



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

# ELEKTRITÕSTUKI JUHTIMISSÜSTEEM JA KASUTAJALIIDES

CONTROL SYSTEM AND USER INTERFACE OF AN ELECTRIC LIFT

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Hardo Viigipuu

Üliõpilaskood: 123646

Juhendaja: assistent Leo Teder

Tallinn, 2019

## 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.

“.....” ..... 201.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetööle esitatud nõuetele

“.....” ..... 201.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

# LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

*Autor:* Hardo Viigipuu

*Lõputöö liik:* Bakalaureusetöö

*Töö pealkiri:* Elektritõstuki juhtimissüsteem ja kasutajaliides

*Kuupäev:* 21.05.2019

48 lk

*Ülikool:* Tallinna Tehnikaülikool

*Teaduskond:* Inseneriteaduskond

*Instituut:* Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

*Töö juhendaja(d):* assistent Leo Teder

*Töö konsultant (konsultandid):* Aivo Lill

## *Sisu kirjeldus:*

Töö eesmärgiks oli arendada elektrilise kahveltõstuki jõuelektronika-alast juhtimissüsteemi, leida lahendus tõstuki kaugjuhtimiseks, projekteerida tõstuki kahvli liigutamise hüdrauliline süsteem ja koostada tõstuki elektriskeem. Tõstukit liigutavate mootorite juhtimiseks valiti sobiv mootorikontroller, mis võimaldab tõstukit liigutavaid mootoreid juhtida.. Tõstuki juhtimiseks leiti tööstuslik komplektne ja modulaarne kaugjuhtimissüsteemi lahendus. Anti lahendus tõstekahvli hüdraulilisele süsteemile ning arvutati tõstesilindri ja vajamineva hüdraulilise pumba parameetrid. Koostati tõstuki elektrilisi süsteeme koondav koondskeem ja määrati käsiraamatu abil olulisemate toitekaablite ristlõiked ning vajaminevate sulavkaitsmete väärtused.

*Märksõnad:* kahveltõstuk, tõstuk, mootorikontroller, kaugjuhtimine, pult, hüdraulikasüsteem.

## ABSTRACT

*Author:* Hardo Viigipuu

*Type of the work:* Bachelor Thesis

*Title:* Control system and user interface of an electric lift

*Date:* 21.05.2019

48 pages

*University:* Tallinn University of Technology

*School:* School of Engineering

*Department:* Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

*Supervisor(s) of the thesis:* Teaching Assistant Leo Teder

*Consultant(s):* Aivo Lill

*Abstract:*

The aim of this thesis was to develop driving system of an electric forklift, find a solution to control the forklift remotely, solve hydraulic system which raises and lowers the fork and calculate suitable hydraulic cylinder and hydraulic pump parameters, to design wiring scheme of the forklift. A suitable motor controller was chosen to drive forklifts motors. To control the forklift, an industrial modular remote control system was found. A solution was provided to hydraulic system of the forklift and necessary cylinder and hydraulic pump parameters were calculated. A wiring scheme was designed which incorporates electric components of the forklift and suitable power cable cross section areas and fuse ratings were determined.

*Keywords:* forklift, lift, motor controller, remote control, hydraulic system

# LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Hardo Viigipuu, 123646  
**Õppekava, peeriala:** MAHB13, Mehhatroonika  
**Juhendaja(d):** assistent Leo Teder, tel 620 3305  
**Konsultandid:** Aivo Lill, tel 55617627

## Lõputöö teema:

(eesti keeles) Elektritõstuki juhtimissüsteem ja kasutajaliides  
(inglise keeles) Control system and user interface of an electric lift

## Lõputöö põhieesmärgid:

1. Lahendada elektritõstuki mootorite juhtimine ja tõstuki pööramine
2. Leida lahendus tõstuki ja tõstekahvli juhtmevabaks juhtimiseks
3. Koostada tõstuki elektriskeem

## Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Mootorite juhtkontrollerite valimine	11.03.2019
2.	Juhtpuldi ja juhtmevaba kasutajaliidese valimine	11.03.2019
3.	Tõstekahvli hüdraulilise silindri dimensioneerimine ja selle juhtimine	11.03.2019
4.	Elektriskeemi koostamine tõstukile	08.04.2019

**Töö keel:** eesti

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** 06.mai 2019

**Üliõpilane:** Hardo Viigipuu /allkirjastatud digitaalselt/

**Juhendaja:** Leo Teder /allkirjastatud digitaalselt/

**Konsultant:** Aivo Lill /allkirjastatud digitaalselt/

## SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE.....	3
ABSTRACT .....	4
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE .....	5
EESSÕNA.....	8
SISSEJUHATUS .....	9
1. TURUANALÜÜS.....	10
1.1 Levinumad lahendused .....	10
1.2 Käesoleva tõstuki lahendus.....	11
1.3 Sarnased turul pakutavad lahendused .....	13
1.3.1 Combilift C2500 .....	13
1.3.2 Manitou TMM 20 .....	14
1.4 Järeldused .....	14
2. MOOTORI KONTROLLER .....	15
2.1 Kontrolleri valik.....	15
2.1.1 Nõuded kontrollerile .....	15
2.1.2 Nõuetele vastavad kontrollerid.....	15
3. KAUGJUHTIMINE .....	18
3.1 Juhtimissüsteemi valik .....	18
3.1.1 Nõuded juhtimissüsteemile.....	18
3.1.2 Nõuetele vastavad lahendused .....	19
4. KAHVLI TÕSTMINE JA LANGETAMINE .....	22
4.1 Hüdrosüsteemi tüüp ja ülesehitus.....	22
4.1.1 Hüdrosilindri dimensioneerimine .....	24
4.1.2 Hüdropumba dimensioneerimine.....	27
5. ELEKTRISKEEM .....	30

5.1. Sulavkaitsmed .....	31
5.2. Kaablid.....	33
KOKKUVÕTE .....	36
SUMMARY .....	38
KASUTATUD KIRJANDUS .....	39
LISAD .....	41
Lisa 1 Elektrilise tõstuki joonis .....	42
Lisa 2 Curtis Instruments 1232E mootorikontrolleri andmeleht .....	43
GRAAFILINE OSA	
Tõstuki elektriskeem	

## EESSÕNA

Käesoleva lõputöö idee autor on Aivo Lill, kes elektritõstuki juhtsüsteemi projekteerimisel TTÜ-st abi otsis. Mina puutusin esmalt antud teemaga kokku instituudi poolt välja pakutud lõputööteemade nimekirja uurides ning see köitis mu tähelepanu. Soovin tänada Mart Tamret, kes mind Aivo Lillega kokku viis ja läbi kelle ma sellist põnevat ülesannet lahendada sain. Loomulikult ka suured tänud juhendajale Leo Tederile, kes antud töö koostamisel suureks abiks oli.



## SISSEJUHATUS

Tänapäeva globaliseeruv maailmas on kaupade ja materjalide transport järjest aktuaalsem. See nõuab aga kiiret ja efektiivset kaupade liigutamise meetodit. Kaupade lihtsamaks transportimiseks kasutatakse standartseid kaubaaluseid, millest meie piirkonnas on levinud EPAL või EUR tähistusega kaubaalused, mida igapäevaselt „euroalusena“ tuntakse. Nende kaubaaluste liigutamiseks kasutatakse erinevaid meetodeid ja masinaid. Käesolevas töös keskendume ühele neist - kahveltõstukitele.

Kahveltõstukid on oma olemuselt ja funktsionaalsuselt üldjoontes väga sarnased. Peale tõstekõrguse ja maksimaalse tõstetava aluse massi on tähtis ka tõstukit liikuma panev mootor. Sisepõlemismootorid on näiteks siseladudesse ja erinõuetega hoonetesse ebasobilikud, kuna need on mürrarikkad ja eritavad keskkonnale kahjulikke heitgaase. Seetõttu on tihtipeale mõistlik kasutada hoopis elektrilise ajamiga tõstukit.

Selle töö eesmärk on leida lahendused kolmerattalise kahveltõstuki elektrimootorite juhtimiseks, kahvli hüdrauliliseks tõstmiseks ja langetamiseks ning tõstuki kaugjuhtimiseks.

Käesoleval tõstukil on kolm rattast, millest kaks on varustatud elektrimootoritega ning kolmas ratas, mis on vabalt keerav tugiratas. Elektrimootoritega rattad veavad tõstukit edasi ning pööravad seda. Elektritõstuki toide tuleb 24 V pliikudelt. Tõstuki liigutamiseks ja keeramiseks kasutatakse kahte kolmefaasilist 2 kW lühisrootoriga asünkroonmootorit. Kahvli tõstmine toimub hüdrauliliselt silindri abil. Tõstuki juhtimissüsteem peab olema laiendatav raadiopuldiga kaugjuhtimisele. Tõstuki täismass koos lastiga on kuni 2500 kg.

Käesolev töö on jaotatud järgnevateks osadeks:

1. Turu ülevaade ja olemasolevate lahenduste tutvustamine
2. Sobivate mootorikontrollerite leidmine tõstuki mootorite juhtimiseks
3. Juhtmevaba tõstuki kaugjuhtimissüsteemi lahendamine
4. Tõstuki tõstekahvli hüdraulilise lahenduse leidmine ja vajaliku tõstesilindri ning pumba dimensioneerimine
5. Tõstuki elektriskeemi koostamine ja sulavkaitsmete ning jõukaablite ristõigete leidmine

# 1. TURUANALÜÜS

## 1.1 Levinumad lahendused

Turul on saada erinevaid elektrilise ajamiga kahveltõstukeid. Paljud neist on tavapärase tegumoega, ehk kolme- või nejarattalised sõidukid millel tagumine ratas või kaks tagumist ratast pööravad. Tõstekahvel asub sellistel tõstukitel eespool esirattaid. Sellist tüüpi tõstukitel on peal ka juhtkabiin. Tõstuk vajab tagaosasse ka suure massiga vastukaalu, et vältida tõstuki ümberminekut tõstetava lasti suunas. Liikumapanev jõud tuleb reeglina elektrimootoritest või sisepõlemismootorist.



Joonis 1.1 Konventsionaalne kahveltõstuk[2]

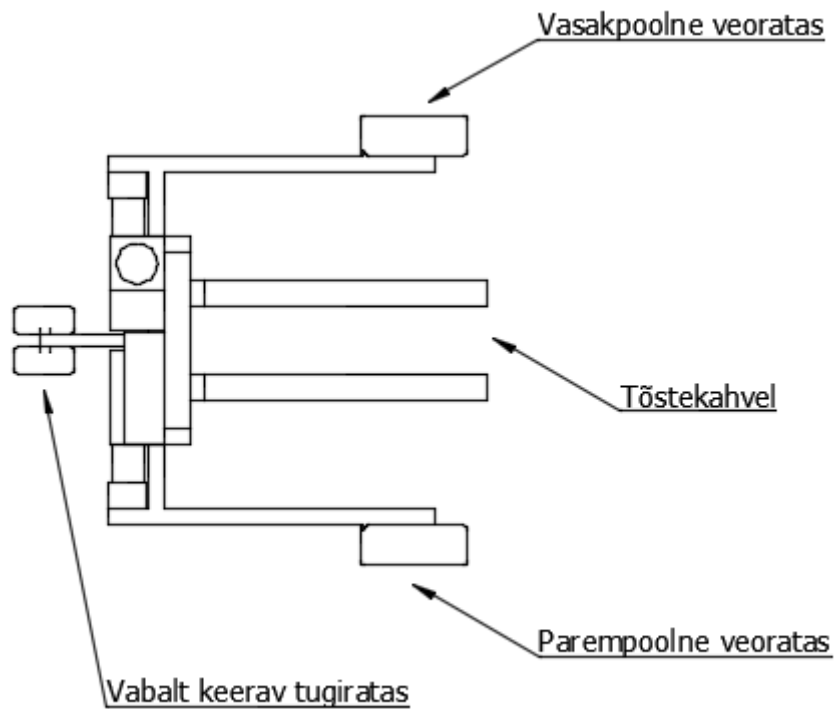
Samuti levinud tüüp on kahvelkärust välja arenenud elektrilised tõstukid. Kuna sellistel tõstukitel on tugirattad mõlemas kahvlis ja pööravad turgirattad asetsevad kahvli taga siis vähendab see tõstuki üldpikkust ja suurendab oluliselt ka pöörderaadiust, mis on tähtis kitsastes oludes. Sellistest kahvelkärudest leidub ka elektrimootoritega varustatud eksemplare, mida veavad ja pööravad tagaumised rattad.



Joonis 1.2 Elektriline kahvelkäru[3]

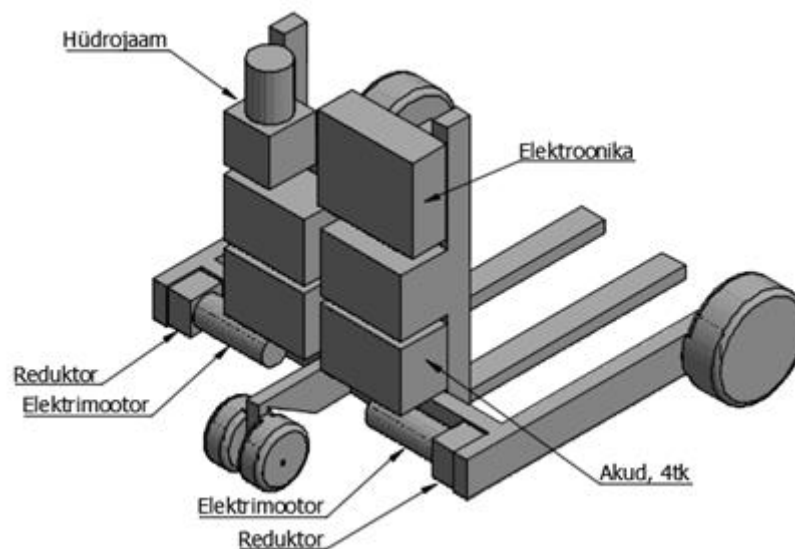
## 1.2 Käesoleva tõstuki lahendus

Käesolevas lõputöös lahendatav tõstuki üldlahendus on erinev eelpool toodud tõstukitest. Tõstuki eesosas asuvad külgmised veorattad ja tagumine vabalt keetav tugiratas on tagaosa keskel. Antud lahenduse puhul asub tõstekahvel ja kahvliga tõstetava lasti massikese nende kolme ratta vahele jäävas ruumis, mistõttu ei ole tarvis rasket vastukaalu, nagu tüüpilisel kahveltõstukil (Joonis 1.1). Töös käsitletava tõstuki liikumissuunda on ette nähtud muuta külgmiste rataste pöörlemiskiiruste muutmise teel. Tagumine ratas on tugiratas ja vabalt liikuv. Seesuguse lahenduse puhul ei pea juhtratta või –rataste õigesse suunda keeramiseks eraldi mootorit või mehhanismi kasutama. Säärane lahendus alandab vajaminevate mootorite ja kontrollite kogust ning seeläbi muudab tõstuki töökindlamaks ja odavamaks. Kitsastes oludes tuleb ka kasuks asjaolu, et tõstuk saab pidurdada ühe ratta ja teise poole ratta liigutamise teel pöörata sisuliselt ühe koha peal. Tõstuk on ette nähtud olema kaugjuhitav. Tõstejõud kuni 2000 kg. Tõstuki joonis on toodud antud töö lisa 1.



Joonis 1.3 Kahveltõstuki pealtvaade[1]

Tõstuki käitavad seadmed on paigutatud tõstuki tõstekahvi taha. Sinna paigutatakse akud, elektroonikaosa ja hüdrojaam. Tõstekahvi taga, tõstuki allosas asuvad külgmisi rattaid käitavad mootorid ja nende külge ühenduvad reduktorid. Reduktorite ja külgmiste rataste vaheline ülekande on ette nähtud lahendada kettülekandega, mis hakkab paiknema raamitalade sees.



Joonis 1.4 Tõstuki seadmete paigutus[1]

## 1.3 Sarnased turul pakutavad lahendused

### 1.3.1 Combilift C2500

C2500 on antud töös arendatava tõstukiga oma põhikomponentide paigutuselt väga sarnane. Ka see tõstuk on kolmerattaline ja tõstekahvliga, mis asub nende rataste vahelises alas. Kahvel suudab tõsta kuni 2500 kg massiga lasti[4]. Tõstuk on mõeldud ka pikkade objektide tõstmiseks. Suureks erinevuseks on juhtimine tõstukilt ja juhikabiini olemasolu, mis annab juhile töö ajal vaid ühe vaatepunkti ja ei lase lasti operatiivselt jälgida.

Tõstukit liigutatakse hüdrostaatiliste mootorite abil, mis on kõigis kolmes rattas. Tõstukil on võimalik sõita mitmes suunas, kuna kõik rattad on keeratavad vastavalt vajadusele. Säärane lahendus võimaldab sõita tõstukil näiteks ka külge ees, mis parendab liikumist kitsastes oludes veelgi. Teisalt lisab seesugune süsteem keerukust ning seeläbi tõstab ka tõstuki maksumust, mistõttu olukordades kus antud tüüpi lahendust pole vaja, on see ülearune.

Combilift C2500-le on väga sarnase lahendusega ka turul konkureeriv Hubtex DS27 kahveltõstuk.



Joonis 1.5 Combilift C2500 kahveltõstuk[4]

### 1.3.2 Manitou TMM 20

Manitou kahveltõstuk on oma omadustelt üldjoontes sarnane Combilifti tõstukiga. Suurimateks erinevusteks on neljasilindrilise diiselmootori kasutamine tõstuki liigutamiseks ja eesmiste rataste mittepööramine. Tõstetava lasti suurim mass võib olla kuni 2000kg. Tõstuki standardvarustuses on ka eesmiste rataste juures maha toetatavad tugijalad.[5]



Joonis 1.6 Manitou TMM 20 kahveltõstuk[5]

## 1.4 Järeldused

Turul täna veel kaugjuhitavad kahveltõstukid pole väga levinud. Töö lähteülesandes antud kolmerattalisele tõstukile on võimalik leida sarnase konstruktsioonitüübiga kahveltõstukeid, millel puudub kaugjuhtimise võimalus. Säärane kolmerattaline lahendus vähendab tõstuki pikkust võrreldes konventsionaalse kahveltõstukiga ning omab turul ka vastavat nišši. Sellise tõstukitüübi puuduseks on kindlasti asjaolu, et kaubaaluseid ei saa paigutada külj-külje kõrvale, vaid on vaja jätta piisav vahe, et tõstuki külgmised rattad kõrvutiasetsevate kaubaaluste vahele mahuksid. Turu ülevaadet koostades näib, et sellised tõstukid pole saavutanud väga suurt populaarsust ja on võimalik, et seetõttu ei pakuta neid täna ka kaugjuhitavana.

## 2. MOOTORI KONTROLLER

### 2.1 Kontrolleri valik

Elektritõstuki liikumapaneva osa tähtsaim sõlmpunkt on juhtmootorite kontrollerid. Nendest lähtuvalt on võimalik hiljem lahendada kaugjuhtimine ja koostada elektriskeem. Kuna kolmefaasilised asünkroonmootorid töötavad vahelduvvooluga on tarvis kasutada ka inverterit, et akudelt tulev alalisvool vahelduvvooluks muundada. Lisaks on vaja muuta vahelduvvoolu sagedust, et muuta mootori pöörlemiskiirust. Tänapäevased mootorikontrollerid ühendavad endas nii inverteri, sagedusmuunduri kui ka sageli programmeeritava loogikakontrolleri ning on konstrueeritud spetsiaalselt elektrimootorite juhtimiseks.

#### 2.1.1 Nõuded kontrollerile

Vastavalt lähteülesandele ja elektritõstuki eripäradele peab kontroller vastama minimaalselt järgnevatele nõuetele:

- Toitesisend kontrollerile 24 V pliiaakudelt.
- Kontroller peab toetama ühe või kahe kolmefaasilise 2kW lühisrootoriga asünkroonmootori juhtimist.
- Ühe mootori kontrolleril peab olema võimalus sünkroniseerida mootori kiirust vastavalt teisest samalaadsest kontrollerist tulevale signaalile, et tagada tõstuki liikumine otsesuunas.
- Kahe mootori kontrolleril peab olema võimalus juhtida mõlemat mootorit nii koos kui ka eraldi, et võimaldada tõstuki liikumine otsesuunas ning tõstuki keeramine.
- Kaitseaste vähemalt IP65

#### 2.1.2 Nõuetele vastavad kontrollerid

Nõuetele vastavaid kontrollereid leidsin kolmelt tootjalt: Cutris Instruments[6], Curtiss-Wright[7] ja SEVCON[8]. Nende tootjate kontrollerite väljaarendamisel on silmas peetud just elektrisõidukeid või -pumpasid. Kõik leitud mootorikontrollerid toetavad kontrolleri kohta ühte elektrimootorit.

Tabel 2.1 Mootorikontrollerite põhiparameetrid

Jrk nr.	Tootja	Mudel	Toitepinge	Lühiajaline väljundvool (60 s) / A	Lühiajaline väljundvool (120 s) / A	Pikaajaline väljundvool (1h) / A	Kaitseaste
1	Curtiss-Wright	Sigma Drive ACT225S	24 V	180	Pole teada	80	Pole teada
2	SEVCON	Gen4 Size 2	24 V	Pole teada	300	120	IP66
3	Curtis Instruments	1232E-212X	24 V	Pole teada	180	90	IP65

Kuna erinevate kontrollerite voolutugevused mootoriväljundis on erinevad, arvutame tõstuki mootorite nominaalse voolutarbe.

$$N=U \cdot I \Rightarrow I=N/U$$

$$N=2 \text{ kW}=2000 \text{ W}$$

$$U=24 \text{ V}$$

$$2000/24=83,33\text{A}$$

Nagu näha, on ühe mootori poolt nominaalne tarbitav elektrivool veidi suurem, kui Curtiss-Wright Sigma Drive pikaajaline elektrivoolu tugevus, mida see mootoriväljundisse on võimeline andma. See tähendab, et kontroller töötab oma võimete piiiril ja ei suudaks pikaajaliselt antud mootorit täisvõimsusel käitada. Teisalt ei selgu tootjapoolsetest materjalidest ka kontrolleri kaitseaste. Nende asjaolude tõttu välistan Sigma Drive mootorikontrollerite kasutamise elektritõstukil.

Curtis Instrumentsi ja SEVCON kontrollerid on üksteisega oma tehnilistelt omadustelt üpris sarnased. Digitaal- ja analoogsisendite ja –väljundite kogus on peaaegu sama, samuti ühenduvad mõlemad seadmed CANbus võrku. Curtis Instrumentsi puhul on väljapaistvad omadused isehäälestumise funktsioon ja juurdelisatav sisendite-väljundite laiendusmoodul. Lisaks vastab see EN ISO 13849-1 ja EN 1175-1:1998 + A1:2010 ohutusnõuetele. SEVCON kontrolleri puhul on võimalik suurim voolutugevus mootoriväljundis suurem. Lisaks toetab Gen4 seade nii UVW ja sin/cos absoluutkoodereid kui ka AB inkrementaalkoodereid, kui Curtis Instrumentsi kontroller toetab ainult AB inkrementaalkooderit. Tulenevalt ohutusstandarditele vastavusele ja laiendatavusele otsustan kasutada elektritõstuki juures Curtis Instruments 1232E-212X seadmeid. Curtis Instruments 1232E-212X andmeleht on ära toodud antud töö lisa 2.





Joonis 2.1 Mootorikontroller Curtis Instruments 1232E [6]

Antud mootorikontrollereid võetakse tõstuki kohta kasutussele kaks. Kontrollerid ühendatakse omavahel, et tagada CAN siini kaudu kaksikjuhtimine(Dual drive), mille abil on võimalik tõstuk sõitma panna töökindlalt nii otsesuunas kui võimaldada ka keeramine veorataste kiiruste eraldi reguleerimise teel. Kontrollerile on vajadusel võimalik lisada laiendusmoodul Curtis 1352, mis annab lisaks juurde veel 9 sisendit või väljundit. See on oluline tulevikuperspektiivi seisukohalt, kui peaks olema vaja lisada tõstukile veel muid komponente, mida kontroller haldama peab.

### 3. KAUGJUHTIMINE

Et omada paremat ülevaadet liigutatavast kaubast ja elektritõstukist ning opereerida tõhusamalt kitsastes oludes, on lähteülesandes elektritõstukile ette nähtud kasutada kaugjuhtimist. Niiviisi saab operaator olla ohutus kauguses, liikuda ümber tõstuki ning valida optimaalne paik tõstuki jälgmiseks ja juhtimiseks.

Valitud Curtis Instrumentsi mootorikontrolleri juhtimiseks on võimalik kasutada nii digitaal- kui ka analoogsisendeid, samuti CANopen liinilt antavate signaalidega. Digitaal- ja analoogsisenditesse signaalide andmine on üldjuhul lihtsalt lahendatav, kuid CANopen on palju paindlikum ja rohkemate võimalustega. CAN lahenduste puhul võib seevastu aga tekkida tõrkeid ühilduvusega ja seadistamisel. Siiski valin põhiliseks juhtimise ja infovahetuse meetodiks CAN-i.

#### 3.1 Juhtimissüsteemi valik

Kaugjuhtimissüsteemi lahendamisel soovin kasutada tööstuslikku kaugjuhtimise lahendust, mis on disainitud paljude võimalustega, on ohutu ja modulaarne. Kaugjuhtimissüsteemi ise välja arendamine vaid antud tõstuki tarvis on autori hinnangul ebaotstarbekas.

##### 3.1.1 Nõuded juhtimissüsteemile

Vastavalt tõstuki ja mootorikontrolleri eripäradele sõnastasin põhikriteeriumid, millele juhtpult ja selle raadiomoodul peavad vastama.

- Juhtpult peab olema ühendatud tõstuki kontrolleritega läbi raadiovõrgu.
- Juhtimissüsteemi raadiomoodulil peavad olema eraldi analoog- ja digitaalsisendid ning väljundid või peab raadiomoodul toetama CANopen protokollid.
- Juhtpult peab olema modulaarne ehk puldi juhtkangide, nuppude ja märgulampide jm komponentide paigutus ning konfiguratsioon peab olema tootmisel kohendatav vastavalt elektritõstuki juhtimiseks.
- Saatja-vastuvõtja toide peab olema alalisvool ja toitepinge kuni 24 V
- Puldi ja raadiomooduli kaitseaste peab olema vähemalt IP65.

Tõstuki juhtpult peab võimaldama juhtimist ja ka juhi informeerimist. Selleks on tarvis minimaalselt:

- (Võtme)lülitid tõstuki käivitamiseks ja seiskamiseks distantsilt
- Juhtkange tõstuki sujuvaks edasi- ja tagasipidi liigutamiseks ning pööramiseks

- Lüliteid või soovituslikult kangi tõstekaavli tõstmiseks ja langetamiseks
- „Surnud mehe lüliti“ ehk ohutuslüliti, mida peab kasutaja all hoidma, kui ta soovib juhtimiskäsklusi tõstukile anda
- Märkulampe või soovituslikult ekraani, mis annab kasutajale tagasisidet näiteks akude laetuse, mootorite mähiste temperatuuri, hüdraulikaõli temperatuuri, raadiolevi tugevuse jt oluliste tõstuki parameetrite kohta.

### 3.1.2 Nõuetele vastavad lahendused

Vastavalt seatud nõuetele leidsin kolme tootja juhtpuldisüsteemid. Sobivateks osutusi Remdevice Pail[9] seeria, Hetronic Nova-M[10] seeria ja Autec Dynamic[11] seeria juhtpuldid.

Järgnevalt toon välja erinevate juhtpultide väljapaistvad omadused:

Remdevice Pail:

- Puldi juhtmevaba induksioonlaadimise võimalus.
- Pulti on võimalik ühe laadimisega kasutada kuni 35 tundi (temperatuuril 20°C)
- Juhtseade on arendatud välja EN ISO 13849-1 ohutusnõuetest lähtuvalt.
- Juhtpult on EN 300220-1 sertifitseeritud.
- Tööraadius kuni 30m.

Hetronic Nova-M seeria:

- Tööraadius kuni 100m.
- Kuni 20 tundi järjestikust tööd ühe laadimisega.

Autec Dynamic seeria:

- Juhtpuldid ja vastuvõtjad on sertifitseeritud ja vastavad EN ISO 13849-1 ohutusnõuetele.
- Juhtpulte on võimalik tellida ka monokromaatiliste LED ekraaniga.
- Võimalus tellida pulti erinevat tüüpi juhtkomponentidega: juhtkang, potentsiomeeter, pöördlüliti, väljatõmmatav mitmepositsiooniline lüliti jm
- Juhtpult ja raadiomoodul kasutavad sagedushüpet, et tagada side ka juhul, kui mõni kanal peaks olema mõne muu seadme poolt hõivatud.

Kuna pidasin mootorikontrolleri valimisel oluliseks ohutusstandarditele vastavust, teen seda ka siin, sest ka juhtpult on väga oluline süsteem elektritõstuki juhtsüsteemis. Seetõttu tuleb välistada Hetronicu Nova-M kaugjuhtimissüsteemi, sest tootjapoolsetest materjalidest ei selgu kas see vastab ohutuslasele standarditele või muudele nõuetele.

Remdevice ja Autec poolt pakutavad süsteemid on pealtnäha küllaltki sarnased. Valituks osutus siiski Autec, sest juhtpult on oma laiade kohandamisvõimaluste ja ekraani lisamise võimalusega pikemas perspektiivis kasulikum, sest lubab elektritõstuki edasisel arendamisel kasutajaliidest operaatorile maksimaalselt intuitiivseks ja informatiivseks kohandada. Auteci tugevus on lisaks nii CANopen siini kui ka analoog- ning digitaalsisendite ja -väljundite olemasolu.

Kuna antud tõstuki puhul on sisendeid-väljundeid vaja vähe, rahuldab vajadused Autec CRS raadiomoodul ja Autec Compact FJC juhtpult.



Joonis 3.1 Autec CRS raadiomoodul[12]



Joonis 3.2 Autec Compact FJC juhtpult[13]

FJC juhtpuldi eeliseks on ka aasad, kuhu saab kinnitada kaelarihma, mis võimaldab juhtpuldi operaatorile kaela riputada. See muudab puldi kasutamist ergonomilisemaks ja väsitab operaatorit pika tööaja jooksul vähem kui ainult kätega hoitav pult. Lisaks on võimalik puldist vajadusel lahti lasta, et muid olulisi tegevusi läbi viia.

## 4. KAHVLI TÕSTMINE JA LANGETAMINE

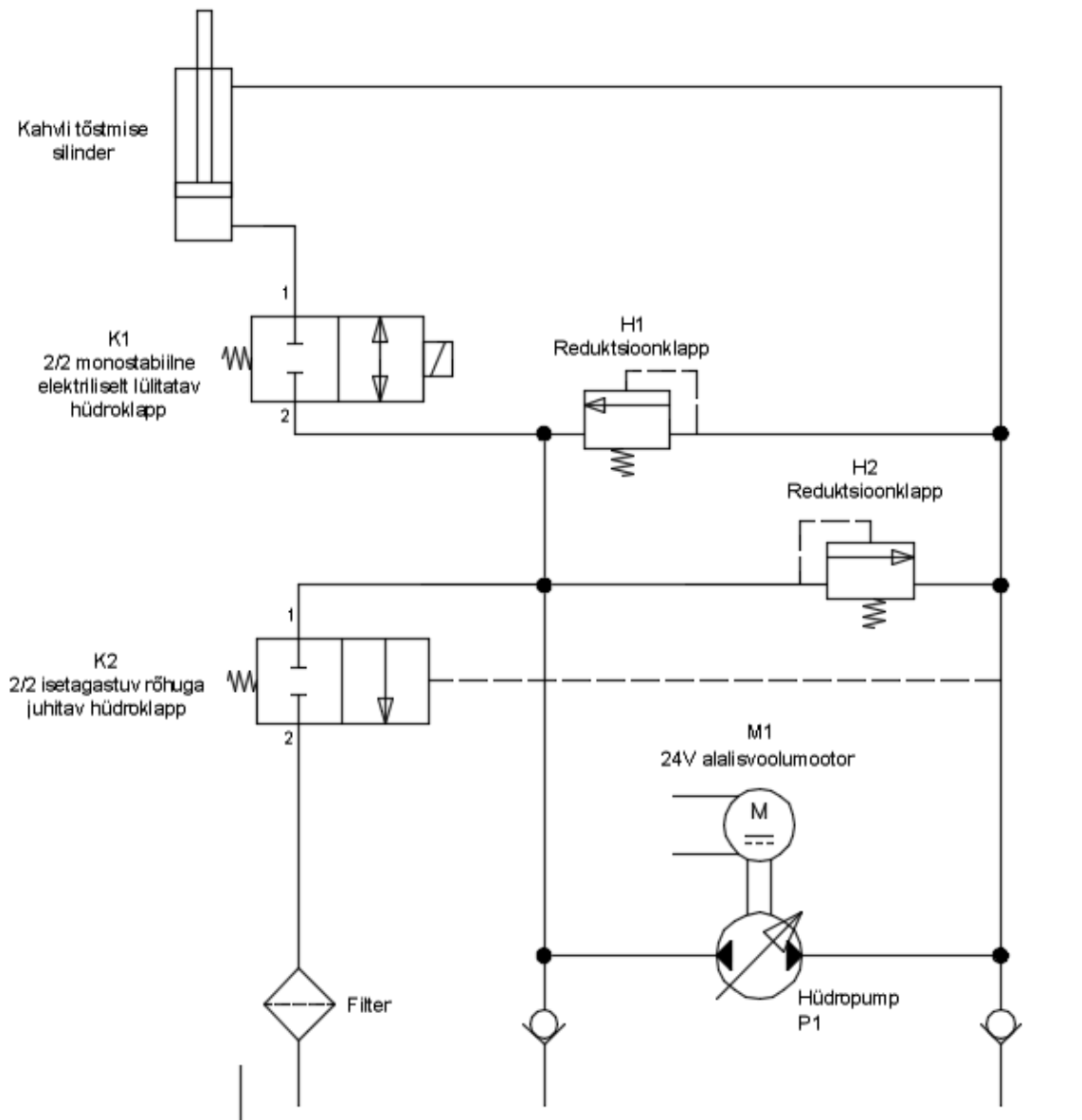
### 4.1 Hüdrosüsteemi tüüp ja ülesehitus

Vastavalt lähteülesandes nõutule lahendan kahvli tõstmise ning langetamine hüdraulilise silindri abil. Tõstmine toimub vertikaalsuunas, käigupikkusega  $l = 350 \pm 50$  mm ja silindri liikumiskiirusega  $v = 50 \pm 10$  mm/s.

Tõstetav mass on kuni  $m=2000$  kg. Tõstetavaks objektiks on ette nähtud kaubaalused, millel on tänavakivid.

Esmalt koostame hüdraulikasüsteemi skeemi. Lahendan selle hüdrosüsteemi poolavatud süsteemina[14], mille eeliseks on asjaolu, et hüdrosilindri liigutamiseks lülitatakse sisse hüdromootor ja silindri liikumissuuna muutmiseks muudetakse lihtsalt pumba pöörlemissuunda. See tähendab, et pump ja mootor töötavad ainult silindri liigutamise ajal ja seeläbi hoiavad elektrienergiat kokku. Lisan skeemile veel elektrilise 1/1 klapi, mis on normaalolekus suletud. See tagab, et hüdrosilinder ei tühjene õlist, kui kahvlil üles tõstetud last vedelikule survet avaldab. Ilma klapita võib vedeliku surve hakata pöörama labapumpa ja seeläbi silinder õlist pikkamööda tühjeneda ning kahvel alla vajuda.

Kahvli tõstmiseks valisin poolavatud süsteemi ülesehitusest tulenevalt kahepoolse diferentsiaalsilindri, et tagada pluss- ja miinusliikumise kiiruste kontrollitavus ja püsimine antud tolerantsis. Kuna kolvivarre tõttu on kolvi poolte pindalad ja ruumalad erinevad, erinevad ka pluss- ning miinusliikumise kiirused ja jõud. Kasutan silindrit vertikaalasendis ning ainult tõstmiseks, seega on jõudude vahetõttu väheoluline. Küll aga on oluline liikumiskiiruste erinevus, mis peab jääma antud tolerantsi sisse.



Joonis 4.1 Hüdraulilise süsteemi skeem, koostatud [14] baasil

Hüdraulikasüsteemi seletus. Normaalolekus pump P1 ei tööta, klapid K1 ja K2 on suletud asendis. Kahvli tõstmiseks lülitatakse sisse pump P1 ja pingestatakse klapp K1, nii et surve all olev vedelik suunatakse vasakpoolsesse harusse. Senikaua, kuni P1 töötab ja K1 on pingestatud, juhitakse vedelikku silindrisse, mis tõstab kahvli. Samal ajal surutakse kolvi poolt silindri ülemiselt poolelt välja vedelikku, mis suunatakse pumba imemispoolele. Kui silindri alumine pool on vedelikuga täitunud, hakkab rõhk süsteemis tõusma ja vastavalt seadistatud väärtusele rakendub reduktsioonklapp H2, mis juhib üleliigse vedeliku tagasi pumba imemispoolele. Kahvli langetamiseks pingestatakse klapp K1 ja lülitatakse sisse pump P1 selliselt, et pump pöörleks vastupidises suunas. See suunab vedeliku süsteemi parempoolsesse harusse ja sealt

tõstesilindrisse, kus vedelik hakkab täitma ülemist silindripoolt ja välja suruma alumisel poolel olevat vedelikku. Kuna silindri alumise poole ruumala on kolvivarre võrra suurem, ei pääse selle ruumala suurune vedeik süsteemist välja ja vedeliku rõhu suurenemisel parempoolses süsteemiharus avaneb klapp K2, mis juhib liigse vedeliku läbi filtri vedelikupaaki.

Süsteemis oleva reduktsiooniklapi H2 rakendumise rõhku muutes on võimalik piirata tõstekahvli poolt tõstetava lasti massi ja seeläbi kaitsta tõstukit ülekoormamise eest hooletul kasutamisel.

Hüdraulilise süsteemi arvutuste koostamisel on kasutatud eeskujuks Rein Sootsi „Hüdraulika ja hüdroseadmed. II osa.“ raamatus toodud hüdraulikasüsteemi projekteerimiste aluste peatükki (lk 33-56) ja seal toodud meetodikaid.

Enne muude arvutuste alustamist on oluline määrata süsteemi töö rõhk. Soovin kasutada hüdropumbana labapumpa, kuna sellel on kõrge kasutegur, mis võimaldab süsteemil olla energiaefektiivne. Teine oluline aspekt on vaikne töö, mis muudab tõstukiga töötamise mugavamaks ja ohutumaks. Lisaks on labapump ehituselt odav ja lihtne. Labapumba töö rõhk on 100...160 bar [15]. Valin töö rõhuks 160 bar.

Järgnevalt dimensioneerin süsteemi kaks põhikomponenti, milleks on hüdro silinder ja hüdropump.

#### 4.1.1 Hüdro silindri dimensioneerimine

Alustan vajamineva hüdro silindri kolvi pindala leidmisega, mis võimaldaks etteantud massi tõsta.

Kasutan selleks alljärgnevat valemit:

$$F = \Delta p \cdot A \cdot \eta, \text{ kus} \tag{5.2} [16]$$

$F$  – Silindri poolt arendatav jõud, N

$\Delta p$  – Silindripoolte rõhkude vahe, Pa

$A$  – Kolvi pindala, m<sup>2</sup>

$\eta$  – hüdro silindri kasutegur,  $\eta = 0,9$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ kus} \tag{5.3}$$

$\pi$  – Archimedese konstant,  $\pi = 3,14$

$d$  – Kolvi läbimõõt, m



Kuna tõstuk tõstab lasti vertikaalselt, pean arvesse võtma ka gravitatsiooni mõju.

$$F = mg \quad (5.4)$$

$g$  – Gravitatsioonikonstant,  $g = 9,8 \text{ N/kg}$

Avaldan kolvi läbimõõdu:

$$d = \sqrt{\frac{4mg}{\Delta p \cdot \eta \pi}} \quad (5.5)$$

Arvutan vajaliku kolvi läbimõõdu:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2000 \cdot 9,8}{160 \cdot 10^5 \cdot 0,9 \cdot 3,14}} = 0,042 \text{ m} = 42 \text{ mm}$$

Võtame standardi ISO 3320 järgi lähima järgmise läbimõõdu, milleks on 50 mm.

Avaldan tõstejõu ja arvutan selle tööõhul ning 50 mm silindri korral:

$$F = \Delta p \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \eta \quad (5.6)$$

$$F = 160 \cdot 10^5 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} \cdot 0,9 = 28260 \text{ N} \approx 28 \text{ kN}$$

Siinkohal on kasulik, et selline jõuvaru olemas on. Saame alandada rõhku vajaliku väärtuseni, mis võimaldab tõsta maksimaalselt 2000kg ja pump ei pea töötama maksimaalsel koormusel. Lisaks on olemas reserv süsteemi erinevate rõhukadude jt energiakadude kompenseerimiseks nagu tõstekahvli enda mass.

Leian hüdrosilindri kolvi suurima pluss- ja miinusliikumise erinevuse, kasutades lähteülesandes antud kolvi liikumiskiirust ja tolerantsi.

$$\varphi_{max} = \frac{v_{max}}{v_{min}} \quad (5.1)$$

$\varphi_{max}$  - suurim kolvipoolte pindalade erinevus, mis on võrdne kolvi liikumiskiiruste suhtega

$v_{max}$  – suurim lubatud kolvi liikumiskiirus,  $v_{max} = 50 + 10 = 60 \text{ mm/s}$

$v_{min}$  – vähim lubatud kolvi liikumiskiirus,  $v_{max} = 50 - 10 = 40$  mm/s

$$\varphi_{max} = \frac{60}{40} = 1,5$$

Standardi[17] järgi on sobivad standardsed kolvipoolte pindalade suhted 1,25 ja 1,4. Võimalusel kasutan väiksema pindalade suhtega silindrit, kuna selle puhul on kiiruste suhe väiksem ja vähemmärgatav. Selleks peab arvutama suurima lubatud nõtkejõu antud kolvivarrele.

Kontrollime, kas saame kasutada peenikest kolvivart(pindalade suhtega  $\phi=1,25$ ). Selleks kasutame Euler'i valemit (5.7).

$$[F] = \frac{\pi^2 EI}{l_p^2 n}, \text{ kus} \tag{5.7} [18]$$

$[F]$  – Lubatud suurim nõtkejõud

$E$  – kolvivarre materjali elastsusmoodul, terase puhul  $E = 2,1 \cdot 10^7$  N/cm<sup>2</sup>

$I$  – kolvivarre inertsmoment, silindrilisele vardale  $I = 0,0491d^4$  cm<sup>4</sup>

$l_p$  – varda nõrkevaba pikkus

$n$  – varutegur, valin  $n = 4$

Avaldan varda nõrkevaba pikkuse:

$$l_p = \sqrt{\frac{\pi^2 EI}{[F] \cdot n}} \tag{5.8}$$

Arvutan maksimaalse nõrkevaba pikkuse:

$$l_p = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^7 \cdot 0,0491 \cdot 2,2^4}{28000 \cdot 4}} = 46 \text{ cm} = 460 \text{ mm}$$

Šarniirse kinnituste puhul  $l_p = l$  [18], ehk maksimaalne nõrkevaba pikkus vastab silindri šarniiride tsentrite vahelisele kaugusele.

Kuna soovitud käigupikkus  $l=350\pm 50$  mm ja maksimaalne nõrkevaba pikkus  $l_p = 460$  mm, saab sellist silindrit šarniirselt kinnitatuna kasutada vaid juhul, kui silinder kinnitatakse esikaanega tõstuki külge nagu on kujutatud joonisel 5.1.



Joonis 4.2 Hüdrosilinder, mis kinnitatakse esikaant pidi šarniirselt [19]

Alternatiivselt on võimalik silinder ühendada mõlemapoolselt ka jäigalt. Sel juhul kehtib valem 5.9

$$l_p = \frac{l_{jäik}}{2}, \text{ kus} \quad (5.9) [20]$$

$l_{jäik}$  – mõlemapoolselt jäigalt ühendatud hüdrosilindri kinnituste vahekaugus

$$l_{jäik} = 2 \cdot l_p = 2 \cdot 46 = 92 \text{ cm}$$

Mõlemapoolset jäika ühendust on hinnanguliselt võimalik kasutada, sest nõtkevaba pikkus sellisel juhul on suurem kui kahekordne käigupikkus ja on piisavas koguses ka varu silindri muude väljaulatuvate osade jaoks, mis seda omakorda veidi pikemaks teevad. Täpsem sobivus tuleb välja selgitada valitava konkreetse silindri mõõtusi kontrollides ning võttes arvesse tõstekahvli tugikonstruktsiooni eripärasid.

#### 4.1.2 Hüdropumba dimensioneerimine

Arvutan silindri täitmiseks vajaliku vooluhulga

$$q_s = v_s \cdot A, \text{ kus} \quad (5.10) [21]$$

$q_s$  – hüdروõli vooluhulk, m<sup>3</sup>/s

$v_s$  – silindri plussliikumise liikumiskiirus, m/s

$$q_s = v_s \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 0,045 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 8,83 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 5,3 \text{ dm}^3/\text{min}$$

Arvutan silindri miinusliikumise kiiruse:

$$v_t = v_s \cdot \varphi, \text{ kus} \quad (5.11) [21]$$

$v_t$  – silindri miinusliikumise liikumiskiirus, m/s

$$v_t = 0,045 \cdot 1,25 = 0,056 \text{ m/s} = 56 \text{ mm/s}$$

Arvutan silindri liigutamiseks vajaliku võimsuse, mis on ka pumba vajalikuks võimsuseks, kuna muid koormuseid ei rakendata.

$$P_p = p \cdot q_s, \text{ kus} \quad (5.12) [21]$$

$P_p$  – pumba võimsus, W

$$P_p = 160 \cdot 10^5 \cdot \frac{5,3}{6 \cdot 10^4} = 1413 \text{ W}$$

Pumba elektrimootori vajalik võimsus

$$P_m = \frac{P_p}{\eta_m}, \text{ kus} \quad (5.13) [21]$$

$P_m$  – mootori võimsus, W

$\eta_m$  – elektrimootori kasutegur, võtame  $\eta_m = 0,9$

$$P_m = \frac{1413}{0,9} = 1570 \text{ W} \approx 1,6 \text{ kW}$$

Hüdraulikasüsteemi ülesehitusest tulenevalt tuleb kasutada reguleeritavat pumba, mis võimaldab vooluhulka muuta ja seeläbi silindri liikumiskiirust häälestada. Alternatiivina on võimalik kasutada fikseeritud vooluhulgaga pumba, kuid pumba käitava mootori pöörlemissagedust muutes.

Käesoleva süsteemi puhul eelistan käsitsi reguleeritavat labapumpa koos tavalise alalisvoolumootoriga, kuna pumba vooluhulka on tarvis reguleerida väga harva.

## 5. ELEKTRISKEEM

Olles vaadelnud ja arendanud tõstuki süsteeme eraldi, on viimane asi need ühtseks süsteemiks koondada. Selleks peame koostama ühise elektriskeemi, kuhu paigutame kaks mootorikontrollerit, juhtpuldi vastuvõtja, akud ja hüdraulikasüsteemi elektrilise osa.

Tõstukile koostatud elektriskeem on toodud eraldi joonisena töö graafilises osas.

Koostan elektriskeemi võttes aluseks Curtis Instruments 1232E tüüpelektriskeemi[22], kuna see on tõstuki juhtimise keskne komponent. Esmalt dubleerin neid, kuna mootoreid tuleb tõstukile kaks. Seejärel eemaldan ühisosa, mis ei vaja dubleerimist ning joonistan ühtseks kontrollerite akutoiteskeemi. Lisan Auteci saatja-vastuvõtja.

CAN siini seisukohalt on mõistlik saatja-vastuvõtja kaabeldada mootorikontrollerite vahele, kuna mootorikontrollerites on 120  $\Omega$  ja 0,5 W liinilõputakisti sisse ehitatud[23] ja rakendatakse, kui ühendada omavahel pistiku klemmid „CAN TERM H“ ning „CAN TERM L“.

Lisaks hädastopplülitile, mis käsiti lülitades katkestab elektrivoolu kõikidele tõstuki alamseadmetele ja laseb piduritel rakenduda, teen lisaks teise stoppahela, mida kasutatakse tõstuki peatamiseks lühiajaliselt. Seda juhib kaugjuhtimispuldi saatja-vastuvõtja, mis läbi relee annab pinge peale mootorikontrollerite sisenditele. Ahtel töötab katkestuse peale, ehk kui pinget mootorikontrollerite vastavatesse sisenditesse ei jõua, on pidurid rakendatud ja mootori liikumahakkamise käsklust ignoreeritakse. Lisaahela mõte on olla täiendav juhtahel CAN-ile ja tagada tõstuki seismajäämine näiteks kehva CAN-side korral. Täiendavalt seiskuvad kontrollerid ka juhul kui juhtahela kaablid füüsiliselt katkema peaksid.

Hüdraulilist pumpa käitava mootori juhtimine on lahendatud releede abil. Esimene relee lülitab elektrivoolu mootorile ja teine relee lülitab alalisvoolumootori pöörlemissuunda. Seesugune juhtimissüsteem osutus valituks tema lihtsuse tõttu, sest mootori pöörlemiskiirust pole kasutajal tarvis sujuvalt muuta. Mootori ülekoormust jälgib parempoolset ratast käitava mootori kontroller, mille vabasse analoogsisendisse ühendatakse temperatuuriandur. Vasakpoolse mootori kontrolleri vabasse analoogsisendisse ühendatakse temperatuuriandur, mis jälgib hüdraulikasüsteemis oleva õli temperatuuri. Liigkõrge hüdropumba mootori mähiste või hüdraulikaõli temperatuuri korral

teavitatakse sellest esmalt kasutajat ja seisatakse vajadusel kontrolleri poolt mootor, et vältida kahjustusi hüdraulilisele süsteemile. Koos pumba lülitatakse ka hüdraulilist klappi K1.

Releede mähistega on soovituslik rööbiti ühendada diodid, mis piirab toitepinge katkemisel rele mähise eneseinduktsioonist tulenevat hetkelist pingetõusu ja seeläbi kaitseb releesid juhtivaid seadmeid.

Skeemil näitan sulavkaitsmed kaitstavate seadmete lähedusse loetavuse parendamiseks. Reaalsel montaažil on oluline sulavkaitsmed paigutada võimalikult akude ja hädastopplüliti ligidale, et jõuahelad võimalikult suures pikkuses lühise eest kaitstud oleksid.

Järgnevalt määrان olulisemate skeemi komponentide kaitsmete väärtused ja kaablite ristlõiked. Esmalt määrان kaitsmete väärtused ja seejärel kaablite ristlõiked. See aitab tagada, et sulavkaitse jääks ahela kõige nõrgimaks lüliks ja katkestaks ahela enne, kui teistele komponentidele kahju tekib.

## 5.1. Sulavkaitsmed

Skeemis kasutatavate sulavkaitsmete eesmärk on kaitsta seadet lühise korral ja sellest tulevat kahju komponentidel ning tõstuki kasutajale. Mootoreid kaitsevad ülekoormuse eest kontrollid, mis mõõdavad mootorite mähiste temperatuuri ja piiravad vajadusel elektrivoolu mootoritele.

Leian sobiva kaitsme hüdropumba mootori toiteahelale:

$$I = \frac{P_p}{U}, \text{ kus} \tag{6.1}$$

$P_p$  – mootori võimsus, W

$I_p$  – pumba elektrimootorit kätava elektrivoolu tugevus

$U$  – süsteemi toitepinge,  $U = 24 \text{ V}$

$$I_p = \frac{1600}{24} = 66,67 \text{ A}$$

Valime lähima järgmise kaitsme nominaalsuuruse, mis on 80A. Kasutada saab näiteks autotööstuses kasutusel olevat APX(tuntud ka kui „Maxi“) kaitsmetüüpi[24]. Autotööstuse sulavkaitsme

kasutamine on otstarbekas, kuna autovarusade kauplusi leidub laialdaselt ja kaitsmete asendamine on vajadusel seeläbi hinnanguliselt kiirem.



Joonis 5.1 80A APX-tüüpi sulavkaitse[25]

Mootorikontrollerite kaitsmete täpseid väärtuseid on keeruline määrata, kuna elektriliste pidurite voolutarve pole teada. Küll aga saame hinnata sulavkaitsme väärtuse suurusjärgu mootorite võimsuse kaudu. Ühe mootori võimsus on 2000 W.

$$I_{mootor} = \frac{2000}{24} = 83,33 \text{ A}$$

Valin varuteguri  $\sigma$ , kuivõrd palju jätta reservi kontrollerite toiteahelale. Selle sisse peab mahtuma ka kontrolleri kasutegurist tulev võimsuskadu soojuseks. Valin  $\sigma = 1,5$ .

Arvutan voolutugevuse

$$I_{kontroller} = I_{mootor} \cdot \sigma, \text{ kus}$$

6.2

$I_{kontroller}$  – kontrolleri poolt tarbitav voolutugevus

$I_{mootor}$  – mootori täisvõimsusel käitamiseks vajalik voolutugevus



$\sigma$  – varutegur

$$I_{kontroller} = 83,33 \cdot 1,5 = 124,995 \approx 125 \text{ A}$$

Valin kaitsme väärtuseks 120A, mis on lähim sobilik suurus. See vähendab varu 5 A võrra, mis on antud juhul vastuvõetav.

Määratud kaitsmete väärtused lisan elektriskeemile.

## 5.2. Kaablid

Kaablite valikul alustan kaablisooone materjalist. Kaablisooone materjaliks valin puhta vase, kuna vassel on väga head elektrijuhtivuse omadused ning on kaablisooonematerjalina laialt levinud. Hea juhtivus tuleb kasuks tõstuki suurte voolutugevustega jõuelektroonikaosas, mille puhul saame kasutada antud voolutugevuse korral väiksema ristlõikega vaskjuhti kui näiteks alumiiniumjuhti. Lisaks sellele valin kaablisooone tüübiks paljukilulise soone, kuna kiulise soonega kaabel on oluliselt painduvam ning talub rohkem painutamisi enne katkemist, kui homogeenne metallist kaablisooon[26].

Kaabliotsad peavad kindlasti olema tähistatud ja otstesse paigaldatavad erinevate otstarvetega pistikud peavad olema niiskuskindlad ja erikujulised. Erikujulised pistikute eesmärk on tagada ohutus, et ei oleks ühte pistikut võimalik ühendada mitmesse pesasse ja sellega ohustada nii seadet kui ka selle kasutajat. Lisaks sellele on võimalik paigutada pistikud ja kaabeldus selliselt, et samakujulised pistikud oleks üksteisest eemal sedavõrd, et risti ühendamine ei ole võimalik. Igal juhul peavad pistikud olema ebasümmeetrilised, et pistikut ei oleks võimalik ühendada pesasse rohkem kui ühel viisil.

Kuna elektritõstukit võidakse kasutada ka välitingimustes, on tähtis et kasutatavate kaablite kaabliisolatsioon peaks vastu ka külmades tingimustes ja ei oleks vastuvõtlik päikesevalguse UV-kiirguse mõjule. Lisaks peab olema isolatsioon õlikindel, et hüdraulikasüsteemi võimalik leke kaabeldust ei kahjustaks.

Olukorda leevendamisel võib tulla kasuks kaablikaitsekõri kasutamine. Sel juhul saame me mõnda isolatsioonimaterjali nõrkust kompenseerida, kuna lisame piltlikult öeldes isolatsioonile veel lisakihi isolatsiooni. Kaablikaitsekõri pakub lisakaitset ka löökide, hõõrumiskahjustuste ja teiste

mehhaaniliste vigastuste eest. Kaablikaitsekõri puuduseks on asjaolu, et see võib soodustada jõukaablite puhul ülekuumenemist, kuna kõri takistab jahedama õhu ligipääsu kaablile.

Kaabelduse seisukohalt on üks olulistest kaablitest CAN siini kaabel, mida mööda toimub seadmete infovahetus. Kontrolleri tootja juhendmaterjalides soovitatakse kasutada keerupaarikaablit ja kaabeldusel hoida need eemal jõukaablitest[27]. ISO 11898 alusel soovitatakse kasutada 0...40 m liini puhul  $0,25\text{mm}^2$  või  $0,34\text{mm}^2$  soonte ristlõigetega kaablit, mille lainetakistus on  $120\ \Omega$  ja hilistus  $5\ \text{ns/m}$ [28]. Kuna elektritõstuk on oma gabariitidelt väike ja CAN kaablite pikkused saavad olema hinnanguliselt kuni 2m, valin  $0,25\text{mm}^2$  ristlõikega kaabli, mis vastab ISO 11898 nõuetele.

Jõukaablite ristlõigete määramiseks kasutan Suur-Britannias asuva kaableid tootva AEI Cables juhendamaterjali, kus on toodud tabeli kujul suurim kaablisoonete ohutult rakendatav voolutugevus vastavalt kaabli pikkusele ja pingelang kaablis[29]. Seesugune kaablite ristlõigete määramine on ebatäpsem kui arvutamine, kuid antud projekteerimise faasis piisava täpsusega. Hiljem, kui on paigas kõik elektritarbijad, nende paigutus ja kaablipikkused, on võimalik ja vajalik kaablid täpsemalt määratleda.

Määrän olulisamate jõukaablite juhtide minimaalsed ristlõikepidnalad (aku-kontroller, aku-hüdropump, aku-võtmelüliti-kontroller).

Kaabli ristlõike määramisel on oluline, et kaabel kannataks pikaajaliselt suuremat elektrivoolu, kui seda kaablit kaitsev sulavkaitse. Kasutan AEI Cables juhendis olevat tabelit painduvate kiuliste vasksoontega kummikaablitele maksimaalselt rakendatava elektrivoolu tabelit. Valin isolatsiooni maksimaalseks temperatuuriks  $60^\circ\text{C}$ .

Mootori kontrolleri toitekaabel

Kontrollerit lühise eest kaitsev sulavkaitse on 120A.

Tabelist lähim sobiv kahesoonealise alalisvoolukaabli ristlõige on  $35\text{mm}^2$ , millele pikaajaliselt rakendatav suurim voolutugevus on 140A. Antud ristlõike puhul on pingelang kaablis  $1,31\ \text{mV/A/m}$ . Antud tõstuki puhul saavad jõukaablid olla maksimaalselt 2 m pikkused. Sellest tulenevalt oleks maksimaalne pingelang mootorikontrolleri ahelas  $1,31\ \text{mV/A/m} * 120\ \text{A} * 2\ \text{m} = 314,4\ \text{mV} = 0,31\text{V}$  24V toitepinge korral on see  $0,31 / 24 * 100\% = 1,3\%$ . Sellist pingelangu võib lugeda väheseks ja aksepteeritavaks.

Hüdraulilist pumpa käitava mootori toitekaabel

Hüdraulilise pumba toiteahelas olev kaitse on 80A. Tabelist lähim sobiv ristlõige on 25mm<sup>2</sup>, mis pikaajaliselt talub kuni 97 A elektrivoolu. Pingelang sellise kaablis on 1,8 mV/A/m. Kaabli maksimaalne pikkus kuni 2 meetrit.

Arvutan pingelangu:  $1,8 \text{ mV/A/m} * 80 \text{ A} * 2 \text{ m} = 288 \text{ mV} = 0,29 \text{ V}$

Protsentides teeb see  $0,28 / 24 * 100\% = 1,16\%$ . Maksimaalne pigelang selles ahelas on väiksem kui mootorikontrolleri ahelas. Loen selle sobivaks.

Aku ja kontrolleri vaheline kaabel, mis läheb läbi võtmelüliti.

Selles aheles on 20A sulavkaitse, mis on Curtis Instruments poolt pakutaval elektriskeemil[LISA 2] soovituslikuks suuruseks. Sellisele voolutarbele vastab tabelist kaabel ristlõikega 4mm<sup>2</sup>. Tabeli järgi suudab selline ristlõige taluda lausa 30A voolu, mis annab meile soliidse varu. Pingelang sellises kaablis on 12 mV/A/m. Arvutan pingelangu 2 m juhi pikkuse korral:  $12 \text{ mV/A/m} * 20 \text{ A} * 2 \text{ m} = 80 \text{ mV} = 0,08 \text{ V}$ .

Protsentuaalselt on see  $0,08 / 24 * 100\% = 0,3\%$ . See on antud juhul tühine pingelang.

Määratud kaablite ristlõiked toon välja ka elektriskeemil. Sellega loen elektriskeemi koostamise antud etapis lõppenuks. Nagu ka mainitud, on vajalik ristlõiked edasises projekteerimises täpsustada, võttes arvesse kaabelduse reaalselt kulgemist ja muude lisanduvate seadmete elektritarbimisi.

## KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli lahendada raskeid tänavakive kandvate kaubaaluste teisaldava elektritõstuki juhtimissüsteem ja kasutajaliides.

Töö aluseks oli leida sobilikud mootorikontrollerid käitamaks tõstuki kahte liikumapanevat mootorit. Valitus osutusid Curtis Instruments poolt toodetavad kontrollerid, mis täitsid kõik püstitatud nõudmised. Moodsate mootorikontrollerite suureks plussiks on sisendite- ja väljundite rohkus, mis võimaldab nende kontrollerite külge peale mootori juhtimiseks vajalike andurite ja täiturite ühendada ka muid komponente ja sellega koondada mitu juhtimissüsteemi ühte kontrollerisse.. Nimetatud sisendeid ja väljundeid saab kontrolleris ka programmi lisada ning seeläbi tõstuki alamosade juhtimissüsteeme luua. Seda võimalust sai antud tõstuki puhul ka kasutatud.

Teine oluline teema antud töös oli kaugjuhtimise lahendamine. Sobiva lahenduse otsimise tulemusena osutus valituks tööstuslik Autec Dynamic kaugjuhtimissüsteem, mis on lihtsasti laiendatav ja kohandatav käesoleva tõstuki opereerimiseks. Oluline sealjuures on, et juhtpulti on võimalik toota väga erinevate nuppude-lülitite, juhtkangide ja indikatsiooniseadmete konfiguratsiooniga. See võimaldab luua hõlpsasti kästitsetava ja intuiitivsete funktsioonidega juhtpuldi osade paigutuse.

Kolmanda probleemina vajas lahendamist tõstuki tõstekahvi tõstmise ja langetamise hüdrauliline süsteem. Sealjuures sai tehtud vajalikud arvutused sobiliku hüdraulilise silindri leidmiseks, võimalused selle kinnitamiseks ning vajamineva hüdraulilise pumba diimensioneerimine. Et vältida hüdraulilise pumba pidevat töötamist, osutus valitud süsteemi tüübiks poolavatud hüdrauliline süsteem, mis võimaldab hüdrosilindrit liigutada kõigest mootori juhtimise kaudu, mis lihtsustab hüdraulikasüsteemi ja vähendab vajalike komponentide koguhulka.

Lõpetuseks koostati tõstuki elektrilisi seadmeid koondav skeem. Kuna antud tõstukil on pea kõik süsteemid elektrilised, pakub elektriskeem küllaltki head ülevaadet tõstuki süsteemidest. Olulisemate kaitsmete ja kaablite ristlõigete määramisel osutus keeruliseks prognoosida tõstuki kõikide potentsiaalsete elektritarbijate mõju.

Antud töö tegeles vaid ainult osaga projekteeritava elektritõstuki süsteemidest. Kogu tõstuki arendamine on veel algjärgus, mistõttu ka antud töös ei olnud võimalik mõningaid aspekte veel arvesse võtta. Kui täpsustuvad ka tõstuki muude osade parameetrid ja omadused, on võimalik

täiendavalt rafineerida ka antud töös arendatud lahendusi, mis võiks olla ka prototüübi ehitamise eelduseks.

## SUMMARY

The aim of this Bachelor's thesis was to design a control system and user interface to a forklift which is being developed for transporting heavy pallets of pavers.

The first and foremost task was to find suitable motor controllers to drive the forklift motors. Curtis Instruments controllers were chosen for this. A very useful feature of modern motor controllers are the extra inputs and outputs, which enable to attach other sensors and actuators to controller besides what is needed for the main motor. This enables to gather multiple systems into one central controller. These extra inputs and outputs are programmable which creates a possibility to make subsystems for controlling a smaller systems. This feature is also being used in in this electric forklift.

Second important topic in this thesis was to solve remote controlling of the forklift. A suitable solution was found in Autec Dynamic product range of remote control devices, which is easily expandable and customizable for the needs of the forklift. It is important that the control remote itself is possible to be built with different configurations of joysticks, switches, buttons and indicators. This ensures that remote control is easy to use and intuitive.

Third problem that needed solving was forklifts hydraulic system for raising and lowering the fork. In this chapter there were calculations done to size the hydraulic cylinder, found methods for mounting the cylinder and found hydraulic pump, which is adequate for the system. To ensure that hydraulic pump is not running all the time, it was chosen to use semi-open loop hydraulic system, which drives the system by switching and reversing the motor, which drives hydraulic pump. This solution simplifies the hydraulic system and lowers the component count.

The final chapter concentrated on wiring scheme of the forklift. As the most systems on forklift are electrically powered, the scheme gives a quite complete overview of the systems. The sizing of fuses and wires turned out to be complicated, because the overall power consumption of the forklift was difficult to predict at this stage.

This thesis looked closely at only a part of the electric forklift systems. The development of this forklift is still underway, so there variables which couldn't be considered yet. As the parameters and properties of other systems become clearer, it is possible to refine the solutions that were provided in this thesis. This could be the starting point of producing a prototype.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] LISA 1, Elektritõstuki eskiis, Aivo Lill
- [2] Konventsionaalse kahveltõstuki foto [WWW] <http://www.starttraining.com.au/reach-forklift-counterbalance-forklift/> (10.05.2018)
- [3] Elektriline kahvelkäru [WWW] <https://www.lmhhandling.co.uk/product/pramac-electric-stacker-1200kg-gx-1229/> (10.05.2018)
- [4] Combilift C2500 kahveltõstuk [WWW] <https://combilift.com/en/forklift/auto-draft/> (18.05.2019)
- [5] Manitou TMM 20 kahveltõstuk [WWW] <https://www.manitou.com/en/p/UyGOsAEAAGYTxz0> (18.05.2019)
- [6] Curtis Instruments vahelduvvoolu mootorikontrollerid [WWW] <https://curtisinstruments.com/products/ac-motor-controllers/> (08.05.2018)
- [7] Curtiss-Wright Sigmadrive vahelduvvoolu mootorikontrollerid [WWW] <https://www.cw-industrialgroup.com/Products/Motor-Controllers/Motor-Controllers-Industrial-Vehicles/Sigmadrive/Induction-Motor-Controller> (08.05.2018)
- [8] SEVCON madalpinge mootorikontrollerid [WWW] <http://www.sevcon.com/products/low-voltage-controllers/> (08.05.2018)
- [9] Remdevice Pail seeria kaugjuhtimissüsteem [WWW] <https://www.remdevice.com/en/radio-remote-control-pail/> (10.05.2018)
- [10] Hetronic NOVA seeria kaugjuhtimissüsteem [WWW] <http://www.hetronic.com/Control-Solutions/Transmitters-Tx/Belly-Packs/NOVA-Series> (10.05.2018)
- [11] Autec dynamic seeria kaugjuhtimissüsteem [WWW] [https://www.autecsafety.com/en/product/1-dynamic\\_series](https://www.autecsafety.com/en/product/1-dynamic_series) (10.05.2018)
- [12] Autec CRS raadiomoodul [WWW] [https://www.autecsafety.com/en/product/1-dynamic\\_series/34-crs.html](https://www.autecsafety.com/en/product/1-dynamic_series/34-crs.html) (16.05.2019)
- [13] Autec Compact FJC juhtpult [WWW] [https://www.autecsafety.com/en/product/1-dynamic\\_series/78-compact\\_fjc.html](https://www.autecsafety.com/en/product/1-dynamic_series/78-compact_fjc.html) (16.05.2019)
- [14] Soots, R. Hüdraulika ja hüdroseadmed. II osa. Tallinn : Tallinna Tehnikakõrgkool, 2005, 35
- [15] Soots, R. Hüdraulika ja hüdroseadmed. II osa. Tallinn : Tallinna Tehnikakõrgkool, 2005, 36-38
- [16] Soots, R. Hüdraulika ja hüdroseadmed. II osa. Tallinn : Tallinna Tehnikakõrgkool, 2005, 39-40, 54

- [17] Fluid power systems and components. Cylinder bores and piston rod diameters and area ratios. Metric series : Rahvusvaheline standard. ISO 3320:2013
- [18] Soots, R. Hüdraulika ja hüdroseadmed. II osa. Tallinn : Tallinna Tehnikakõrgkool, 2005, 54
- [19] Esikaanele šarniirselt kinnitav hüdrosilinder [WWW]  
[http://www.rajviviik.com/hydraulic\\_cylinders.htm](http://www.rajviviik.com/hydraulic_cylinders.htm)
- [20] Soots, R. Hüdraulika ja hüdroseadmed. Kordustrukk. Tallinn : Tallinna Tehnikakõrgkool, 2009, 120-121
- [21] Soots, R. Hüdraulika ja hüdroseadmed. II osa. Tallinn : Tallinna Tehnikakõrgkool, 2005, 55
- [22] Curtis Instruments Inc, Models 1232E / 34E / 36E / 38E and 1232SE / 34SE / 36SE / 38SE Manual, 05/2017, 12, figure 3
- [23] Curtis Instruments Inc, Models 1232E / 34E / 36E / 38E and 1232SE / 34SE / 36SE / 38SE Manual, 05/2017, 17
- [24] Optifuse Type APX Automotive Blade Fuse Maxi Size, Rev D 06/2018, 1 [WWW]  
<https://www.optifuse.com/PDFs/APX.pdf> (14.05.2019)
- [25] 80A APX-tüüpi sulavkaitsme foto [WWW]  
<https://www.batterywise.com.au/collections/circuit-breakers-fuses/products/lightning-80a-maxi-fuse>
- [26] Texas Instruments, A Practical Guide To Cable Selection, 1993, 2 [WWW]  
<http://www.ti.com/lit/an/snla164/snla164.pdf> (14.05.2019)
- [27] Curtis Instruments Inc, Models 1232E / 34E / 36E / 38E and 1232SE / 34SE / 36SE / 38SE Manual, 05/2017, 9
- [28] ESD GmbH. Notes on the Wiring of CAN-Bus Systems and the Cable Selection, 2003, 5
- [29] AEI Cables, Current ratings, [WWW]  
<http://www.aeicables.co.uk/literature/CurrentRatings.pdf> (14.09.2019)

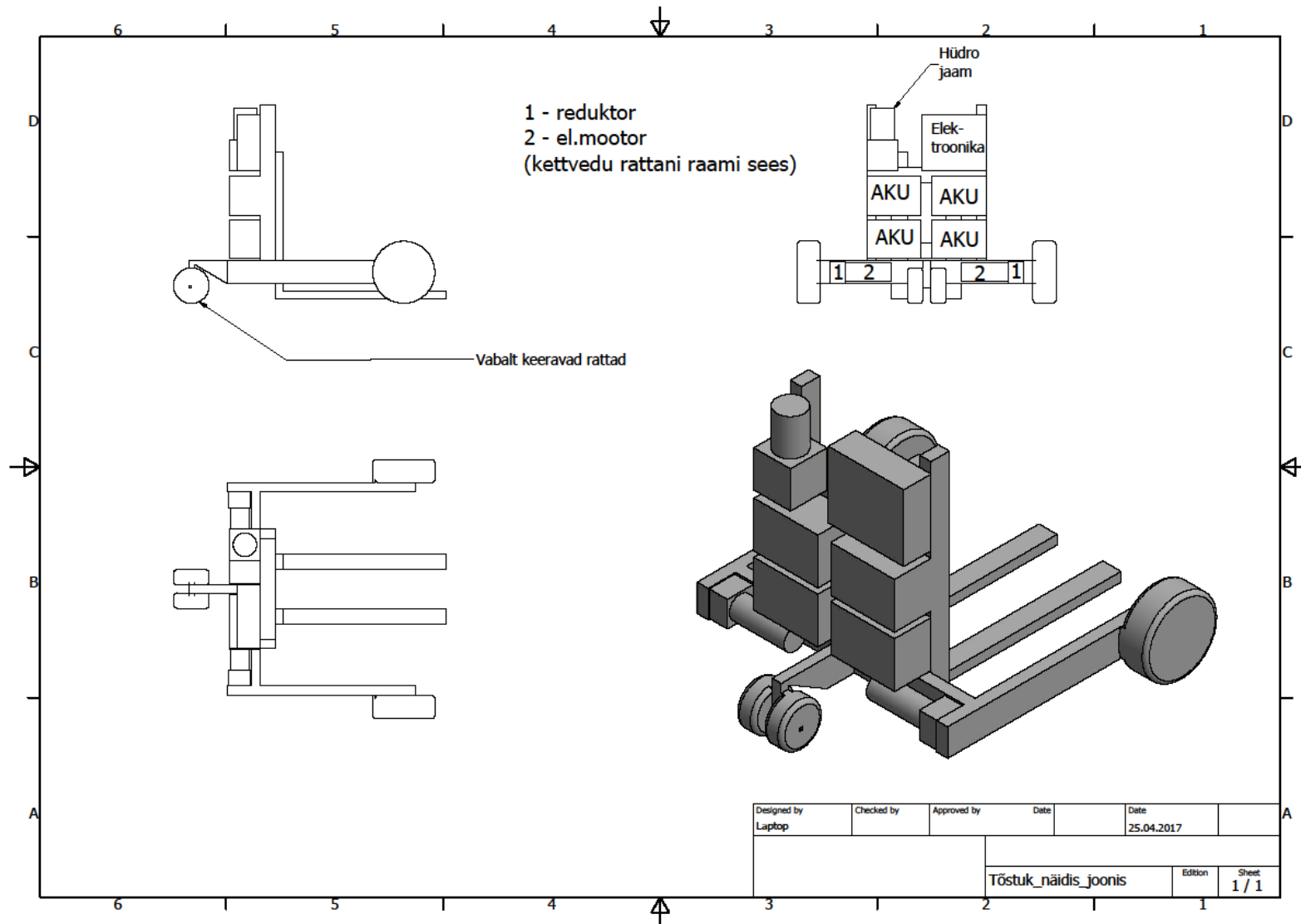


## **LISAD**

Lisa 1. Elektrilise tõstuki joonis, Aivo Lill

Lisa 2. Lisa 2 Curtis Instruments 1232E mootorikontrolleri andmeleht

Lisa 1 Elektrilise tõstuki joonis





## Microprocessor Motor Speed Controllers

### Model 1232E



[www.curtisinstruments.com](http://www.curtisinstruments.com)

## Model 1232E

### AC Induction Motor Controller

A significant enhancement to the Curtis AC family, The 'E' models utilize a powerful dual-microprocessor logic architecture to provide improved performance and surpass the requirements of the latest international functional safety standards.

The Curtis model 1232E provides advanced control of AC induction motors performing on-vehicle traction drive or hydraulic pump duties and offers the highest levels of functional safety.

The Curtis Model 1232E is intended for use as the traction controller on class 3 material handling 'walkies' and other small industrial trucks. It is equally suitable as the pump controller for auxiliary hydraulic functions on larger industrial vehicles.



#### ONLY CURTIS AC CAN OFFER:

- ▶ **Curtis VCL™—Vehicle Control Language** is an easy to use programming language that allows vehicle developers to write powerful logic functions and create a 'virtual system controller'. Curtis offers customers VCL development tools and training. Curtis also provides a VCL service where Curtis engineers will work with the OEM to create any custom VCL code required.
- ▶ **Indirect Field Orientation (IFO) vector control** algorithm generates the maximum possible torque and efficiency across the entire speed range. Advanced Curtis IFO vector control provides superb drive 'feel', improved speed regulation and increased gradeability.
- ▶ **Curtis Auto-Tune** function enables quick and easy characterization of the AC motor without having to remove it from the vehicle. Curtis AC controllers are fully compatible with any brand of AC motor.
- ▶ **Dual-Drive functionality** is standard, allowing correct control of applications featuring twin traction motors. This function ensures smooth and safe operation, minimal tire wear and correct load sharing between the traction motors at all times.
- ▶ **Configurable CANbus** connection allows communication with other CANbus enabled devices. Model 1232E is CANopen compatible and provides 20 VCL-configurable CAN 'mailboxes', 6 more than earlier Curtis AC controllers.
- ▶ **Integrated System Controller**—More than just a motor controller, it is also powerful system controller. It features a comprehensive allocation of multi-function I/O pins for use as analog inputs, digital inputs, contactor coil drivers and proportional valve drivers. In addition to this local I/O, this controller can use VCL to map and configure the remote I/O available on other CANbus devices, send messages to CAN displays and thus control and monitor the entire system.

See a 360° view of Model 1232E at:  
[curtisinstruments.com/360view](http://curtisinstruments.com/360view)



# Model 1232E

## AC Induction Motor Controller



### FEATURES

#### Increased Performance, Improved Functionality

- ▶ Higher performance form, fit and functional replacements for earlier Curtis Model 1232 AC controllers.
- ▶ CE marked as a programmable safety device under EN ISO 13849-1.
- ▶ Models available from 175A–250A output at 24–80V system voltages.
- ▶ Enhanced 64MHz micro and additional FLASH memory doubles the available VCL code space and provides more than twice the VCL execution speed.
- ▶ Six additional VCL-configurable CAN ‘mailboxes’ significantly increases CAN master capabilities.
- ▶ Advanced Pulse Width Modulation techniques produce low motor harmonics, low torque ripple and minimized heating losses, resulting in high efficiency.

#### Unmatched Flexibility

- ▶ Programmable for either traction or pump applications.
- ▶ Field upgradeable software.
- ▶ Integrated Battery state-of-charge algorithm and hour meters.
- ▶ Fully-featured generic software and VCL for typical Warehouse Truck applications is included.
- ▶ Comprehensive programming options and VCL allow other applications to be easily supported.
- ▶ Curtis hand-held or PC Windows programming tools provide easy programming and powerful system diagnostic tools.
- ▶ Integrated status LED provides instant diagnostic indication.

#### Robust Safety and Reliability

- ▶ Dual Microprocessor architecture cross-checks critical circuits, logic, and software functions to ensure the highest possible functional safety performance level is achieved.
- ▶ Insulated metal substrate power-base provides superior heat transfer for increased reliability.
- ▶ Fail-Safe power component design.
- ▶ Reverse polarity protection on battery connections.
- ▶ Short circuit protection on all output drivers.
- ▶ Thermal cutback, warning, and automatic shutdown provide protection to motor and controller.
- ▶ Rugged sealed housing and connectors meet IP65 environmental sealing standards for use in harsh environments.

#### Meets or Complies with Relevant US and International Regulations

- ▶ EMC: Designed to the requirements of EN12895.
- ▶ Safety: Designed to the requirements of EN1175-1:1998+A1:2010 EN (ISO) 13849-1
- ▶ IP65 rated per IEC 60529.
- ▶ UL recognized per UL583.
- ▶ Regulatory compliance of the complete vehicle system with the controller installed is the responsibility of the vehicle OEM.



# Model 1232E

## AC Induction Motor Controller



### FUNCTIONAL SAFETY DATA

Safety Function	PL	Designated Architecture	MTTFd	DC
Uncommanded Powered Movement	d	Category 2	≥40 yrs	≥90%
Motor Braking Torque	c	Category 2	≥16 yrs	≥90%

### MODEL CHART

Model	Battery Voltage (V)	2 Minute RMS Current Rating (A)	S2-60 Min RMS Current Rating
1232E-212X	24	180	90
1232E-232X	24	250	125
1232E-512X	36-48	150	75
1232E-522X	36-48	200	100
1232E-622X	48-80	175	80
1232E-722X	72-96	175	80

### SYSTEM ACCESSORIES



**The Curtis Model 840 LCD**  
Multifunction display contains 8 large, easy to read characters to provide display of battery discharge (BDI), hour meter and error messages. Built-in backlight is also available.



**The Curtis model 1352 CANbus I/O**  
expansion module features 9 I/O pins, including 6 proportional valve drivers. This module can be used to further expand the I/O capability of Curtis AC motor controllers using VCL.



**The Curtis Model 1313 Handheld Programmer**  
is ideal for setting parameters and performing diagnostic functions.

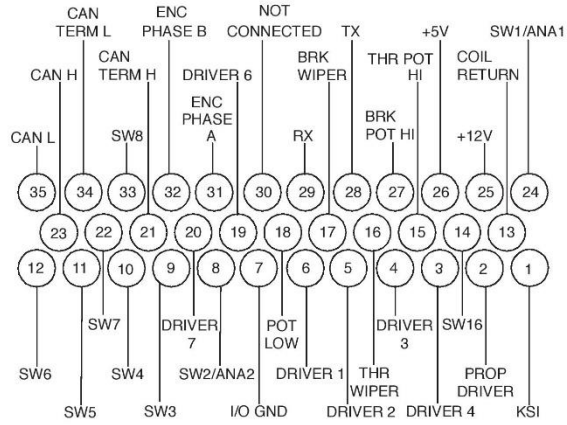
Contact Curtis to obtain the VCL Vehicle Control Language compiler and development tools.

# Model 1232E

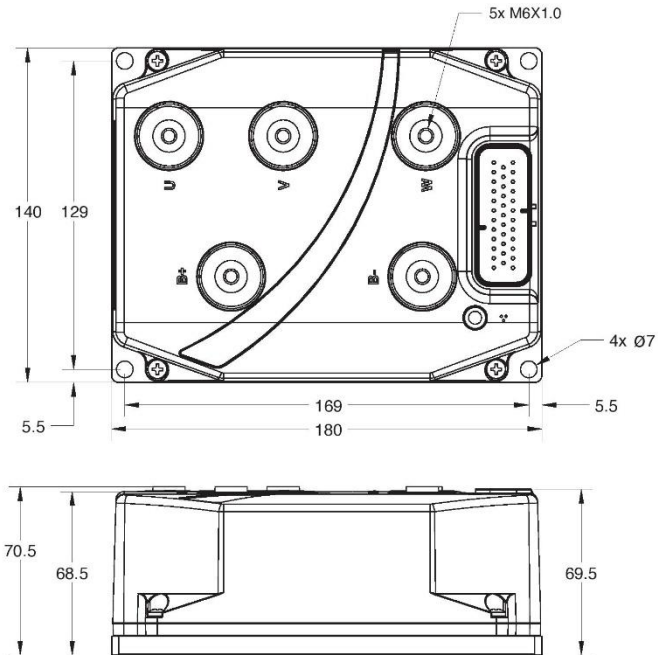
## AC Induction Motor Controller



### CONNECTOR WIRING



### DIMENSIONS mm (typical)

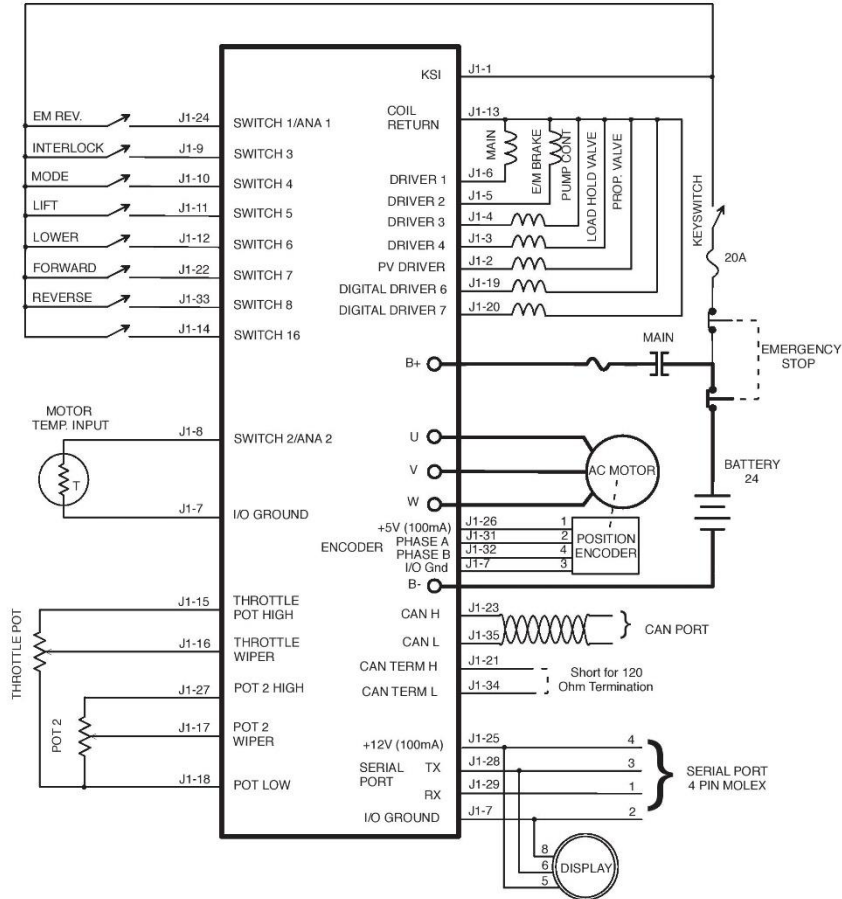


# Model 1232E

## AC Induction Motor Controller



### TYPICAL WIRING



**WARRANTY** Two year limited warranty from time of delivery.

**The Curtis Difference**  
You feel it when you drive it



is a trademark of Curtis Instruments, Inc.

Specifications subject to change without notice

©2016 Curtis Instruments, Inc.

50209 REV E 9/16