisele. Autor vaatles ettevõtte poolvalmistoodangu transportimist tootmisliinidelt puhverlattu, kus toodang ootab järgmist tootmistsükli.

Ajaliselt võttis logistiliste toimingute vaatluse protsess viis päeva. Vaatluse tulemusena kaardistas autor poolvalmistoodangu teekonda tootmisliinilt lattu ning toodangu virnastamisega seotud eripärasusi.

Vaatluse teiseks objektiks oli Eesti suure logistikaettevõtte ladu. Uuritav ettevõtte osutab Eestis 3PL ja 4PL laologistika- ja transpordi teenuseid ning saab töödelda/ladustada tooteid, mis nõuavad erinevaid säilitamise temperatuure (-18C; +6C; +22C). Ettevõtte tegutseb laopinnal üle 89000 ruutmeetrit ning on üheks suurimatest logistikaettevõtetest Balti riikides aastase käibega 10 miljonit eurot. Ettevõttes töötab 150 töötajat. Ettevõtte töötab 8 tundi päevas viie päeva jooksul.

Vaatluse toimumispaigaks osutus logistika ettevõtte laoruum temperatuurirežiimiga +20C. Tegemist on eraldatud laosaga pindalaga 9500 ruutmeetrit ning mahutavusega 16000 alusekohta. Vaatlusega kaetud tegevuseks oli kauba paigutamine hoiukohale. Antud protsessi vaatlus võttis ajaliselt kolm päeva ning tulemusena kaardistas autor kauba käsitlese detaile tööloigul kauba vastuvõtust riuldamiseni ettenähtud hoiukohal.

2.4. Tehnoloogia valik

Automaatjuhitavad tõstukid on ökonoomsuse, tehnoloogia, rakenduse ja ohutuse seisukohalt sobiv lahendus järgmiste tegurite olemasolu puhul [16].

- Töö mitmes vahetuses. Automatiseerimise tasuvus seisneb suuresti tööjõukulude vähendamises. Mida rohkem vahetusi, seda kõrgem on automaatjuhitavate tõstukite tehnoloogia kasumlikkus ja seeläbi kiirem investeeringutasuvus.
- Korduvad materjali veod. Korduvad ja sagedased materjalivood tootmise, ladustamise, laadimise eri kohtade vahel.
- Kauba sagedane kahjustamine. Automaatjuhitav tõstuk on ülitäpne, ei pörka kokku, ei kahjusta koormat ega kahjusta muid seadmeid. Masin sõidab energiasäästlikult

ning sellega liigutamiseks sobib suurepäraselt nt. habras, ebastabiilne ja ohtlik kaup, mis nõuab ettevaatlikku käitlemist.

- Ettevõtte kõrged kulude säästmise nõuded. Paljudes ettevõtetes on kulude vähendamise nõuded ja tagasimakseperiood on tavaliselt alla 24 kuu. Automaatjuhitavate tőstukite tehnoloogia annab positiivse tulemuse ja "rahakäivet" alates esimesest tegutsemiskuust.
- Nõutav paindlikkus. AGV tehnoloogia on paindlik ja seda on lihtne muuta, seadistada ja lisada nii teekonna kui ka laadimis- ja mahalaadimiskohtade arvu osas. AGV tőstukit saab juhtida kas iseseisvalt või ühendada olemasoleva laohaldussüsteemiga.
- Just-In-Time printsiibi kriitilisus. Tootlikkuse suurendamiseks peab ka sisetransport saabuma õigel ajal õigesse kohta. Siin on AGV tőstukil võrreldamatu õigeaegne, õiges järjekorras ja õiges kohas toimetamine kohe pärast tellimust.

Selleks, et teha kindlaks, miks automaatjuhitavate tőstukite lahendus sobib konkreetse protsessi automatiseerimiseks, peab kaaluma automatiseeritud juhitavate masinate kasutamise eeliseid ja puudusi ning otsustama, kas need täiendavad või takistavad materjali käsitluse tegevust. Sõltuvalt ettevõtte tegevuse eripärast võib ettevõtte äri vajadusi paremini rahuldada teist tüüpi automatiseerimistehnoloogia või toetudes tasuvusanalüüsile võib jõuda järeldusele, et olemasolev lahendus (mehitatud tőstukite kasutamine) on majanduslikus mõttes mõistlikum.

Sellised tegurid nagu ettevõtte tootmistsükkel, tegevuseesmärgid, käibe või kasumi kasvu sihitud tase ja saadaolev investeerimiskapital mõjutavad organisatsiooni võimet süsteemi juurutada, seega automatiseerimisprojekti algusfaasis on mõistlik pidada nõu lao kujundamise konsultandi või süsteemide integraatoriga, et teha kindlaks, kas AGV-de juurutamine on kasulik nii tööprotsesside, kui ka majanduslike eesmärkide poolest.

Lisaks on automaatjuhitavate tőstukite eluiga oluliselt pikem, kui mehitatud tőstukitel, mis on tingitud sellest, et tarkvara juhitavad masinad on seadistatud optimaalse sõidukiiruse, pöörderaadiuse ja pidurdamise režiimil töötamiseks. Nutikad navigatsiooni süsteemid tagavad tőstukite ohutu liikumist ning tänu sellele välditakse kokkupõrgete tagajärjel tekitavaid vigastusi. Tavalised ehk mehitatud tőstukid on mõeldud töötamiseks 10000 - 12000 mototundi, laserjuhitavate tőstukite eluiga on 25000 - 30000 mototundi [12].

2.5. Investeerimisprojekti hindamine

Automatiseerimine on ettevõtte jaoks finantsiliselt kallis projekt. Enne otsuse langetamist kaalutakse nii töökeskkondlikke, kui ka majanduslikke tegureid.

Investeeringiprojektiga seotud rahakäibe poolest eristatakse: esialgseid kulusid, rahakäibed, mis lisanduvad projekti eluea jooksul ning lõpetava rahakäibe. Käesolevas alapeatükis kirjeldab autor tootmise ja logistika automatiseerimiseks sobivate investeeringiprojektide tasuvuse hindamise meetodeid, milleks on [27]:

- puhas nüüdisväärtus (ingl. k *Net Present Value, NPV*),
- sisemine tasuvusmäär (ingl. k *Internal Rate of Return, IRR*),
- tasuvusaeg (ingl. k *Payback Period, PB*).

Puhas nüüdisväärtuse arvutamine on kõige sobivam kapitali eelarvestamise meetod, mille abil leitakse, kas kavandatav projekt on kasulik või mitte [27]. Leitakse järgmise valemiga (1):

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ACF_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (1)$$

Kus ACF – rahavoogude summa perioodil t ,

k – nõutav tulumäär,

n – projekti oodatav kestus,

I_0 - esialgsed kulud.

Eeldatakse, et rahakäibed tekivad perioodi lõpus. Projekti võib vastu võtta järgnevatel tingimustel [27]:

kui $NPV > 0$, võib projekti vastu võtta,

$NPV < 0$, projekt tuleb tagasi lükata,

$NPV = 0$, projektiga pole mõtet tegeleda, tulu puudub.

Sisemine tasuvusmäär on diskontomäär mis võrdsustab projekti esialgsed kulud tulevaste rahavoogude nüüdisväärtuse summaga. Kriteeriumi rakendamisel eeldatakse, et projektist saadava lisandunud rahakäibed reinvesteeritakse intressiga, mille määr võrdub sisemise tasuvusega, mis on tegelik kasuminorm. Ühtlase rahakäibe puhul on võimalik arvutada keskmine lisandunud rahakäibe või sisemine tasuvus (2):

$$I_0 = \sum_{t=1}^n \frac{ACF_t}{(1+IRR)^t} \quad (2)$$

Kus I_0 - esialgsed kulud,

ACF_t - rahavoogude summa perioodil t ,

IRR – sisemine rentaablus.

Projekti võib vastu võtta tingimustel [28]:

kui $IRR > k$ – võib projekti vastu võtta,

$IRR < k$ – tuleb projekti tagasi lükata.

Tasuvusaeg on ajaperiood, mille jooksul ületab iga aastaste rahakäibete kogusummad esialgse investeeringu kulusid. Ettevõtted määravad endale eeldatava tasuvusaja ning need projektid, mis ei vasta eeldatava tasuvusaja perioodi raamidesse, lükatakse edasi või nendes loobutakse [28].

Eelpool kirjeldatud teoreetilisi aluseid kasutab autor käesoleva lõputöö „Analüüs ja süntees“ peatükis analüüsides puidutööstus ja logistika ettevõtete tehniliste lahenduste sobivust ja automatiseerimisprojekti vastavust ettevõtete poolt eesmärgistatud tasuvusajaga. Arvutused teostatakse programmis Microsoft Excel NPV ja IRR funktsioonide abil ning tulemused võrreldes parimate praktikatega, mis on esitatud lõputöö alapeatükis 1.6.

3. ANALÜÜS JA SÜNTEES

3.1. Intervjuude tulemused

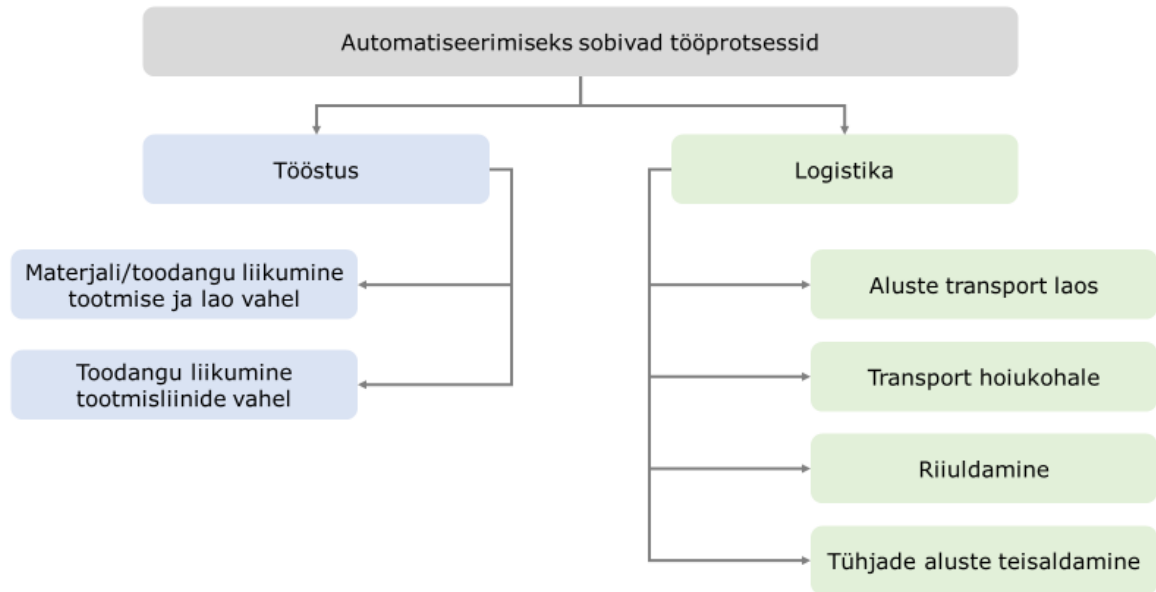
Läbiviidud intervjuude tulemusena sai autor andmeid, mille tõlgendamisel tõi esile iga antud vastuse osas üldiseid tunnusoone ja erinevusi, koondas sarnase tähendusega vastused vastavate kategooriate alla. Igale küsimusele erinevate inimeste poolt antud vastuste sisu tõlgendas autor süstemaatilise liigendamisprotsessi üldiste mustrite kindlakstegemise abil.

Kõigepealt tealdas autor intervjuu tulemused ehk vastused ühele infokandjale (excel'i tabel), seostas kogu intervjuuteksti ning seejärel tõi esile üldiseid sõnu ja kontseptsioone. Erinevalt sõnastatud info ühtlustamiseks kasutas autor kodeerimist (võtmesõna- või lausega asendamist), mille alusel moodustas kategooriad ning seostas need iga esitatud küsimusega. Sõnumite parema ülevaade saamiseks kasutas autor informatsiooni visualiseerimist graafikute ja diagrammide loomise näol.

Kategoriseeritud said ka vastajad: seoses sellega, et intervjuueeritavate hulgas olid tööstus- ja logistika ettevõtete esindajad, siis moodustus kaks kategooriad: tööstuse esindajad (edaspidi tööstusettevõtte) ja logistika esindajad (edaspidi logistika ettevõtte). Nendele kategooriatele toetus autor vastuste üldistamiseks.

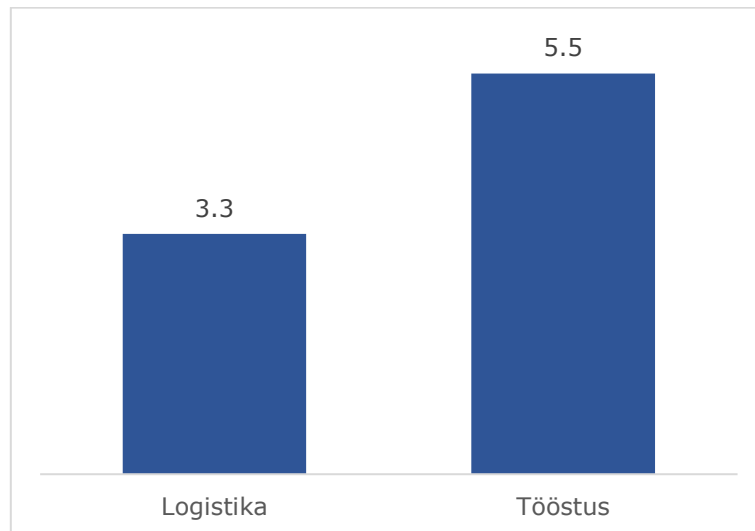
Küsimusele „Missugused logistilised protsessid Teie töökeskkonnas võivad olla automatiseeritud?“ andsid intervjuueeritavad vastused toetudes oma ettevõtte töö spetsiifikale: tööstuse valdkonna esindajad leidsid, et automatiseerimist vajavad sellised operatsioonid nagu materjalide/toodete liikumine laos ja tootmise vahel ning transport tootmisliinide vahel. Logistika valdkonna esindajate arvamusel võiksid olla automatiseeritud: aluste transport laos sees, riuldamine, tühjade aluste liikumine, transport hoiukohale. Vastuste graafiline kujutlus on esindatud joonisel 11.

Intervjuu teine küsimus puudutas töstukijuhi tööstaaži ettevõtetes. Tööstusettevõtete esindajad nimetasid keskmiseks tööstaažiks poolteist, viis ja kümme aastat. Logistika valdkonna esindajate sõnul vahetuvad töstukijuhid nende ettevõtetes kolme - nelja aasta tagant. Nagu selgub allpool olevalt joonis 12, töstuki juhtide tööstaaž on pikem tööstusettevõtetes (5,5 aastat), logistika ettevõtetes töötavad töstukijuhid keskmiselt 3,3 aastat.



Joonis 11. Automatiseerimise potentsiaaliga tööprotsessid

Vastused küsimusele uue tõstukijuhi tööturult leidmise kohta olid intervjueeritavate seas enam vähem samad: sisuliselt leiab tööturult suhteliselt kiiresti ehk umbes ühe kuu jooksul küsimuseks võib olla pakutavas töötasus – sellist tähelepanekut jagasid nii tööstusettevõtete, kui ka logistika valdkonna esindajad.



Joonis 12. Tõstukijuhi keskmine tööstaaž ettevõtetes

Intervjueeritavate vastused küsimusele uue tõstukijuhi koolitamise kestuse kohta olid enam-vähem samad: keskmiselt läheb tõstukijuhti koolitamisele neli kuni kaheksa nädalat, mis on sama nii tööstuses, kui ka logistika valdkonnas.

Viies küsimus oli seotud tõstukijuhi töötasu kasvuga viimase viie aasta jooksul. Vastavalt infole, saadud intervjuude käigus, kasvas tõstukijuhi keskmine töötasu

viimase viie aasta jooksul tööstusettevõtetes kõige rohkem (4% ja 5%), logistika valdkonnas oli töötasu kasv 2-3%.

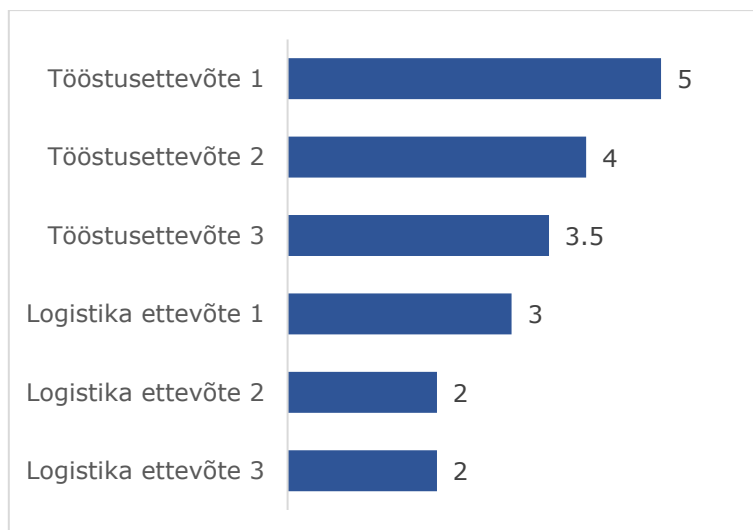
Analüüsidest vastused küsimusele, mis puudutas tööaega, ei õnnestunud autoril teha olulisi üldistusi. Uuritavate ettevõtete töögraafik on erinev: tabelis 5 on välja toodud ettevõtete töövahetused – üldiseid tunnuseid sama valdkonna organisatsioonide vahel ei ole, ühe tööstusettevõtte töö ei peatu ehk toimub ööpäevaringselt seitse päeva nädalas. Üks tööstusettevõtte paistab silma viiepäevase töönädala ja 16-tunnise vahetusega. Samas ettevõtte, mis töötavad seitse päeva nädalas on vähemuses – enamus valimisse sattunud ettevõtteid töötab viis päeva nädalas.

Tabel 5. Uuritavate ettevõtete töögraafikud

Ettevõtte	Töötunnid ööpäevas	Tööpäevad nädalas
Tööstusettevõtte 1	24 h	5
Tööstusettevõtte 2	16 h	5
Tööstusettevõtte 3	24 h	7
Logistika ettevõtte 1	16 h	6
Logistika ettevõtte 2	8 h	5
Logistika ettevõtte 3	16 h	5

Vastused küsimusele juhita töstukite olemuse ja tööpõhimõtete kohta jagunesid niimoodi, et ainult üks intervjueritavatest (puidutööstusega tegeleva ettevõtte logistika osakonna juhataja) oli automaatjuhitavate töstukite tehnoloogiast teadlik, ülejäänud intervjueritavad kas ei teadnud üldse või „on midagi kuulnud“.

Küsimusele „Mis on Teie ettevõtte eeldatav tasuvusaeg automatiseerimise projekti puhul?“ vastati erinevalt, kuid kui kategoriseerida vastused, siis keskmine eeldatav tasuvusaeg logistikaettevõtetes (keskmine 2,3 aastat) on lühem, kui tööstusettevõtetes – 4,2 aastat. Nagu näha joonisel 13, kõige pikem eeldatav tasuvusaeg on viis aastat (tegemist on puidutööstuse valdkonnaga tegeleva ettevõttega), sellel järgneb periood neli aastat ja 3,5 aastat ja mõlemad on seotud tööstusettevõtetega. Logistika ettevõttes eeldavad kahe-kolmeaastast tasuvusaega.



Joonis 13. Ettevõtete eeldatav automatiseerimise tasuvusaeg aastates

Küsimus „Kui sageli esineb Teie ettevõttes toodangule/kaubale kahju tekitamise juhtumeid?“ oli esitatud intervjuueeritavatele eesmärgiga selgitada välja, kas nad on teadlikud kauba/toodangu kahjustamise juhtumitest, mis on toimunud inimeste/tõstuki juhtide tegevuse tagajärjel. Nagu esitab tabel 6, kõige sagedamini (kas igapäevaselt või mitu korda nädalas) kahjustatakse kaupa logistika ettevõtetes, tööstusettevõtetes leiavad sarnased juhtumid aset harvemini – kord kuus või kolm kuni seitse korda aastas.

Tabel 6. Kauba kahjustamise sagedus ettevõtetes

	Kauba/toodangu kahjustamise esinemise sagedus
Tööstusettevõtte 1	iga kuu
Tööstusettevõtte 2	7 korda aastas
Tööstusettevõtte 3	3 korda aastas
Logistika ettevõtte 1	iga päev
Logistika ettevõtte 2	2-3 korda nädalas
Logistika ettevõtte 3	iga päev

Vastavalt vastustele, mida saadi küsimusele „Mis on toodangu/kauba kahjustamisega seotud keskmine kulu aastas Teie ettevõttes?“, kõige suuremaid aasta kulusid toodangu/kauba kahjustamise tõttu kannavad logistika valdkonnas tegutsevad ettevõtted (15000 kuni 25000 eurot aastas). Tööstusettevõtete kaubakahjustamise kulud aastas on kuni 1000 eurot. Keskmised aastakulud on esitatud joonisel 14.



Joonis 14. Kauba kahjustamise keskmine kulu aastas

Intervjuude vahendusel sai autor infoteabe tööstus- ja logistika ettevõtete käest juhtide teadlikkusest automaatjuhitavate töstukite tehnoloogiast, selgitas välja, missugused on eeldatavad automatiseerimise projektide tasuvusaja perioodid ning ettevõtete seisukohti töstukijuhtide voolavuse, uute inimeste tööturult leidmise ja koolitamise kohta. Ühtlasi tuvastas autor ettevõtete töövahetuste kestust ja sai juhtide poolt infot automatiseerimist vajavate protsesside kohta.

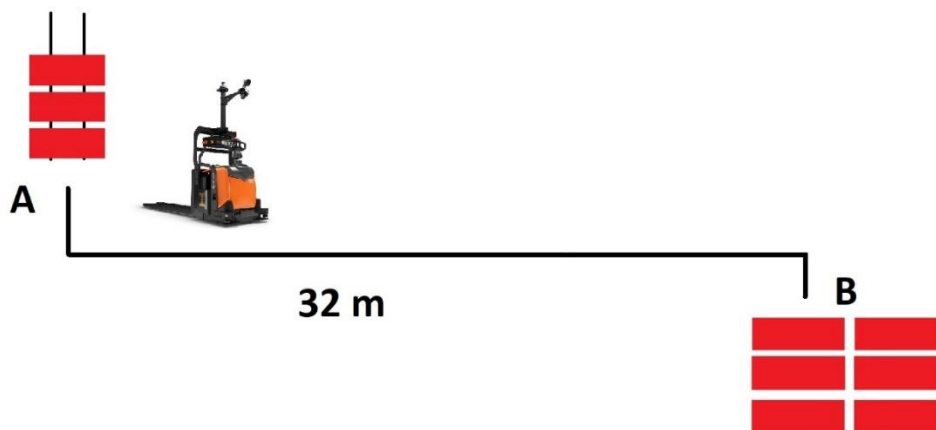
Nagu selgus intervjuudest, automatiseerimise projekti kõige pikemad eeldatavad tasuvusajad on tööstusettevõtetes ning kõige suuremad kulud seoses kaubakahjustamisega on logistika valdkonnas tegutsevatel ettevõtetel.

3.2. Vaatlustulemused

3.2.1. Kaubakäsitus tööstusettevõttes

Käesolevas alapeatükis antakse ülevaate tööstusettevõtte kaubakäsitluse protsessile, mida teostatakse mehitatud töstukite abil. Allpool on välja toodud poolvalmistoodangu liikumine tootmisliinilt puhverlao hoiuruumi.

Poolvalmistoodangu teisaldamise teekond on kujundatud joonisel 15. Toodangu transportimise protsess algab tootmisliini juures, punktis A, milleks on vastuvõtu punkt (*Pick-up point*). Antud punktis toimub toodangu maha laadimine konveierilt kõrguselt 53 cm. Toodangu konveierilt maha laadimiseks kasutatakse mehitatud elektrilist virnastajat. Töstuk toodanguga pardal läbib määratletud teekonda pikkusega 32 meetrit ning jõuab punkti B ehk puhverlattu, kus asub virnastamise punkt (*Block-stacking point*).



Joonis 15. Poolvalmistoodangu teekond tootmisliinilt ja puhverlattu

Tootmistehhis kasutatakse toodangu transportimiseks kaubaaluseid mõõtudega 1300 mm x 1200 mm x 800 mm (kõrgus, pikkus, laius), virnastamine toimub üksteise peale ning moodustatakse kolmekorruselisi

virnasid. Joonis 16 esitab puidutööstusettevõtte puhverlaoriuleid poolvalmistoodangu virnastamiseks. Antud tööloiku teenindab üks tõstuk, vahetuses on üks tõstuki juht, kelle tööülesannete hulka kuulub ka teiste aluste transportimine ja lao korrashoid. Kirjeldatud toodangu teisaldamise protsess kestab ajaliselt 75% tõstukijuhi tööajast päevas.



Joonis 16. Poolvalmistoodangu virnastamine puhverlaos (autori tehtud foto)

Tootmiskiirus on küllaltki kõrge - alused uue poolvalmistoodanguga tulevad konveieri pealt iga viie minuti tagant, aluste liiklusvool on 12 tükki tunnis ehk 288 alust ööpäevas. Tasub nentida, et tõstukijuhi sõnul ka tema tööpäevad on väga pingelised - sageli

tunneb ta lihasvalu sundasendist tõstuki roolis ning juhul, kui alus toodanguga kukub tõstuki kahvlite pealt maha, on ta sunnitud koorma kahvelkäru abil tõstma.

Vaatluse käigus kaardistas autor poolvalmistoodangu transporti ja virnastamise protsessi juures toodangu teisaldamise voo katkestusi, mis olid põhjustatud:

- virnastamise ajal tõstukijuhtide poolt tehtud vigadest;
- toodangu kahjustamisega tootmisliinilt maha laadimise käigus;
- toodanguga tootmistsehhis liikumisel toimunud aluse kukkumise või vigastamisel.

Töövoo katkestused toimusid mainitud põhjuste tõttu kaks korda viie päeva jooksul. Otsest seost inimfaktoriga (ebapiisavad tõstukijuhtide oskused) autor ei täheldanud, kuid uurides vahetult peale toodangu tõstuki kahvlite pealt kukkumist kaardistas kahte vastukaaltõstukit, mille juhitavuse omadused ja kahvlite konstruktsioon kirjeldati töötajate poolt kui ebamugavaid ja sujuva töö takistavaid tegureid.

3.2.2. Tööprotsessid logistikaettevõtte laos

Allpool kirjeldab autor logistika terminalis vaadeldud kauba hoiule paigutamise protsessi. Kolme päeva jooksul kestnud vaatluse käigus kaardistas autor kauba liikumist vastuvõtukontrolli punktist A (ingl. k. *Pick-up point*) punkti B ehk hoiukohale laos (ingl. k. *Block stacking*).

Protsess algab siis, kui alused on veoautodest mahalaaditud ja kauba vastuvõtukontroll on tehtud, aluste peale on kleebitud ribakoodid, mis sisaldavad sisemise informatsiooni hoiustamiskohast. Protsess lõppeb laoruumis kui kaup on mehitatud virnastaja vahendusel paigutatud riulile hoiuruumis. Kauba teekond on esitatud joonisel 17.



Joonis 17. Logistika ettevõtte kauba paigutamine hoiukohale

Nagu autori koostatud skeemi pealt on näha (joonis 17) liigutatakse kaupa vastuvõtupunktist elektrilise lükandmasti virnastaja vahendusel hoiukohta lattu. Laos

asuval riiulil on viis korrust ning riiuli kogu kõrguseks on 9500 mm. Tõstuki poolt läbitav distantis on 110 meetrit. Antud laotoimingute töövooluks on 120 alust ööpäevas. Protsessis osaleb üks virnastaja, mis on juhitud kvalifitseeritud tõstukijuhi poolt. Vahetuses on üks tõstukijuht ning tema tööajast võtab kaubakäsitlus 75%. Muul ajal tegeleb tõstukijuht teiste tööülesannetega – tõstab kaupa lao passiivist, mis on paigutatud riiulite kõrgematel korrustel, lao aktiivi (madalamad riiulid). Lisaks kuulub tema tööülesannete hulka tühjade kaubaaluste hoiukohast vastuvõtupunkti liigutamine.

Kolmepäevase vaatluse käigus kauba kahjustamise osas oli autor ühe juhtumi tunnistajaks, samal ajal töövoos seiskumise juhtumeid ei täheldanud. Vaatluse esimesel päeval oli autor virnastaja veoredukti rike tunnistajaks. Tõstuki remondi ajaks asendas laojuhataja virnastajat elektrilise vastukaaltõstukiga ning pool tööpäeva toimetas elektriline virnastaja kaubaaluseid lattu, kus tõstmine hoiukohale toimus teise virnastaja vahendusel. Virnastaja rikkeks osutus veorataste metallini kulumine – remondi teostav tehnik põhjustas seda ebaühtlase sõidu ja tugeva kauakestva pidurdamisega, mis tekkis tõstukiga valede sõiduvõtete kasutamisel.

3.3. Pakutav tehniline lahendus

Tuginedes uuringustrateegia raames läbiviidud intervjuude ja vaatluse tulemustele kirjeldab antud alapeatükis autor endapoolsed tehnilised lahenduse uuritavate ettevõtete teatud tööprotsesside lõikude automatiseerimiseks.

Puidutööstusettevõtte jaoks oleks mõistlik võtta kasutusele laserjuhitava virnastaja automaatsüsteemi mehitatud elektrilise virnastaja asemel. Antud lahenduse raames paigutatakse tootmisliini ääre peale optiline andur, mis saadab LGV virnastajale signaali, anduri vastuvõtu piirkonda saabub toodanguga kaubaalus. Saades anduri poolt signaali suundub LGV aluse järele. Kahvlite abil tõstab LGV masin aluse liini pealt ning transporteerib puhverlattu. Teekond valitakse tõstuki masti peale kinnitatud laseri abil. Laser saab signaali tootmistsehhi seintele/riiulitele/postidele paigutatud reflektorilt, laser on näha joonisel 18.



Joonis 18. Laseranduriga varustatud LGV virnastaja Toyota SAE160 [12]

LGV virnastaja on varustatud lisa optiliste anduritega, mis paiknevad masina külgedel ja eespool. Need andurid ennetavad kokkupõrkeid tsehhis olevate objektidega. Tee peale takistuse ilmumisel tõstuk seiskub ning aktiveerub helisignalisatsioon ja ühtlasi saabub vastav info tõstuki juhtimisprogrammi. Takistuse kadumise korral jätkatakse liikumise.

Saabudes puhverlattu paigutab masin aluse ettemääratud kohale, mida tuvastatakse juhtimistarkvara järgi ja lisa optiliste andurite abil. Seejärel liigub tõstuk ootealale kuni järgmise käsu laekumiseni. Kirjeldatud protseduur võtab keskmisel aega neli minutit 35 sekundit, juhul, kui sõiduteele ei tekki takistusi.

Seoses sellega, et puidutööstusettevõtte puhverlaos maksimaalne kõrgus on viis meetrit, siis sobiva LGV virnastaja tõstekõrgus peab olema 4700 mm, kahvli pikkus 1200 mm. Antud tööprotsessi lõigu automatiseerimiseks sobib autori arvamusel LGV virnastaja Toyota SAE160.

Arvestades sellega, et uued alused tulevad konveieri pealt iga viie minuti tagant, aluse liiklusvool on 12 alust tunnis ning rakendades masina liikumiseks ja aluste paigutamiseks juhtimistarkvaras (T-One Software) määratletud aega, tuleb autor järeldusele, et puidutööstusettevõtte kirjeldatud protsessi lõigu automatiseerimisel pakutava LGV virnastaja koormus oleks 93%. Energia efektiivselt kasutamiseks varustatakse tõstuk Li-Ion akuga, mis on laetav automaatselt akulaadimisjaamas (Joonis 19).



Joonis 19. Automaatne Li-Ion akulaadimissüsteem [12]

Masin on eelseadistatud teatud laadimistsüklitele, mis klapiivad tootmistsehhi personali puhkepausidega, mis oluliselt tõstab tööaja kasutamise efektiivsust. Kokkuvõttes laeb tõstuk 15 minutit iga kahe tunni tagant.

Logistika ettevõtte hoiukohale kauba liigutamise protsessi automatiseerimiseks pakub autor võtta kasutusele LGV lükandmasti virnastaja Toyota RAE160. LGV virnastaja on esitatud joonisel 20. Masina maksimaalne tõstekõrgus on 9500 mm, kahvlipikkus 1200 mm. Tõstuk on varustatud 3D-kaameraga, kolme optiliste anduriga, ribakoodi skänneriga ning katusele on paigutatud laser. Energiat saab masin Li-Ion akust, laadimistsüklid on 20 minutit iga kahe tunni tagant. Antud masina eripäraks on võrdlemisi suurem tõstekõrgus ning virnastaja sobib kõrgetele ladudele.



Joonis 20. LGV lükandmasti virnastaja Toyota RAE160

LGV virnastaja rakendamisega automatiseeritav protsess algab kauba vastuvõtu punktis, kus kaupa valmistatakse ladustamiseks ette. Kaup asub vastuvõtupunktis aluste peal, alused on virnastatud üks teise peale kahe virnaga. Saabudes vastuvõtupunkti skaneerib virnastaja aluse peal olevat ribakoodi ning seeläbi saab infot kauba laos asukoha kohta, mida määratakse T-One tarkvara põhiselt ning T-One on omakorda integreeritud ettevõtte laohaldussüsteemiga (*WMS*, ingl.k. *Warehouse Management System*), kusjuures sünkroniseerimine on võimalik mistahes laohaldussüsteemiga.

Peale aluse ribakoodi skanneerimist, liigub virnastaja ettemääratud teekonna mööda lattu, orienteerudes laserandurite ja reflektorite abil. Reflektorid paigutatakse laoruumi postidele, riiulitele, seintele. Tegutsedes T-One tarkvara käskudele aluse jaoks ettenähtud koha tuvastamiseks ja asudes õige riiuli ees, tõstab virnastaja aluse hoiukohale ja sõidab järgmise aluse järele. Kui logistika lao meeskond on päeva jooksul alused ettevalmistanud (ribakoodid kleebitud ja laohaldussüsteemi andmed aluste ja kauba kohta sisestatud), siis tööpäeva lõppedes, kui töötajad on lahkunud, jätkab virnastaja kaubaaluste käitlemist – tuginedes ribakoodi sisse kodeeritud infole aluse asukoha kohta paigutab aluseid laoriilule. Perioodiliselt „teeb“ masin pause laadimiseks. Tänu sellisele tehnilisele lahendusele saavutatakse laos liikumise vähendamist, mistõttu ei sega aluste riuldamise protsess muid lao operatsioone, näiteks, komplekteerimist.

Võttes arvesse uuritava ettevõtte tööaega ja vajadusi, T-One tarkvara abil saab arvutada tõstuki koormust, mis on antud juhul 98%. LGV virnastaja asendab mehitatud tõstuki kasutamist vähendades liiklust laos ja tõstes tööaja kasutamise tõhusust.

3.4. Tasuvusanalüüs

Käesolevas alapeatükis käsitleb autor Eesti logistika ja puidutööstusettevõtete automaatjuhitavate tõstukite tehnoloogia juurutamise tasuvusanalüüsi eesmärgiga selgitada välja toodangu või kaubakäsitluse protsessi automatiseerimise eelised ja puudused ning majanduslikku otstarbekust ehk tehtavate investeeringute tasuvusaega.

Investeeringuprojektide tasuvusanalüüsi teostamist alustab autor tasuvusaja ehk ette määratud aastate rahavoogude määramisest. Rahavoogude määratlemisel kasutatakse andmeid, mis olid saadud autori korraldatud intervjuudest Eesti logistika ja tööstusettevõtete esindajatega ning samal ajal kasutatakse toetusandmetena antud valdkonna maailma parimaid praktikaid.

Automatiseerimisprojekti rahavoogusid mõjutavad automaatjuhitavate tõstukite tehnoloogiaga kaasnevad tegurid:

- tõstukijuhtide töötasudega seotud kulude kadumine,
- automaatjuhitavate tõstukite hoolduse ja remondikulud,
- kaubakahjustamise kulude vähendamine.

Rahakäibed aastate lõikes sisaldavad mehitatud tõstukite kasutamise korral tööjõukulud ehk tõstukijuhtide töötasusid. Tööstusettevõtte puhul võetakse arvesse tõstukijuhi keskmist brutopalka, mis on summas 1037,35 eurot ja logistika ettevõtte puhul - 1348,58 eurot (aluseks võetakse keskmist brutopalka antud valdkonna ettevõtetes tõstukijuhi ametikohal). Autor võtab arvesse ka tõstukijuhtide keskmist aasta palgatõusu, mille määr on keskmiselt 5,3%. Uuritavates valdkondades töötava tõstukijuhi töötasu muutus aastatel 2016-2020 ja töötasu kasvu määr on esitatud tabelis 7 [29].

Tabel 7. Tõstukijuhi töötasu (bruto) muutus aastatel 2016-2020

Periood	2016	2017	2018	2019	2020
Töötlev tööstus					
Keskmine töötasu (bruto)	1107	1173	1249	1339	1363
Töötasu tõus		6%	6%	7%	2%
Veondus ja laondus					
Keskmine töötasu (bruto)	1107	1173	1249	1339	1363
Töötasu tõus		6%	6%	7%	2%

Lisaks brutopalgale on ettevõtete püsikuludeks ka sotsiaalmaks, mis on Eestis 33% ja töötuskindlustusmaks, mis on 0,8%. Vastavad andmed on välja toodud allpool olevas tabelis 8.

Tabel 8. Tõstukijuhite töötasud ja maksud

Ettevõtte profiil	Bruto palk	Töötuskindlustusmaks	Sotsiaalmaks	Palgafond
Tööstusettevõtte	1037,35 EUR	8,3 EUR	342,32 EUR	1387,97 EUR
Logistika ettevõtte	1348,58 EUR	10,79 EUR	445,03 EUR	1804,40 EUR

Seoses sellega, et uuritav tööstusettevõtte töötab 24 tundi ööpäevas viis päeva nädalas, arvestab autor tõstukijuhi töötasu sisse ka töös öisel ajal, mille eest makstakse Eesti Vabariigi seaduse kohaselt tavalisest kõrgema tariifiga - kui tööaeg langeb ööajale (kell 22.00 kuni 6.00), maksab tööandja töö eest 1,25-kordset töötasu [30]. Samal ajal ei võta autor arvesse haiguspäevadega ja puhkustega seotud kulusid.

Mehitatud ja automaatjuhitavate tõstukite hoolduse- ja remondikulud on erinevad. Mehitatud tõstukite puhul võtab autor hoolduse ja remondikulud toetudes vastava kaubamärgi (Toyota) hooldusvälbale ja hinnakirjale kolmeaastase perioodi eest saades keskmist aastast kulu. Automaatjuhitavate tõstuki hoolduskulude andmed pärinevad

Toyota kaubamärgi hinnakirjast viimaste kolme aasta jooksul (arvestatakse keskmist kulu aastas). Võrreldes kulusid, tuleb autor järeltulele, et automaatjuhitavate tõstukite hooldusekulud on mehitatud tõstukite omadest 1,6 korda kõrgemad. Seda võib põhjendada laseri olemasoluga ja üldiselt suurema andurite arvuga automaatjuhitaval tõstukil.

Vaatamata kõrgematele hoolduskuludele, on automaatjuhitavate tõstukite remondikulud võrreldes mehitatud tõstukite kuludega 70% madalamad. Antud asjaolu on seotud sellega, et tarkvara ja andurite poolt juhitud masinad sõidavad, kiirendavad ja pidurdavad sujuvamalt, tarkvara poolt valitakse mistahes momendi jaoks optimaalne kiirus ja pöörderaadiused, mistõttu automaatjuhitavate tõstukite rataste vahetust on vaja teostada üks kord kolme aasta jooksul (eeldades, et töö intensiivsus on 24/7). Mehitatud tõstuki kasutamise korral tavaliselt vahetatakse rattad kaks korda aastas.

Üheks lisateguriks, mis oluliselt mõjutab mehitatud tõstukite remondikulud, on tõstuki operaatore eksimus, mille tulemusena tekkivad kaubakahjustused. Inimese poolt juhitud tõstukid pöörkuvad sageli kokku, sõidavad vastu riulit, seina või muud takistust, sattuvad ratastega suurema tööstusprügi peale. Tänu automaatika kontrollile, selliseid intsidente automaatjuhitavate tõstukite kasutamise puhul ei juhtu – optilised andurid annavad tõstuki mootorile seiskumise käsku siis, kui teel esineb mistahes takistus, mis hoiab ette võimalikku kokkupõrke.

Uuritavate ettevõtete jaoks teostatava automatiseerimisprojekti tasuvusanalüüsi raames käsitledes tööjõu ja masinate hoolduse- ja remondikulud ning tuli järeltulele, et 98% rahakäibedest on seotud tööjõukuludega ning hoolduse- ja remondikulud (kaasa arvatud kaubakahjustamise kulud) moodustavad vaid 2%.

Seoses sellega, et nii logistika, kui ka tööstusettevõtte kaubakäsitluse tööprotsesside täitmiseks kasutatakse 75% tõstukijahi täiskoormusest (antud väärtus saadi vaatluse käigus), võib järeltulele, et automaatjuhitavad tõstukid töötavad aeglasemalt, kui mehitatud masinad (simulatsiooni kohaselt tööstusettevõttel – 93% ja logistika ettevõttes 98%). Ühest küljest võib tunduda, et mehitatud tõstukite tehtav töö on kiiruse poolest efektiivsem, kuid teisel küljel saavutatakse suuremat töö kiirust seeläbi, et tõstukite operaadrid juhivad tõstukeid kõrgemal kiirustel kasutades äkilisemaid pidurdus- ja kiirendusvõtteid, mille tõttu esineb mehitatud tõstukite kasutamise korral tunduvalt rohkem vigastusi, mis on kõrgemate remondikulude põhjuseks.

Mõlema automatiseerimisprojekti hindamiseks kasutas autor investeeringu suurusena mehitatud ja automaatjuhitavate tõstukite suure tootja, Toyota Material Handling Baltic

ettevõtte poolt pakutud hinna indikatsiooni, milleks on järgmised väärtuste vahemikud:

- 100000 eurot kuni 150000 eurot tööstusettevõtte automatiseerimisprojekti jaoks;
- 200000 - 260000 eurot logistika ettevõtte automatiseerimisprojekti jaoks.

Eelpool toodud alginvesteering sisaldab laserjuhitava töstuki, tarkvara ja litsentsi, projekti lisavarustust, mida paigaldatakse töökeskkonda (reflektorid, andurid, I-O kapid, tellimuse nupud), ettevalmistuse- arvestuse ja kogu projektitöö kulusid. Olemasoleva mehitatud töstuki osas ei olnud arvestatud selle müügihind seoses sellega, et töstukit kasutatakse ettevõttes ka tulevikus, teise tööloigu teenindamiseks või vanema tehnika asendamiseks.

NPV ja IRR väärtuste välja arvutamiseks kasutas autor Microsoft Exceli arvutusfunktsioone ning lõi antud tarkvaras süsteemi, mille puhul on sisendiks ettevõtte poolt antavad soovitud parameetrid tasuvusaja, vahetuste arvu ja ajalise pikkuse, töstuki juhtide töötasu ja kaubakahjustamise maksumuse kohta ning väljundiks on arvutuslik tasuvusaeg koos igaaastase rahakäibega. Nõutava tulunormina võttis autor 10% (keskmine väärtus).

NPV ja IRR väärtuste arvutamisel tööstusettevõtte puhul võttis autor arvesse, et automaatjuhitava töstuki eeldatav tasuvusaeg on viis aastat. Tasuvusanalüüsi tulemusena sai autor NPV väärtust 41138, mis on suurem, kui null, seega investeering tasub ennast ära ja automatiseerimisprojekti tasub kinnitada. IRR väärtuseks sai autor 21%, mis on nõutavast tulunormist (10%) kõrgem. Arvutused näitasid, et puidutööstusettevõtte sisendandmetega on automatiseerimisprojekti tasuvusajaks 3,7 aastat ehk kolm aastat ja 255 päeva, mis mahub ettevõtte eeldatavasse tasuvuse perioodisse, milleks on viis aastat.

Logistika ettevõtte automatiseerimisprojekti NPV ja IRR väärtuste arvutamiseks kasutas autor tasuvusajaks samuti viite aastat eesmärgiga võrrelda mõlema uuritava ettevõtte tasuvusanalüüsi tulemused. Logistika ettevõtte stsenaariumi korral on NPV väärtus negatiivne (-177297) ehk nullist väiksem, mis tähendab, et automatiseerimisprojektiga edasi minek ei ole otstarbekas. Saadud IRR väärtus on samuti negatiivne (-25%) – projekt ei ole kasumlik, investeering ei tasu ennast eesmärgistatud tasuvuse perioodi poolest ära. Sellise stsenaariumi puhul on tasuvusajaks 26,56 aastat ehk 26 aastat ja 204 päeva.

Seejärel käsitles autor uuritavate ettevõtete jaoks erinevaid töövahetuste ja tööajapikkuse stsenaariumeid: 8/5, 16/5, 16/7, 24/5 ja 24/7. Ülejäänud tasuvusanalüüsi parameetrid (tööandja töökulu inimese kohta, aasta palgatõus, protsessis osalevate

inimeste arv, mehitatud ja automaatjuhitava tõstuki aasta hoolduse- ja remondikulud, kauba kahjustamise kulu aastas, nõutab tulunorm) jäid muutmata. Öisel ajal töötamise puhul võtab autor arvesse töötasu 1,25 määraga tunnis, nagu seda näeb ette seadus. Autor ei võta arvesse haiguse või puhkuse tõttu töölt puudumisi.

Vahetuste arvu arvutamisel lähtus autor töötundide normist kuus ning võttis 2021. aasta maikuu tööpäevade arvu 21 päeva, kümme vabapäeva ning kokku 31 kalendaarset päeva. Riigipüha 1.mai on aastal 2021 laupäeval ning seetõttu ei lähe arvesse. Töötaja maikuu tööajafond on 21 x 8 ehk 168 töötundi. Ühe tööprotsessi kohta tõstuki juhtide arvu arvutamine on esitatud tabelis 9.

Tabel 9. Tõstuki juhtide arvu arvutamine

Vahetused	Tööpäevade arv	Tunnide arv tööpäevas	Kogutunnid	Tõstuki operaatorite arv	Koormus 75%
8/5	21	8	168	1,00	0,75
16/5	21	16	336	2,00	1,50
16/7	31	16	496	2,95	2,21
24/5	21	24	504	3,00	2,25
24/7	31	24	744	4,43	3,32

Puidutööstusettevõtte tasuvusanalüüsi korral sai autor järgmised tulemused: kui tootmine töötab 8/5 töögraafiku alusel, siis automatiseerimise investeeringu tasuvusaeg on 15 aastat, 16/5 töögraafiku korral - 6,3 aastat. Tegemist on kahe negatiivse stsenaariumiga, mille puhul investeerimisotsust lükatakse tagasi. Kui tootmine töötab 16/7, 24/5 või 24/7 töögraafiku alusel, siis tasuvusajaks on neli, 3,7 ja 2,5 aastat vastavalt. Nende stsenaariumite puhul investeerimisotsus kinnitatakse. Erinevate töögraafikute tasuvusanalüüsi tulemused on esitatud allpool olevas tabelis 10. Negatiivsed stsenaariumid on märgistatud tabelis punase ning positiivsed – rohelse värviga.

Tabel 10. Puidutööstusettevõtte tasuvusanalüüsi väärtused erinevate töögraafikute korral

Vahetused	Tõstukite operaatorite arv	Tasuvusaeg (aastates)	NPV	IRR
8/5	1	15	-76160	-17%
16/5	2	6,3	-24028	3%
16/7	3	4	28105	18%
24/5	3	3,7	41138	21%
24/7	4,43	2,5	121900	41%

Logistikaettevõtte kauba käsitlemise protsessi automatiseerimise tasuvusanalüüs näitas, et ainukeseks variandiks, mille puhul investering õigustab ennast ära, on juhul, kui

ladu töötab 24/7. Sellisel juhul on NPV väärtuseks 80181 (nullist suurem) ning IRR - 21%, mis ületab nõutava tulunormi (10%) ja tasuvusaeg 3,68 aastat ehk kolm aastat ja 248 päeva. Andmed on välja toodud tabelis 11, mis rohelise värviga illustreerib ainukest positiivset stsenaariumit automatiseerimisprojekti investeerimise hindamisel.

Tabel 11. Logistika ettevõtte tasuvusanalüüsi väärtused erinevate töögraafikute korral

Vahetused	Tõstukite operaatorite arv	Tasuvusaeg (aastates)	NPV	IRR
8/5	1	26,56	177297	-25%
16/5	2	9,9	109524	-9%
16/7	3	6,16	-41752	3%
24/5	3	5,63	-24809	6%
24/7	4,43	3,68	80181	21%

3.5. Järeldused

Antud alapeatükis teeb autor vahekokkuvõtet kvalitatiivse uurimisstrateegia tulemuste analüüsi kontekstis, annab vastused lõputöös püstitatud uurimisküsimustele ning esitab omapoolsed järeldused.

Milline on Eesti tootmis- ja logistika ettevõtete teadlikkus laserjuhitavate tõstukite tehnoloogiast? Tulenevalt logistika ja tööstusettevõtete esindajatega läbiviidud intervjuust võib järeldada, et antud valdkonna töötajate teadlikkus automaatjuhitavate tõstukite tehnoloogiast on vähene – ainult üks intervjuueeritav teadis, millega on tegemist ja mis eesmärgiga juhita tõstukeid kasutatakse.

Mis on juhita tõstukite aktsepteeritav tasuvusaeg Eesti ettevõtetele? Keskmine aktsepteeritav tasuvusaeg seoses automatiseerimisprojekti juurutamisega sõltub Eesti ettevõtetes tegevuse valdkonnast: logistika ettevõtete eeldatav tasuvusaeg on keskmiselt 2,3 aastat, mis on lühem, kui tööstusettevõtete oma (keskmiselt 4,2 aastat). Logistika valdkonnas oodatakse tehtud investeeringute tagastamist juba paari aasta pärast, mis võib olla seotud äri spetsiifikaga – logistika pakub kauba käsitluse/transpordi teenust, mille hind on võrreldes tööstuse poolt pakutava toodanguga madalam.

Mis on Eesti ettevõtete avatuse tase tootmise ja tootlikkuse parandamiseks läbi innovaatilisi tehnoloogiate? Mis puudutab Eesti ettevõtete avatuse taset tootmise ja tootlikkuse parandamiseks läbi innovaatilisi tehnoloogiate, siis sisuliselt ollakse selles huvitatud, kuid takistavaks teguriks on investeerimise maht ja eeldatav tasuvusaeg.

Missugune on Eesti ettevõtete töökeskkonna valmidus AGV tehnoloogia kasutamiseks? Eesti ettevõtete töökeskkonna valmidust AGV tehnoloogiate juurutamiseks võib hinnata kui rahuldavat – selles osas valmiduse tase on kõrgem tööstusettevõtete tööruumides. Samal ajal on logistika ettevõtetel lühiajalised lepingud klientidega, mistõttu koostööpartneri vahetuse tagajärjel võivad muutuda kaubaaluste mõõdud ja koorma kõrgused/kaupade mõõdud, mis tihtipeale tingib riiulite konstruktsiooni või kõrguse/laiuse kohandamist. Tööstusettevõtete tehased ja tootmistsehhid vajavad automaatjuhitavate tõstukite tehnoloogiate kasutamiseks töökeskkonna vähem mahukaid muutusi tööruumide ümberehituse näol. Seoses sellega, et tööstuses kasutatakse madalama masti- ja tõstekõrgusega LGV tõstukeid, mis ei vaja manööverdamiseks palju ruumi, on tööstusettevõtte tsehhi või laoruumide ümberehitus minimaalne. Logistika ettevõtetes tuleb sageli muuta riiulite vahekäikude laiust ning teha muutusi laohaldussüsteemis, mis omakorda eeldab automaatjuhitavate tõstukite ümberseadistamist.

Milline võiks olla logistika ja tööstusettevõtte tööprotsesside tõhustamiseks sobiv automaatjuhitavate tõstukite tehniline lahendus? Logistika ja tööstusettevõtte tööprotsesside tõhustamiseks sobiv laserjuhitavate tõstukite tehniline lahendus omab ühiseid jooni ning erineb, mis on tingitud ladude ehituse ja materjali teisalduse/hoiustamise spetsiifikast. Tööstusettevõtte protsessid, mis vajavad automatiseerimist, on keskendunud tootmisliinide teenindamise valdkonnas (toormaterjali, pooltoodangu liigutamine ühest töötsüklist teise), toodangu hoiukohale transportimine on pigem teisejärguline. Logistika ettevõtetes on vastupidi fookuses kauba ladustamine ja/või hoiukohalt transportimine. Logistika ettevõtete ladudes on kasutusel kõrgemad riiulid, seega laserjuhitavate tõstukite hulgast eeldatakse suurema tõstekõrgusega masinaid, mis on varustatud lisaandurite ja seadmetega suurel kõrgusel kaupade liigutamiseks ning lisaintegratsioonid laohaldussüsteemidega ja ribakoodi lugemiseks mõeldud skannerid tõstavad tehnilise lahenduse maksumust. Tööstuses ei ole väga kõrge riuldamise vajadust ning seetõttu sobivad antud valdkonnas madalama tõstekõrgusega ja sellest tulenevalt madalama hinnaga tõstukid.

Missugune on automaatjuhitavate tõstukite tehnoloogia kasutuselevõtu tasuvusaeg? Tuginedes lõputöö uurimisstrateegia raames rakendatud tasuvusanalüüsi tulemustele ja tehnilistele ettepanekutele uuritavate puidutööstus- ja logistika ettevõtete materjali käsitluse protsesside automatiseerimise osas, tuleb autor järeldusele, et puidutööstusettevõtte investeeringud poolvalmistoodangu hoiukohale liigutamise ja tootmisliinide teenindamise protsesside automatiseerimiseks LGV tõstukite kasutuselevõtu läbi tasuvad ennast ära lähima kolme aasta jooksul. Logistika ettevõtte

automatiseerimisprojekti tasuvusaeg, ligi 20 aastat, on liiga pikk ning ei vasta ettevõtte eesmärkidele.

Tasuvusanalüüsi tulemuste kohaselt järeldab autor, et investeerimisprojektiga edasi minek sõltub olulisel määral ettevõtte töögraafikust ehk vahetuste arvust, mis omakorda mõjutab tööjõukulude suurust.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö teema oli seotud Eesti logistika ja tööstusettevõtete materjali käsitluse protsesside automatiseerimisega laserjuhitavate tõstukite kasutuselevõtu vahendusel. Töö uurimisprobleem seisnes selles, et puudus teadmine selle kohta, mis põhjustel ei ole Eesti ettevõtetes laserjuhitavate tõstukite kasutamine levinud ning püstitatud eesmärgina selgitas autor välja, missugused on kriitilised edutegurid, mis aitavad äriorganisatsioonidel otsustada laserjuhitavate tõstukite tehnoloogia juurutamise kasuks tööstuse ja logistika valdkonnas.

Püstitatud uurimisprobleemi lahendamiseks rakendas autor kvalitatiivset uurimisstrateegiat, mille raames kasutas andmekogumismeetoditena struktureeritud intervjuud ja vaatlust. Intervjueeritavateks osutusid Eesti tootmis- ja logistika ettevõtete esindajad ning selle meetodi kasutamine oli seotud vajadusega saada teavet selle kohta, kui teadlikud on antud valdkondade esindajad laserjuhitavate tõstukite tehnoloogiast, milline on seotud ettevõtete töökorraldus, milline on automatiseerimisprojekti eesmärgistatud tasuvusaeg, kui sageli on ettevõtted sunnitud otsima uusi tõstuki operaatoreid ning kui palju aega võtab uue tõstukijuhi tööturult leidmine ja leidmise korral välja koolitamine. Korraldatud vaatluse objektideks olid puidutööstusettevõtte ja logistika terminali kauba/toodangu teisaldamisega seotud protsessid – autor vaatles nii protsesse, kui töökeskkonda.

Intervjuude ja vaatluste vahendusel kogutud andmeid kasutas autor sisendina uuritavate puidutööstus ja logistika ettevõtete jaoks toodangu/kauba käsitluse protsesside automatiseerimiseks sobiva tehnoloogia valimiseks. Valitud tehnoloogia osas teostas autor iga ettevõtte jaoks erinevate stsenaariumite valguses tasuvusanalüüsi. Tasuvusanalüüsi alusel osutus võimalikuks teha parendusettepanekuid automatiseerimisprojektidega edasimineku või tagasi lükkamise osas.

Teostatud tasuvusanalüüs näitas, et ainult tööstusettevõttel on mõistlik automatiseerida toodangu tootmisliinide vahel liigutamise ja lattu teisaldamise protsesse. Antud järeldus põhineb arvutuslikel andmetel, kusjuures arvesse võeti nii ettevõtte enda poolt seatud tasuvusaega, kui ka töökorraldust ehk töövahetuste arvu ja nende kestust. Etteantud ja uurimuse käigus saadud andmete kohaselt sai autor laserjuhitavate tõstukite tehnoloogia juurutamise tasuvusajaks orienteeruvalt kolm aastat, mis on kooskõlas ettevõtte enda poolt eesmärgistatud tasuvusajaga. Logistika ettevõtte kauba hoiukohale teisaldamise protsessi automatiseerimise tasuvusaeg on teostatud tasuvusanalüüsi alusel ligi 20 aastat, mis ei ole sobiv ettevõtte eeldatava tasuvusaja poolt.

Nii puidutööstus-, kui ka logistika ettevõtte jaoks tehtud tasuvusanalüüsi kohaselt sõltub automatiseerimisprojekti tasuvusaeg ja selle juurutamisega edasimineku majanduslik otstarbekus ettevõtte töögraafikust ehk vahetuste arvust ja kestusest, millega on omakorda seotud tööjõukulud. Teiste sõnadega, automaatjuhitavate tõstukite kasutuselevõtt vähendaks oluliselt tõstukite juhtide töötasukulusid. Vaatamata sellele, et automaatjuhitavate tõstukite keskmised aastased hooldus- ja remondikulud on võrreldes mehitatud tõstukitega oluliselt madalamad ning automaatjuhitavate tõstukite kasutamise puhul materjali kahjustamisega seotud kulud on samuti madalamad, peamiseks teguriks, mis edendab automaatjuhitavaid tõstukeid kasutada, on väärtus, mille võrra saab hoida tööjõukulud kokku.

Lõputöö raames koostatud tasuvusanalüüsi alusel tegi autor uuritavale puidutööstusettevõttele ettepanekut automatiseerida toodangu tootmisliinide vahel liigutamise ja lattu teisaldamise tööprotsessid laserjuhitava tõstuki kasutuselevõtu vahendusel. Logistika ettevõttel osutus mõistlikum jätkata mehitatud tõstuki kasutamisega.

Kokkuvõttena nendib autor, et automaatjuhitavate tõstukite vähene kasutamine Eesti ettevõtetes on tingitud nii vähesest teadlikkusest antud tehnoloogiast, kui ka majanduslikel põhjustel ehk praegu ei saa väita, et automaatjuhitava tõstuki kasutuselevõtt on ettevõttele majanduslikult otstarbekas. Mõistlik on juurutada AGV tehnoloogiat juhul, kui tasuvusanalüüsi tulemusena leitakse, et automaatjuhitava tõstuki rakendamine madaldab tööjõukulusid ning vastab ettevõtte poole eeldatavale tasuvusajale.

SUMMARY

The topic of this master's thesis was related to the automation of material handling processes in Estonian logistics and industrial companies through the introduction of automated guided vehicles. The research problem includes a lack of knowledge about the reasons why the use of automated guided vehicles is not widespread in Estonian companies, and the author identified the critical success factors that help business organizations decide to implement automated guided vehicles technology in the field of industry and logistics.

To solve the research problem, the author applied a qualitative research strategy, in the framework of which he used structured interviews and observation as data collection methods. The representatives of Estonian manufacturing and logistics companies were the interviewed, and the use of this method was related to the need to get information about how aware the representatives are about the technology of automated guided vehicles technology, the organization of their work process, the rotation of forklift operators and how long it takes to find a new forklift driver on the labor market and, if found, to train him. The objects of the organized observation were the processes related to the movement of goods/products of the wood industry company and the logistics terminal - the author observed both the processes and the working environment.

The data collected through interviews and observations was used by the author as input to select suitable technology for the automation of products/goods handling processes for the wood industry and logistics companies under study. For the chosen technology, the author performed a cost-benefit analysis for each company in the light of different scenarios. Based on the cost-benefit analysis, it became possible to make suggestions for approval or rejection of the automation projects.

The cost-benefit analysis showed that it is only reasonable for a wood industry company to automate the processes of moving products between production lines and moving them to the warehouse. This conclusion is based on calculated data, taking into account both the payback period set by the company and the organization of work, ie the number of work shifts and their duration. According to the data provided and obtained during the research, the author got a payback period of approximately three years for the introduction of automated guided vehicles technology, which is in line with the payback period targeted by the company. The payback period for the automation of the logistics company's material handling process has been performed on the basis of a cost-benefit analysis for almost 20 years, which is not suitable for the company's expected payback period.

According to the cost-benefit analysis for both the wood industry and the logistics company, the payback period of an automation project and the economic feasibility of making progress with its implementation depend on the company's work schedule, ie the number and duration of shifts, which in turn involves labor costs. In other words, the introduction of automated guided vehicles would significantly reduce the payroll costs of forklift drivers. Although the average annual maintenance and repair costs of automated guided forklifts are significantly lower than for manned forklifts and the cost of material damage is also lower for automated guided vehicles, the main factor that promotes the use of automated guided vehicles is the value by which labor costs can be saved.

Based on the cost-benefit analysis prepared in the framework of this thesis, the author proposed to the investigated wood industry company to automate the processes of moving products between production lines and moving them to the warehouse through the implementation of laser guided vehicles technology. It turned out to be more reasonable for the logistics company to continue using the manned forklifts.

In conclusion, the author states that the low use of automatic forklifts in Estonian companies is due to the low awareness of this technology as well as for economic reasons, ie at present it cannot be said that the implementation of automated guided vehicles is economically viable for the company. It is reasonable to introduce AGV technology if the cost-benefit analysis shows that the implementation of automated guided vehicles will reduce labor costs and meet the expected payback period for the company.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] A. Dekhne, G. Hastings, J. Murnane, F. Neuhaus, „Automation in Logistics: Big Opportunity, Bigger Uncertainty,” McKinsey & Company, 2019.
- [2] KPMG Baltics OÜ, „www.kpmg.ee,” KPMG International Cooperative NL, 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://home.kpmg/ee/et/home/insights/2020/03/COVID-19.html>. [Kasutatud 15. Jaanuar 2021].
- [3] „www.cognex.com,” Cognex Corporation, 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.cognex.com/blogs/industrial-barcode-reader/how-covid-19-changed-the-way-we-shop-and-accelerated-automation-in-the-retail-sector>. [Kasutatud 20. veebruar 2021].
- [4] A. Tulvi, Lao haldamine, Tallinn: Seilecs OÜ, 2021.
- [5] K. Azadeh, R. de Koster, D. Roy, „Robotized and Automated Warehouse Systems: Review and Recent Developments,” *Transportation Science*, kd. 53, nr 4, pp. 917-945, 2019.
- [6] P. Cicconia, R. Raffaelli, L. Postacchini, A. Monteriù, E. Pallotta, M. Prist, F. E. Ciarapica, M. Germani, „Analysis of LGV usage for the improvement of a customized production,” *Procedia Manufacturing*, kd. 51, p. 1606-1613, 2020.
- [7] S. K. Das, M. K. Pasan, *Design and Methodology of Automated Guided Vehicle – A review*, IOSR-JMCE Journal of Mechanical, 2016.
- [8] S. G. Kumbhar, R. B. Thombare, A. B. Salunkhe, „Automated Guided Vehicles for Small Manufacturing Enterprises: A Review,” *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, kd. 11, nr 3, p. 253-258, 2018.
- [9] J. Gu, M. Goetschalckx, L. F. McGinnis, „Research on warehouse operation: A comprehensive review,” *European Journal of Operational Research*, kd. 177, nr 1, p. 1-21, 2007.
- [10] V. Jaiganesh, J. Dhileep Kumar, J. Girijadevi, „Automated Guided Vehicle with Robotic Logistics System,” *Procedia Engineering*, kd. 97, pp. 2011 - 2021, 2014.
- [11] Q. Yang, Y. Lian, W. Xie, „Hierarchical Planning for Multiple AGVs in Warehouse Based on Global Vision,” *Simulation Modelling Practice and Theory*, kd. 104, nr 102124, 2020.
- [12] Toyota Material Handling Baltic, *Toyota Material Handling Baltic SIA Eesti Filiaali ettevõttesisene koolituse materjal*, Tallinn: Toyota Material Handling Baltic, 2021.
- [13] N. Taglic, *What are Automated Guided Vehicles?*, 6 River Systems, 2021.
- [14] W. Xing, „Intersection Recognition and Guide-Path Selection for a Vision-Based AGV in a Bidirectional Flow Network,” Zhongyuan University of Technology, 2014.
- [15] J. Martinez, „www.medium.com,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://medium.com/@jlmartinez.es/agvs-navigation-systems-354b3469e6c3>. [Kasutatud 1. veebruar 2021].
- [16] A. F. Ashraf, L. Korra, K. R. Burade, S. M. Uphad, „Automated Guided Vehicle Design Methodology - A Review,” *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, kd. 6, nr 7, pp. 2093-2099, 2019.
- [17] A. Ferrara, E. Gebennini, A. Grassi, „Fleet sizing of laser guided vehicles and pallet shuttles in automated warehouses,” *Int. J. Production Economics*, kd. 157, pp. 7-14, 2014.
- [18] D. Bechtsis, N. Tsolakis, D. Vlachos, E. Iakovou, *Sustainable Supply Chain Management in the Digitalisation Era: The impact of Automated Guided Vehicles*, 2017.

- [19] D. Bechtsis, N. Tsolakis, N. Vlachos, D. Iakovou, *Sustainable Supply Chain Management in the Digitalization era: The impact of Automated Guided Vehicles*, Journal of Cleaner Production, 2017.
- [20] *How "every day" AGV forklifts & fork trucks bring warehouse automation*, www.lantech.com.
- [21] L. Tebaldi, G. Di Maria, A. Volpi, R. Montanari, E. Bottani, „Economic evaluation of automated guided vehicles usage in a food company.,“ *Procedia Computer Science*, kd. 180, p. 1034–1041, 2021.
- [22] C. Chen, D. Tran Huy, L. Kong Tiong, I. Chen, Y. Cai, „Optimal facility layout planning for AGV-based modular prefabricated manufacturing system,“ *Automation in Construction*, kd. 98, p. 310–321, 2019.
- [23] L. Õunapuu, *Kvalitatiivne ja kvantitatiivne uurimisviis sotsiaalteadustes*, Tartu: Tartu Ülikool, 2014.
- [24] S. Virkus, „Infokäitumise, info hankimise ja otsingu ning infopädevuse uurimise meetodid,“ Tallinna Ülikool, Tallinn, 2010.
- [25] S. Virkus, „Intervjuu, vaatlus ja sisuanalüüs,“ Tallinna Ülikool, 2016. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.tlu.ee/~sirvir/Intervjuu_vaatlus_ja_sisuanals/index.html.
- [26] S. Hirsjärvi, *Uuri ja kirjuta*, Tallinn: Medicina, 2010.
- [27] A. Teearu, E. Krumm, *Ettevõtte finantsjuhtimine: investeringute vajaduse selgitamine.*, Tallinn: Pegasus, 2006.
- [28] M. Kõomägi, *Ärirahandus.*, Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus, 2006.
- [29] „Statistika andmebaas,“ Statistikaamet, 2021. [Võrgumaterjal]. Available: https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus__palk-ja-toojeukulu__palk__aastastatistika/PA001/table/tableViewLayout1.
- [30] Riigikogu, „Riigi teataja,“ 01 07 2009. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/112072014146>.
- [31] „www.baltic.toyota-forklifts.eu,“ Toyota Material Handling Europe, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.baltic.toyota-forklifts.eu/et/miks-toyota/kes-me-oleme/toyota-material-handling-baltic-eesti-filiaal/>. [Kasutatud 19. November 2020].
- [32] M.-L. Laherand, *Kvalitatiivne uurimisviis*, Tallinn: OÜ Infotrükk, 2008.
- [33] L. Õunapuu, *Kvalitatiivne ja kvantitatiivne uurimisviis sotsiaalteaduses*, Tartu: Tartu Ülikool, 2014.
- [34] P. Cicconia, R. Raffaeli, L. Postacchini, A. Monteriù, E. Pallotta, „Analysis of LGV Usage for the Improvement of a Customized Production,“ *Procedia Manufacturing*, kd. 51, p. 1606–1613, 2020.
- [35] „www.agvnetwork.com,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.agvnetwork.com/what-is-a-laser-guided-vehicle-lgv>. [Kasutatud 8. märts 2021].
- [36] „<https://e-kaubanduseliit.ee/>,“ Eesti E-kaubanduse Liit, 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://e-kaubanduseliit.ee/e-kaubanduse-kaive-2020/>. [Kasutatud 28. Jaanuar 2021].
- [37] F. Gul, S. S. Nazli Alhady, W. Rahiman, „A review of controller approach for autonomous guided vehicle systems,“ *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, kd. 20, nr 1, pp. 552-562, 2020.
- [38] E. J. Ward, H. T. Dimitriou, M. Dean, *Theory and Background of Multi-Criteria Analysis*, London: OMEGA Centre, Bartlett School of Planning, University College London,, 2016.
- [39] R. Ramanathan, „The Moderating Roles of Risk and Efficiency on the Relationship Between Logistics Performance and Customer Loyalty in E-commerce.,“

Transportation Research Part E: Logistics Transportation Review, kd. 46, nr 6,
pp. 950-962, 2010.

LISAD

Lisa 1. LGV virnastaja Toyota SAE160 tehniline spetsifikatsioon

Specifications				SAE160 (Duplex Tele)	SAE160 (Triplex Hi-Lo)	
Identification	1.1	Manufacturer		Toyota		
	1.2	Model		SAE160		
	1.3	Drive		Electric		
	1.4	Operator type		Automatic/Pedestrian		
	1.5	Load capacity/rated load	Q	kg	1600	
	1.6	Load centre	c	mm	600	
	1.8	Load distance, centre of support arm wheel to face of forks	x	mm	See battery and options dependent table	
	1.9	Wheelbase	y	mm	See battery and options dependent table	
Weight	2.1	Service weight incl battery		kg	1513	1723
	2.2	Axle load, with load: Drive/Castor/Support arm wheel		kg	353/739/2033	353/849/2133
	2.3	Axle load, without load: Drive/Castor/Support arm wheel		kg	361/680/472	361/790/572
Wheels	3.1	Drive/Castor/Support arm wheel			Friction/Vulkollan®/Vulkollan®	
	3.2	Wheel size, front		mm	Ø 230x70	
	3.3	Wheel size, rear		mm	Ø 85x95	
	3.4	Additional wheels (dimensions)		mm	Ø 125x50	
	3.5	Wheels, number front/rear (x = driven wheels)			1x+2/2	
	3.6	Track width, front	b ₁₀	mm	585	
	3.7	Track width, rear (width over forks 520/570)	b ₁₁	mm	339/390	-/390
Dimensions	4.2	Height, mast lowered	h ₁	mm	1736	2162
	4.4	Lift	h ₃	mm	2260	4613
		Lift height	h ₂₃	mm	2350 ³⁾	4700 ³⁾
	4.5	Height, mast extended	h ₄	mm	3002	5316
	4.9	Height of tiller in drive position, min./max.	h ₁₄	mm	1150/1485	
		Height with scanner	h ₂₀	mm	2381/2969	
		Height scanner eye	h ₂₁	mm	2362/2950	
	4.15	Height, fork lowered	h ₁₃	mm	87,5	
	4.19	Overall length	l ₁	mm	See battery and options dependent table	
		Overall length, fork tip stopping device	l ₁	mm		
	4.20	Length to face of forks	l ₂	mm	See battery and options dependent table	
	4.21	Overall width	b ₁	mm	930	
	4.22	Fork dimensions	s/e/l	mm	70/180/1200	
	4.25	Width over forks	b ₅	mm	520/570	-/570
	4.26	Distance between support arms	b ₄	mm	212/226	-/226
4.31	Ground clearance, with load, below mast	m ₁	mm	17		
4.32	Ground clearance, centre of wheelbase	m ₂	mm	24,5		
4.35	Turning radius	W ₉	mm	See battery and options dependent table		
Performance data	5.1	Travel speed, drive wheel/fork direction, manual mode with platform		km/h	6,0/6,0	
		Travel speed, drive wheel/fork direction, manual mode		km/h	2,0/4,0	
	5.1.1	Travel speed, drive wheel/fork direction, automatic mode		km/h	8,0/1,1 ²⁾	
	5.2	Lift speed, with/without load		m/s	0,17/ 0,34	
	5.3	Lowering speed, with/without load		m/s	0,46/0,41	
	5.8	Max. gradeability, with/without load ¹⁾		%	6/10	
5.10	Service brake			Electromagnetic		
Electric motor	6.1	Drive motor rating S2 60 min		kW	1.8	
	6.2	Lift motor rating at S3 10%		kW	3	
	6.4	Battery voltage/nominal capacity K ₅		V/Ah	24/500	
	6.5	Battery weight		kg	345-403	
Other	8.1	Type of drive control			Variable AC	
	8.4	Sound level at the driver's ear according to EN 12 053		dB (A)	<70	
		Safety of laser products			Class 1 (EC 60825-1)	
	Height from floor to upside battery rollers		mm	140		

n) = New value / text since previous version of the data sheet

1) Measured according to company standard. 2) 4,3 km/h with optional safety scanner in fork direction. 3) Max height of load station in automode is h₂₃ - 200mm

Lisa 2. LGV lükandmasti vurnastaja Toyota RAE160 tehniline spetsifikatsioon

Autopilot reach truck

Truck specifications					RRE160	RRE200	RRE250
Identification	1.1	Manufacturer			Toyota	Toyota	Toyota
	1.2	Model			RRE160	RRE200	RRE250
	1.3	Drive			Electric	Electric	Electric
	1.4	Operator type			Seated	Seated	Seated
	1.5	Load capacity/rated load	Q	kg	1600	2000	2500
	1.6	Load centre	c	mm	600	600	600
	1.8	Load distance, centre of support arm wheel to face of forks	x	mm	See battery compartment table		
	1.9	Wheelbase	y	mm	1295	1515	1575
	Weight	2.1	Service weight including battery		kg	TBA	TBA
2.3		Axle load, mast retracted without load, drive/support arm wheel		kg	TBA	TBA	TBA
2.4		Axle load, mast extended with load, drive/support arm wheel		kg	TBA	TBA	TBA
2.5		Axle load, mast retracted with load, drive/support arm wheel		kg	TBA	TBA	TBA
Wheels		3.1	Drive/support arm wheel			Vulkollan®	Vulkollan®
	3.2	Wheel size, front		mm	Ø 350	Ø 400	Ø 400
	3.3	Wheel size, rear		mm	Ø 300	Ø 350	Ø 350
Dimensions	4.1	Tilt of fork, forward/backward	α/β	deg	4°/-2° ¹⁾	4°/-2° ¹⁾	4°/-2° ¹⁾
	4.2	Height, mast lowered	h_1	mm	See mast dimensions table		
	4.3	Free lift	h_2	mm	See mast dimensions table		
	4.4	Lift height	h_{23}	mm	See mast dimensions table		
		Height, mast extended	h_4	mm	See mast dimensions table		
	4.5	Height with navigation scanner	h_{20}	mm	3032 ¹⁾	3032 ¹⁾	3032 ¹⁾
		Height eye navigation scanner	h_{21}	mm	3000 ¹⁾	3000 ¹⁾	3000 ¹⁾
	4.7	Height of overhead guard (cab)	h_5	mm	2198	2260	2260
	4.15	Height of lowered forks	h_{13}	mm	40 ¹⁾	40 ¹⁾	45 ¹⁾
	4.20	Length to face of forks	l_2	mm	See battery compartment table		
	4.21	Overall width	b_1	mm	1270/1470/1670 ¹⁾	1270/1470/1670 ¹⁾	1270/1470/1670 ¹⁾
	4.31	Distance between support arms	b_4	mm	900/1100/1300	900/1100/1300	900/1100/1300
		Ground clearance, with load, below mast	m_1	mm	68	68	88
4.32	Ground clearance, centre of wheelbase	m_2	mm	74 ²⁾	77 ²⁾	77 ²⁾	
Performance data	5.1a	Travel speed, automatic mode		km/h	5,4	5,4	5,4
	5.1b	Travel speed, manual mode		km/h	5,4	5,4	5,4
	5.2	Lift speed, with/without load		m/s	0,35/0,70	0,35/0,70	0,35/0,70
	5.3	Lowering speed, with/without load		m/s	0,55/0,55	0,55/0,55	0,55/0,55
	5.10	Service brake			Electric	Electric	Electric
Electric motor	6.1	Drive motor rating S2 60 min		kW	7,5	9,0	9,0
	6.2	Lift motor rating S3 15%		kW	11,0	15,0	15,0
	6.4	Battery voltage, nominal capacity K_5		V/Ah	48 / See battery compartment table		
	6.5	Battery weight		kg	552	719	903
	6.6	Energy consumption acc to VDI cycle ³⁾		kWh/h			
	Other	8.1	Type of drive control			Variable AC	Variable AC

1) Excl. side sensors.

2) Excl. optional foot protection.

3) Contact your supplier for more information.

*) Other alternatives are available.

All data are based on table configuration. Other configurations may give other values.

Truck performance and dimensions are nominal and subject to tolerances.

BT products and specifications are subject to change without notice.

Battery dependent dimensions

Dimensions				RRE160			RRE200			RRE250		
Reflex	1.8	Depth	x	mm	275	347	419	347	419	491	419	491
	4.20	Load distance, centre of support arm wheel to face of forks	x	mm	347	275	203	352	280	208	335	263
	4.20	Length to face of forks, integrated safety scanner	l_2	mm	1250	1322	1394	1425	1497	1596	1502	1574
	4.20	Length to face of forks, external safety scanner	l_2	mm	1400	1472	1544	1575	1647	1719	1652	1724
6.4	Battery voltage, nominal capacity K_c		V/Ah	465	620	775	620	775	930	775	930	

Mast dimensions, mm

Mast				Triplex Hilo mast										
	Lift height	h_{23}	mm	4800	5400	5700	6300	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
	Lift	h_4	mm	4760	5360	5660	6260	6960	7460	7960	8460	8960	9460	9960
RRE160	Height, mast lowered	h_1	mm	2281	2481	2500	2781	3074	3241	3408	3574	3741	3908	4300
	Free lift	h_2	mm	1291	1491	1449	1791	2023	2190	2357	2523	2690	2857	3942
	Height, mast extended	h_4	mm	5391	5981	6350	6891	7650	8150	8650	9150	9650	10150	10650
RRE200	Height, mast lowered	h_1	mm	2281	2481	—	2781	3014	—	3348	3514	3681	3848	4014
	Free lift	h_2	mm	1291	1491	—	1791	2025	—	2357	2525	2691	2857	3025
	Height, mast extended	h_4	mm	5391	5981	—	6891	7591	—	8591	9091	9591	10091	10591
RRE250	Height, mast lowered	h_1	mm	2281	2481	—	2781	3014	—	3348	3514	3681	3848	4014
	Free lift	h_2	mm	1291	1491	—	1791	2025	—	2357	2525	2691	2857	3025
	Height, mast extended	h_4	mm	5391	5981	—	6891	7591	—	8591	9091	9591	10091	10591

