



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
MEHAANIKATEADUSKOND

Mehhatroonika instituut

Mehhatroonikasüsteemide õppetool

MHK40LT

*Ott Olari Ruus*

**VÄIKESEMÕÕTMELISE AUTOMAATSE  
LADUSTAMIS- JA TAGASTUSSÜSTEEMI  
ARENDAMINE**

Bakalaureusetöö

Autor taotleb

tehnikateaduste bakalaureuse

akadeemilist kraadi

Tallinn  
2014

## AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis..... juhendamisel

“.....”.....201...a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

“.....”.....201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”.....201... a.

..... allkiri

## **Bakalaureusetööülesanne**

2014 aasta 6 semester

Üliõpilane: Ott Olari Ruus, 112422 (nimi, kood)

Õppekava : MAHB02/09

Eriala: Mehhatroonika

Juhendaja: assistent Leo Teder (amet, nimi)

Konsultandid: Maido Hiimaa, teadur, 6203207 (nimi, amet, telefon)

### **BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:**

(eesti keeles) Väikesemõõtmelise automaatse ladustamis- ja tagastussüsteemi arendamine

(inglise keeles) Development of a small-scale automated storage and retrieval system

### **Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	<b>Kontseptsiooni loomine ja seadme tööülesannete määramine. Turuanalüüs sarnastest süsteemidest.</b>	<b>06.04.2014</b>
2.	<b>Siinide valik. Mootorite valik ja juhtimisviisi määramine. Haaratsisüsteemi projekteerimine. Karpide identifitseerimis võimaluste analüüs.</b>	<b>22.04.2014</b>
3.	<b>CAD jooniste tegemine. Elektroonika põhimõtteskeemide koostamine.</b>	<b>04.05.2014</b>
4.	<b>Juhtimisalgoritmi koostamine.</b>	<b>11.05.2014</b>
5.	<b>Kokkuvõtte kirjutamine ja lõputöö lõplik vormistamine.</b>	<b>18.05.2014</b>

**Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:** Töö eesmärk on analüüsida arenevaid tehnoloogiaid, lahenduste ja nende rakendamise võimalikkust, mida saaks kasutada väikese massiga esemetele mõeldud automaatse ladustamis- ja tagastussüsteemi (ASRS) loomisel. Töös analüüsitakse olemasolevaid seadeldisi ning projekteeritakse ASRS lähtudes ennekõike lahenduse lihtsusest kuid ka majanduslikust aspektist. Lahendatakse mootorite juhtimisega ning karpide tuvastamise ja liigutamise seotud probleemid ning luuakse juhtimisalgoritmi tähtsamad osad.

**Täiendavad märkused ja nõuded:** .....

**Töö keel:** Eesti keel

Kaitsmistaoetus esitada hiljemalt 12.05.2014

**Töö esitamise tähtaeg** 22.05.2014

**Üliõpilane** Ott Olari Ruus /allkiri/ ..... kuupäev.....

**Juhendaja** Leo Teder /allkiri/ ..... kuupäev.....

# SISUKORD

<i>Bakalaureusetööülesanne</i> .....	3
SELEDE LOETELU .....	5
TABELITE LOETELU .....	7
EESSÕNA.....	8
SISSEJUHATUS.....	9
1 Turuanalüüs.....	11
1.1 F/A süsteem .....	11
1.2 Vähem populaarsed lahendused .....	12
1.2.1 Horisontaalne pöörsüsteem .....	12
1.2.2 Fikseeritud teljega pöörsüsteem .....	13
1.2.3 Vertikaalne pöörsüsteem .....	13
1.2.4 VLM .....	14
2 NÕUDED SEADMELE.....	16
2.1 Seadme tööülesanded ja tööpõhimõtte .....	16
2.2 Nõuded ja piirangud .....	17
3 POSITSIONEERIMINE .....	19
3.1 Liikumise realiseerimine .....	19
3.2 Hammasrihm .....	19
3.2.1 Hammasrihma valik ja realiseerimine .....	20
3.3 Horisontaalliikumine .....	22
3.4 Vertikaalliikumine .....	24
4 SRM .....	25
4.1 Liikumise realiseerimine .....	25
4.2 Haaramismeetodi valik .....	26
4.3 Elektromagnet.....	27
4.3.1 Elektromagneti tööpõhimõtte .....	27
4.3.2 Elektromagneti realiseerimine ja valik.....	27
5 KARPIDE TUVASTUS JA TAGASTUS .....	30
5.1 P/D positsioon.....	30
5.2 Karpide tuvastusmeetodid .....	30
5.2.1 Tuvastusmeetodite ülevaade .....	30
5.2.2 Vötkoodilugeja valik .....	31
6 MOOTORID .....	33
6.1 Mootoritüübi valik.....	33
6.2 Samm-mootor .....	33
6.2.1 Samm-mootori tööpõhimõtte .....	33

6.2.2	Samm-mootori realiseerimine ja valik .....	34
7	ELEKTROONIKA .....	38
7.1	Positsioonide tuvastamine .....	38
7.2	Mahu tuvastamine.....	38
7.3	Ekraan.....	39
7.4	Toide.....	39
7.4.1	Toiteplokki valik .....	39
7.4.2	Vajalike pingete saavutamine.....	40
7.4.3	Kaabeldus .....	41
8	JUHTIMISLOOGIKA .....	42
8.1	Mikrokontroller .....	42
8.2	Juhtimisalgoritmid .....	42
8.2.1	Karbi ladustamine .....	43
8.2.2	Karbi tagastus .....	43
9	MASINA OHUTUS .....	44
9.1	AS/RSi töötsoon .....	44
9.2	Stopplüliti .....	44
9.3	Komponentide kahjustumise vältimine .....	45
	KOKKUVÕTE.....	46
	SUMMARY .....	48
	KASUTATUD KIRANDUS.....	50
	LISAD .....	53
	Lisa 1 Pea-algoritm .....	53
	Lisa 2 Karbi ladustamise algoritm.....	54
	Lisa 3 Karbi tagastuse algoritm.....	55
	Lisa 4 Karbi haaramise algoritm .....	56
	Lisa 5 Mikrokontrolleri ühendamise põhimõte .....	57
	Lisa 6 Hinna arvestus .....	58

## SELEDE LOETELU

Sele 1.1.	F/A süsteem [3] .....	12
Sele 1.2.	Horisontaalne pöörsüsteem [3].....	12
Sele 1.3.	Fikseeritud teljega pöörsüsteem [3] .....	13
Sele 1.4.	Vertikaalne pöörsüsteem [3] .....	14
Sele 1.5.	VLM [3] .....	14

Sele 1.6. VLM erilahendus [3] .....	15
Sele 2.1. Seadmes kasutatav karp.....	17
Sele 3.1. HTD rihma mõõdud [5].....	20
Sele 3.2. Hammasrihma kinnitamise põhimõte [5] .....	22
Sele 3.3. Rihma pingutamise põhimõtteskeem .....	22
Sele 3.4. Siini ristlõige [7].....	23
Sele 3.5. Rullik [7] .....	23
Sele 3.6. Siini mõõdud [7].....	23
Sele 3.7. Kuulpuks [8].....	24
Sele 3.8. Keskne detail .....	24
Sele 4.1. SRM.....	25
Sele 4.2. SRMi rihma pingutamine .....	26
Sele 4.3. Solenoidi tööpõhimõte .....	27
Sele 4.4. Elektromagnet [11].....	28
Sele 5.1. Loetavate QR koodide näited [13] .....	31
Sele 5.2. Leuze BCL 8 [16].....	32
Sele 5.3. BLC 8 paiknemine seadmes .....	32
Sele 6.1. Samm-mootori tööpõhimõte [19].....	34
Sele 6.2. Mootori mõõdud [20] .....	35
Sele 6.3. Trinamic QSH2818-32-07-007 [21].....	35
Sele 6.4. Mootorite ühendamise põhimõtteskeem pealiikumistel [22] .....	36
Sele 6.5. SRMi mootorite ühendamise põhimõtteskeem [22].....	37
Sele 7.1. Lüliti [23] .....	38
Sele 7.2. Fotoelektriline sensor .....	38
Sele 7.3. Parallax 27977 LCD [24] .....	39
Sele 7.4. Block GLS230/24-1 [25].....	40
Sele 7.5. Murata Power Solutions UEI30-050-Q12P-C [26].....	41
Sele 7.6. Kaablikandja.....	41
Sele 9.1. AS/RSi töötsoon .....	44
Sele 9.2. Stopplüliti [28] .....	44

## TABELITE LOETELU

Tabel 2.1. Seadme spetsifikatsioon .....	17
Tabel 3.1. Liikumise realiseerimise meetodite eelised ja puudused .....	19
Tabel 3.2. Hammasrihmade võrdlus [5].....	20
Tabel 4.1. Haaramismeetodite võrdlus.....	26
Tabel 4.2. HT-D20-F-24V100% elektromagneti tehnilised andmed [11] .....	28
Tabel 5.1. Leuze BCL 8 tehnilised andmed [16] .....	32
Tabel 6.1. Mootorite eelised ja puudused [17].....	33
Tabel 6.2. PK246JDA tehnilised andmed [20] .....	35
Tabel 6.3. QSH2818-32-07-006 tehnilised andmed [21].....	35
Tabel 6.4. TMC429-LI tehnilised andmed [22] .....	36
Tabel 6.5. Mootori draiverite tehnilised andmed [22].....	36
Tabel 7.1. Seadmes vajalikud pinged ja voolud.....	39
Tabel 7.2. Block GLS230/24-1 tehnilised andmed [25] .....	40
Tabel 7.3. Murata Power Solutions UEI30-050-Q12P-C tehnilised andmed [26].....	41
Tabel 8.1. ATxmega256A3BU mikrokontrolleri tehnilised andmed [27] .....	42

## EESSÕNA

Antud lõputöö teema tuleneb Tallinna ettevõtte THE Systems praktilisest vajadusest parendada praegust laosüsteemi ja seeläbi tõsta tootlikkust ja efektiivsust. Kuna teema käsleb endas nii mehaanika, elektroonika kui ka juhtimisega seotud probleeme, sobib see hästi bakalaureuse tööle seatud nõuetele. Seadme nõuded ja tööülesanne on määratud vastavalt THE Systemsi soovidele ja vajadustele ning Eesti Vabariigis kehtivale "Masina ohutuse seadusele".

Autor soovib tänada oma juhendajat Leo Tederit, konsultanti Maido Hiiemaad ja THE Systemsi poolset kontaktisikut Thomas Tasujat, kes olid suureks abiks antud lõputöö koostamisel.



## SISSEJUHATUS

Automatiseeritud ladustamis- ja tagastussüsteem ehk AS/RS (i.k. *automated storage and retrieval system*) on modulaarne seade, mis tavaliselt koosneb horisontaalset ja vertikaalset liikumist realiseerivatest moodulitest ning ladustamist realiseerivatest moodulitest. AS/RSid on leidnud laia kasutust ladudes, tööstuses, dokumendihalduses ja raamatukogudes.

AS/RSide plussideks on parem ülevaade ja kontroll laoseisu üle võrreldes traditsiooniliste manuaalsete ladudega. Ühtlasi vähenevad ka tööjõu kulud ning paraneb turvalisus, sest töötajad ei pea tööd tegema ohtlikes keskkondades näiteks külmutusega laod ja kõrged riulid. Vähenevad inimfaktorist tulenevad eksimused ja võimalik on optimeerida põrandapinna kasutust.[1]

AS/RSide paljude plusside tõttu on tegu väga aktuaalse temaga ja antud valdkonnas toimub kiire areng, kuid fookus on koondunud väga suurtele ja väga suuri masse kandvatele ning ladustavatele süsteemidele. THE Systemsi soovi väikesemõõtmelise süsteemi järgi võib pidada indikaatoriks, et turul on vajadus seadmetele, mis pole mõõtudelt suured ega käitle suuri masse. Enne, kui ettevõtte julgeb kulutada rahalist ja ajalist ressursi antud lõputöös käsitletud seadme ehitamiseks, soovitakse tutvuda antud temaatikaga.

Selle bakalaureusetöö eesmärk on analüüsida erinevaid tehnoloogilisi lahendusi ja pakkuda välja sobivaimad variandid arvestades teises peatükis välja toodud eeldusi ja tingimusi. Seadme tööpõhimõtte universaalsuse huvides peab olema võimalik antud töös valitud lahendusi rakendada ka teistsuguste mõõtmetega AS/RSide. Seadme erinevate liikumiste juures ei ole pandud rõhku suurele täpsusele ning kasutatud lahenduste valikul on seda silmas peetud. Karpide käsitlemise täpsuselt on töös vaadeldav süsteem robustne ning arvestab ruumivaruga. Töö piirub seadme mehaanika, elektroonika ja juhtseadmega, fookusega mehaanikal, ega käsitلة tagastuskäskude päritolu. Töö käigus luuakse ka CAD mudel, mis illustreerib valitud tehnoloogilisi lahendusi. Töös on CAD mudelite tegemiseks kasutatud SolidWorks Student Edition 2012-2013 tarkvara.

Käesoleva bakalaureusetöö esimeses peatükis uuritakse juba eksisteerivaid tüüplahendusi. Teises peatükis täpsustatakse nõuded ja piirangud seadmele ning täpsustatakse seadme tööülesanded ja tööpõhimõtte. Kolmas peatükk keskendub pealiikumiste ehk horisontaal- ja vertikaalliikumise realiseerimisele. Neljas peatükk selgitab karpide haaramist ja ümberpaigutamist. Viies peatükk tutvustab võimalikke tuvastusmeetodeid ning põhjendab

antud seadmes kasutatuid lahendusi. Kuues peatükk selgitab seadme mootorite valikut ning nende juhtimist. Seitsmes peatükk keskendub elektroonikale ja kaheksas peatükk AS/RSi juhtimisloogikale. Viimane peatükk tutvustab seadme ohutust tagavaid lahendusi.

# 1 Turuanalüüs

Tänapäeval on turul mitmeid erinevaid AS/RSide lahendusi. Enimkasutatud lahendused jagunevad viite põhilisse rühma, kuid kõige enam kasutatud lahendus on F/A süsteem, mis on kirjeldatud punktis 1.1.

AS/RSe jaotatakse käideldavat massi arvestades kolme rühma:

- *Uniload*- 450+ kg. Kõrgus kuni 30 m. Tüüpiline kõrgus 12 m;
- *Mini-load* 45 kg - 450 kg. Tüüpiline kõrgus 3 m - 12 m;
- *Micro-load* 0 -45 kg. Tüüpiline kõrgus 3 m - 12 m. [2]

Antud töö keskendub seadmetele, mis on oma võimekuselt ja gabariitidelt kõige enam *micro-load* tüüpi, kuid seda võiks ka kategoriseerida kui *micro-loadi* alamtüüpi, mis käitleb vaid väga väikest massi.

## 1.1 F/A süsteem

F/A (i.k. *fixed aisle*) süsteem on kõige enam kasutatud AS/RSide lahendus. Antud lahenduse korral liigub mööda põrandat või laest rippudes juhik või n-ö mast, mida mööda liigub üks või mitu haaramist realiseerivat moodulit ehk SRMi (i.k. *storage and retrieval machine*) [3]. Liikumine toimub kahe riiuli vahel. Riiulid on tavaliselt paari kaupa ning SRMid on võimelised teenindama mõlemat riiulit. [2]

Selle lahenduse plussideks on kompaktsus, modulaarsus ja lahenduse lihtsus. Võimalik on põrandapinda kokku hoida, tehes riiulid ja süsteem kõrgemaks. Samuti on võimalik ühendada mitu F/A süsteemi konveierlintide abil paralleelselt. Seetõttu on võimalik F/A lahendust kasutades luua väga suuri süsteeme.



Sele 1.1. F/A süsteem [3]

## 1.2 Vähem populaarsed lahendused

### 1.2.1 Horisontaalne pöördsüsteem

Horisontaalne pöördsüsteem koosneb fikseeritud arvust kõrvuti asetsevatest  $n$ -ö tulpadest, mis liiguvad mööda tavaliselt ovaalse kujuga siine. Iga tulp on jagatud kindlaks arvuks ladustamispositsioonideks. Ladustamine süsteemi võib toimuda kas automatiseeritult või käsitsi, kuid reeglina toimub tulpade rotatsioon siinil automaatselt. [3]

Antud lahenduse miinuseks on kogu inventari liigutamise vajadus, mistahes ühe ladustatud eseme tagastusel või ladustamisel. See on ka üks põhjus, miks on antud lahendusel ladustatavate esemete mass piiratud.

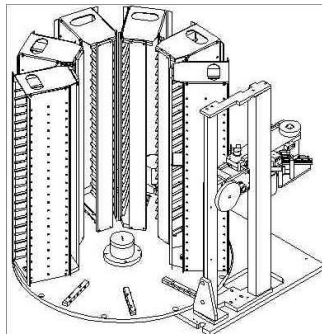


Sele 1.2. Horisontaalne pöördsüsteem [3]

## 1.2.2 Fikseeritud teljega pöördsüsteem

Selle lahenduse korral asetsevad pöörleval alusel radiaalselt tulbad, mis on sarnaselt horisontaalsele pöördsüsteemile jaotatud kindlaks arvuks ladustamispositsioonideks. Samuti nagu horisontaalsel pöördsüsteemil, võib ka fikseeritud teljega pöördsüsteemil toimuda ladustamine ja tagastus nii automaatselt kui ka manuaalselt, kuid pöördaluse rotatsioon toimub reeglina automaatselt. [3]

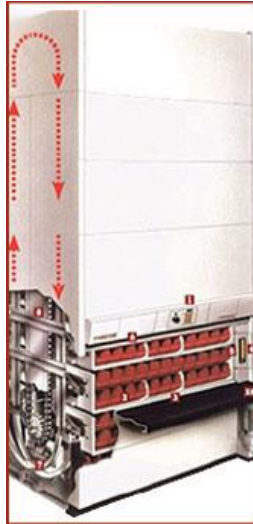
Lahenduse puuduseks on irratsionaalne ruumi kasutamine. Süsteemil on gabariitide piirangud, sest pöörlemisaluse diameetri suurenedes jääb aluse keskele kasutamata ruum. Sarnaselt horisontaalsele pöördsüsteemile, peab ka fikseeritud teljega pöördsüsteemi ladustamise ja tagastuse korral liigutama kogu inventari ning seetõttu on ladustatavate esemete mass piiratud.



Sele 1.3. Fikseeritud teljega pöördsüsteem [3]

## 1.2.3 Vertikaalne pöördsüsteem

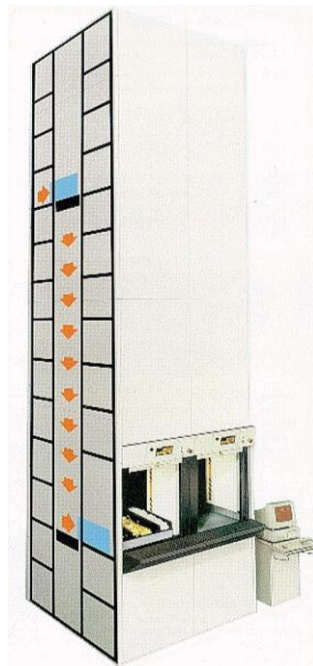
Vertikaalne pöördsüsteem koosneb riiulitest, mis tüüpiliselt liiguvad mööda määratud trajektoori metallkorpuses. Kui operaator vajab mõnda ladustatud eset või komponenti, liigutab masin õige sahtli korpuses oleva ava ette, kust operaator saab võtta vajalikud esemed või komponendid. Sellist lahendust kasutatakse tavaliselt paljude väikeste esemete ladustamiseks ning antud lahendus on reeglina poolautomaatne. [2]



Sele 1.4. Vertikaalne pöördsüsteem [3]

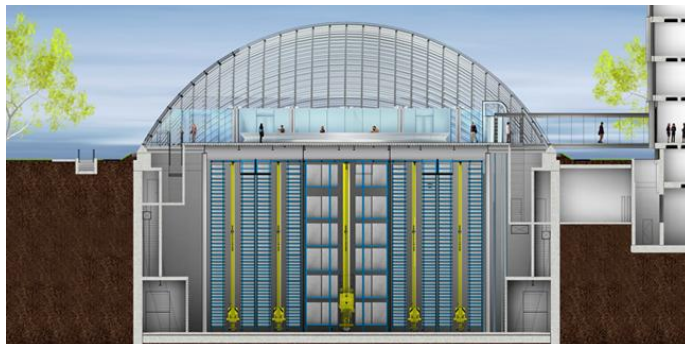
#### 1.2.4 VLM

VLM (i.k. *vertical lift module*) süsteeme võib lugeda F/A süsteemi (punkt 1.1) ja vertikaalse pöördsüsteemi (punkt 1.2.3) hübriidiks. Välisel vaatlusel võib VLM sarnaneda vertikaalse pöördsüsteemiga. Seadme sees asuvad ladustatud esemed kahel riulil, mille vahel liigub vertikaalselt SRM. Nii nagu vertikaalsel pöördsüsteemil, on ka VLM-il esiküljes ava, mille kaudu toimub esemete ladustamine ja tagastus.[2]



Sele 1.5. VLM [3]

VLM erilahendusena võib tuua suuremõtmelisi VLM süsteeme, mis ruumi kokkuhoiu mõttes on tihti paigutatud maa alla. Selliseid lahendusi kasutatakse näiteks raamatukogudes või dokumendihalduses. [3]



Sele 1.6. VLM erilahendus [3]

## 2 NÕUDED SEADMELE

### 2.1 Seadme tööülesanded ja tööpõhimõte

Antud lõputöös käsitletava seadme ülesandeks on väikese massiga karpide ladustamine, tagastamine ja sorteerimine. Seade on mõeldud põhiliselt erinevate elektroonikakomponentide ladustamiseks. Töö toimub F/A lahendusega, kuna F/A süsteemide kompaktsus ja lihtsus kaaluvad ülejäänud lahendusvariandid üle.

Ladustamine toimub ühte riiulisse. Riiul on jaotatud ladustamispositsioonideks ning iga positsioon on eraldatud ülalt, alt ning mõlemalt küljelt teistest positsioonidest vaheseinade abil. Seade ei pea positsioneerimiselt olema väga täpne, sest igal ladustamispositsioonil on nii külgedelt, ülalt kui ka alt ruumivaru.

Seade peab töötama koos inimesega, mis tähendab, et inimene võib karpe iseseisvalt võtta ja asetada riiulile. Seetõttu võib tekkida olukordi, kus karbid pole ladustatud oma õigetele kohale, seega peab seade olema võimeline karpe tuvastama ja sorteerima. Kui seadmel on tuvastus ja sorteerimis funktsionaalsus, võib kasutaja asetada ladustatava karbi suvalisele tühjale ladustamispositsioonile. Sellise kasutamise korral tuleb arvestada pikemate tagastusaegadega, sest võib tekkida olukordi, kus seade peab soovitud karp otsima. Lähtudes asjaolust, et seade töötab inimeste vahetus läheduses, tuleb erilist tähelepanu pöörata ohutusele. Kuna seade paikneb alaliselt ruumis, kus töötavad ka inimesed, on oluline ka madal müratase.

Kõnealusel seadmel on kaks SRMi, mis on paralleelselt ühendatud ühele mastile, millel toimub vertikaalne liikumine. Mast ise liigub mööda siini, teostades horisontaalset liikumist.

Kõnealusel AS/RSil peab olema vähemalt üks P/D (i.k. *pickup and deposit*) positsioon. Selle positsiooni kaudu toimub karpide ladustamine ja tagastus. P/D positsioon erineb riiuli ladustamispositsioonidest selle poolest, et sellel peab olema funktsionaalsus tuvastamiseks, kas seal on antud ajahetkel karp või mitte. P/D positsioon peab olema kasutajale visuaalselt eristatav teistest ladustamispositsioonidest.

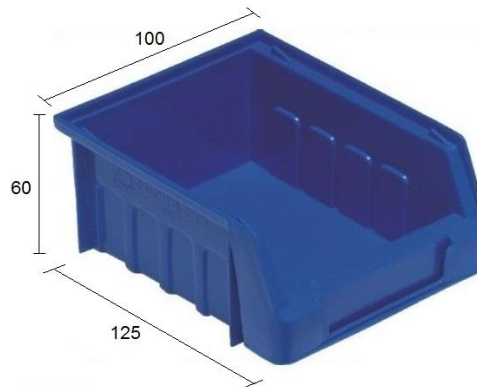
AS/RSiga kasutatava riiuli osas ei ole erinõudmisi ning lähtudes antud töö universaalsuse printsiibist on võimalik kasutada mistahes riiulit, kuhu mahuvad seadmes kasutatavad karbid (sele 2.1) ning mis on võimalik jaotada ladustamispositsioonideks nõnda, et iga positsioon oleks nii ülevalt, alt kui ka mõlemalt küljelt eraldatud teistest positsioonidest. Positsioonide



paiknemises peab olema mõistuslik seaduspära, et seadme juhtimises ei peaks iga positsiooni aadressi eraldi sisestama. AS/RS ei pea olema kinnitatud otse riiulile juhul, kui AS/RS ja riiul asuvad üksteisest fikseeritud kaugusel. Juhul, kui seade on kinnitatud otse riiulile on tarvis tähelepanu pöörata massikeskme paiknemisele ning olukorras, kus on seadme kukkumise oht, tuleb kasutada lisameetmeid selle vältimiseks näiteks riiuli fikseerimine kruvi- või poltliitega.

## 2.2 Nõuded ja piirangud

Ladustamiseks kasutatakse karpe mõõtmetega 125 mm x 100 mm x 60 mm. Selles töös on eeldatud, et kasutatavateks karpideks on sele 2.1 kujutatud või sarnased karbid, mis on valmistatud polüpropüleenist. Projekteeritav seade peab olema võimeline ladustama ka samade mõõtmetega, kuid teistsuguse kujuga karpe.



Sele 2.1. Seadmes kasutatav karp

Ühe karbi mass koos ladustatavate komponentidega võib olla maksimaalselt 1 kg, seega seade peab vertikaalsel liikumisel olema võimeline tõstma vähemalt 2 kg.

Märkus. Eelpool mainitud tõstevõime hulka pole arvestatud SRMide ja vertikaalselt kaasa liikuva konstruktsiooni massi. Töös tehtud arvutustel on vertikaalselt liikuva massiks võetud arvestuslikult 5 kg.

Tabel 2.1. Seadme spetsifikatsioon

<b>Kõrgus</b>	2800 mm
<b>Laius</b>	2700 mm
<b>Ühe SRMi kandevõime</b>	1 kg

Antud lõputöös käsitletav seade peab olema oma mõõtmetelt 2800 mm kõrge ja 2700 mm lai. Seadme kolmandale mõõtmele otseseid rangeid piiranguid pole, kuid ruumi kokkuhoiu huvides pole mõtet kasutada liialt sügavat riiulit, sest karpide tagune ruum jääks kasutamata.

### 3 POSITSIONEERIMINE

#### 3.1 Liikumise realiseerimine

Liigse keerukuse vältimiseks on vajalik, et valitud lahendus sobiks nii horisontaalse kui ka vertikaalse liikumise realiseerimiseks. Liikumise juures on oluline ka sujuvus.

Tabel 3.1. Liikumise realiseerimise meetodite eelised ja puudused

Liikumise realiseerimise meetod	Eelised	Puudused
Hammaslatt	<ul style="list-style-type: none"><li>• Libisemise puudumine;</li><li>• Lihtne teostada kiireid lineaarseid liikumisi;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Konstruktsiooni keerukus;</li><li>• Mootor peab kaasa liikuma;</li><li>• Konstruktsiooni suur mass;</li></ul>
Trapetskruvi	<ul style="list-style-type: none"><li>• Konstruktsiooni lihtsus;</li><li>• Libisemise puudumine;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Konstruktsiooni suur mass;</li><li>• Kiirete lineaarsete liikumiste realiseerimine on keeruline;</li></ul>
Hammasrihm	<ul style="list-style-type: none"><li>• Konstruktsiooni väike mass;</li><li>• Tööpõhimõtte lihtsus;</li><li>• Libisemise puudumine;</li><li>• Lihtne teostada kiireid lineaarseid liikumisi;</li><li>• Madal müratase;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Võimalikud probleemid, kui hammasrihm on koormust kandvaks elemendiks;</li><li>• Rihma pingutamise vajadus;</li></ul>
Kettülekanne	<ul style="list-style-type: none"><li>• Konstruktsiooni lihtsus;</li><li>• Ei vaja pingutamist;</li><li>• Libisemise puudumine;</li><li>• Lihtne teostada kiireid lineaarseid liikumisi;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kõrge müratase võrreldes teiste variantidega;</li></ul>

Lähtudes erinevate meetodite eeliste ja puuduste analüüsist (tabel 3.1) on antud rakenduses võetud kasutusele hammasrihm ülekanne. Kuigi hammasrihma pingutamise vajadus lisab konstruktsioonile keerukust ning rihma liigsel koormamisel võib esineda elastne deformatsioon, mis mõjutab seadme täpsust, on nendest puudustest vabanemine lihtsam kui teiste variantide puudustest. Samuti on hammasrihmalt rohkem eeliseid teiste variantide ees.

#### 3.2 Hammasrihm

Hammasrihmad leiavad laia kasutust erinevates mehaanika rakendustes. Hammasrihmade suurimaks eeliseks on see, et hammasrihma ja hammasrihmaratta vahel puudub libisemine. Seetõttu leiavad hammasrihmülekanDED tihti kasutust täpsust nõudvates rakendustes. HammasrihmülekanDED suudavad taluda suuri kiirendusi ning ei vaja määrimist. Kuna

hammasrihmülekandeid ei ole tarvis pingutada suure jõuga, ei avalda need suurt pinget laagerdusele. [4]

### 3.2.1 Hammasrihma valik ja realiseerimine

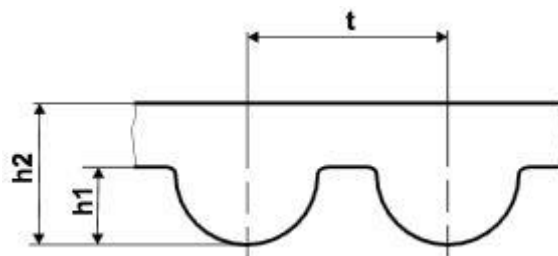
Hammasrihm peab nii vertikaalsel kui ka horisontaalsel liikumisel olema võimeline liigutama konstruktsiooni liikuvaid osi ja SRMidel paiknevaid karpe. Rihma valikul on lähtutud vertikaalsest liikumisest, sest kuigi vertikaalselt liikuva osa mass on väiksem horisontaalselt liikuva osa massist, on vertikaalsel liikumisel hammasrihm konstruktsiooni massi kandvaks elemendiks. Vertikaalselt liikuva osa massiks on võetud arvestuslikult 5 kg.

Tabel 3.2. Hammasrihmade võrdlus [5]

Rihma maksimaalne lubatud koormus (N)									
	Rihma laius (mm)								
	9	15	20	25	30	40	50	55	85
HTD 3M	805	1340	-	-	-	-	-	-	-
HTD 5M	1050	1540	-	2560	-	-	-	-	-
HTD 8M	-	-	2690	-	4030	-	6720	-	11430
HTD 14M	-	-	-	-	-	8300	-	12000	19900

Tabel 3.2 sisaldab infot Mekanexi tootevalikus olevate HTD hammasrihmade kohta. HTD hammasrihmad on valmistatud neopreenkummist ja on armeeritud klaasfiibriga. Mekanexist on hammasrihmasid võimalik osta jooksva meetrina seega rihma õige pikkuse tagamine ei ole probleem. [5]

Tabel 3.2 oleva info põhjal võib väita, et antud rakenduseks on sobilik HTD 3M hammasrihm, mille laiuseks on 9 mm. HTD 3M hammasrihma puhul on  $t = 3$  mm,  $h_1 = 1,17$  mm ja  $h_2 = 2,41$  mm (sele 3.1) [5].



Sele 3.1. HTD rihma mõõdud [5]

## Rihmaratta valik

Rihmarataste valikust oleneb mootorite vajalik pöördemoment, seadme positsioneerimistäpsus ja kiirus. Rihmaratta diameetri suurendamine tõstab kiirust, kuid kasvab ka mootorite vajalik pöördemoment ja langeb positsioneerimistäpsus.

Sobilikuks rihmarattaks on Mekanexi tootevalikust HTD44F-3M-09. Antud rihmarattal on 44 hammast ja diameeter on ligikaudu 41,26 mm. [5]

Ühe sammu täpsus on võimalik arvutada kaare pikkuse valemiga:

$$l_a = \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{180^\circ}, \quad (3.1) [6]$$

kus  $l_a$  – kaare pikkus,

$r$  – raadius,

$\alpha$  – kesknurk.

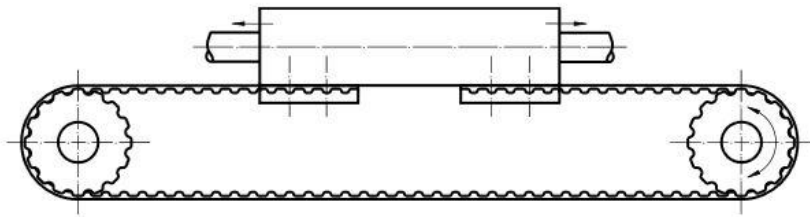
Valemiga (3.1) on võimalik leida kaare pikkus  $l_a$ , mis on ka võrdne positsioneerimistäpsusega.

$$l_a = \frac{\pi \cdot 21,25 \text{ mm} \cdot 1,8^\circ}{180^\circ} = 0,668 \text{ mm}$$

- Märkused:
1. Arvutuses on kasutatud teavet peatükist 6.1. Mootoritüübi valik.
  2. Kesknurk  $\alpha$  on eelnenud arvutuses võrdne  $1,8^\circ$ , mis on tüüpiline samm-mootori ühe sammu pöördnurk. Kasutades poolsamme ja mikrosamme on võimalik saavutada suurem täpsus.
  3. Raadiuseks  $r$  on võetud efektiivne väärtus, mis on ligikaudu 21,25 mm.

## Hammasrihma kinnitamine

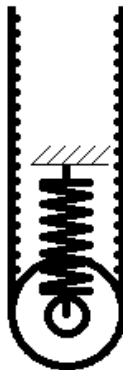
Jooksva meetrina müüdava hammasrihma kinnitamiseks on Mekanexis müügil spetsiaalsed kinnitused (sele 3.2). Hamba profiili matkiva kujuga detailid kinnitatakse poltliite abil keskele detailile. Antud seadmes võib kasutada ostutootena saadavaid kinnitusi, kuid on ka võimalik luua sama põhimõtet kasutades spetsiaalse kujuga detailid, mida oleks lihtsam sobitada loodavasse seadmesse.



Sele 3.2. Hammasrihma kinnitamise põhimõte [5]

### Hammasrihma pingutamine

Hammasrihma ja rihmaratta korrektse hambumise tagamiseks, peab hammasrihm olema pingutatud. Antud seadmes kasutatakse mõlema hammasrihma pingutamiseks vedrukonstruktsiooni, mida kirjeldab sele 3.3. Vedru valikuga on võimalik ära määrata pingutamise jõud. Ülekoormuse olukorras surutakse vedru kokku, mis loob ruumi rihma libisemiseks. See küll kahjustab rihma, kuid võimaldab kaitsta seadme teisi osi purunemise eest.



Sele 3.3. Rihma pingutamise põhimõtteskeem

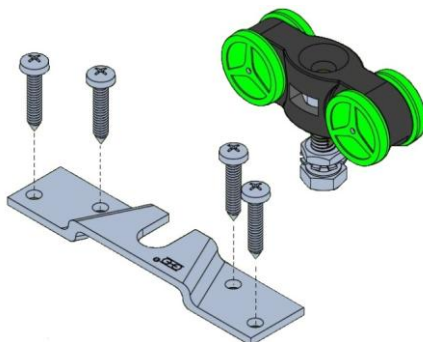
### 3.3 Horisontaalliikumine

Horisontaalse liikumise teostamiseks on seadme ülemisse äärde kinnitatud siin (sele 3.4), mille sees liigub kaks rullikut (sele 3.5). Antud süsteem on võimalik osta ostutootena. Antud lõputöös on kasutatud Postshopi e-poes saadavaid liuguste süsteeme, mis on mõeldud kuni 40 kg massiga ustele. Postshopi rullikud on laagerdatud ning seega vaiksemad kui laagerduseta süsteemid.



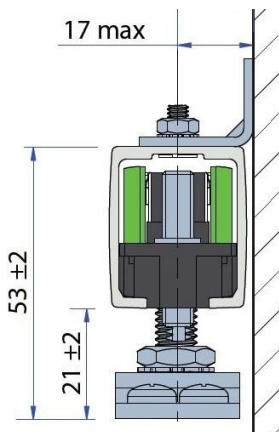
Sele 3.4. Siini ristlõige [7]

Rullikule kinnitatakse M8 peitpeaga polt, mille teise otsa kinnitatakse plaat (sele 3.5). Kahe rulliku plaate ühendab detail, millele on ka kinnitatud kogu vertikaalse liikumise koost koos mootoriga. Horisontaalse liikumise mootor on seadme ühes ülemises nurgas. Rullikud asuvad üksteisest 172 mm kaugusel ning sellega on tagatud, et horisontaalsel liikumisel, suure kiirenduse korral, ei jääks masti alumine ots siinis liikuvast osast maha.



Sele 3.5. Rullik [7]

Siin on kinnitatud riuli ülemise ääre külge. Üheks kinnitamise meetodiks on sele 3.6 kujutatud kinnitusviis, kuid siini võib kinnitada ka ülemise küljega paralleelsele pinnale.



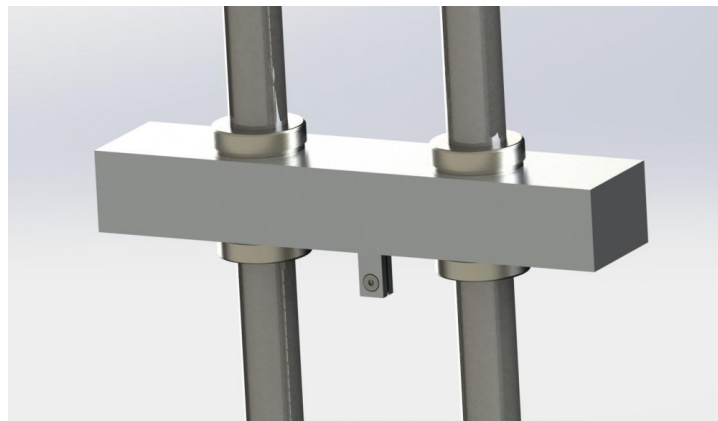
Sele 3.6. Siini mõõdud [7]

### 3.4 Vertikaalliikumine

Vertikaalne liikumine toimub mööda kahte paralleelset ümmarguse ristlõikega juhikut. Mööda mõlemat juhikut liigub üks kuulpuks (sele 3.7). Kuulpukse ühendab keskne detail (sele 3.8), mis tagab kuulpukside vastastikuse õige asetsemise ja kuhu on ka kinnitatud SRMid ning hammasrihm.



Sele 3.7. Kuulpuks [8]



Sele 3.8. Keskne detail

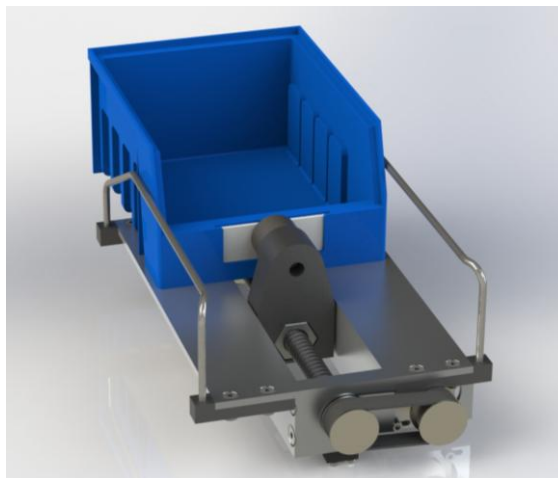


## 4 SRM

### 4.1 Liikumise realiseerimine

SRM peab suutma teostada lineaarset liikumist, et toimetada haaramist realiseeriv moodul riiulis oleva karbini ja karp koos eelnimetatud mooduliga tagasi SRMile. Lineaarse liikumise realiseerimiseks on kasutatud trapetskeermelatti (sele 4.1). Selle eelis ostutoodetena saadavate lineaarmootorite ees on kasutajale vajaliku käigupikkuse tagamine. Ostutootena saadavad lineaarmootorid on kindlaks määratud käigupikkusega, mistõttu oleks antud rakendusse vajaliku lineaarse liikumise tagamine raskendatud. Lisaks on trapetskeermelatiga lahenduse korral võimalik ajam ja ülekanne paigutada nõnda, et hoida kokku ruumi.

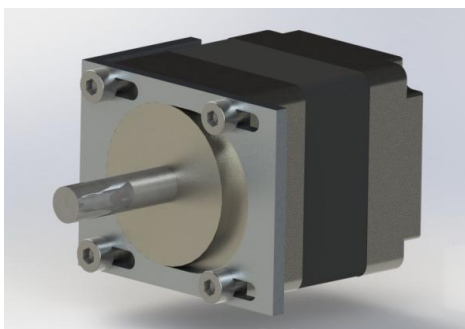
Ülekandena kasutatakse lamerihmülekannet (sele 4.1). Valiku põhjuseks on libisemise võimalikkus. Kui SRM hakkab karpi riiulisse asetama, kuid mingil põhjusel paikneb SRM riiuli suhtes valesti või valitud positsioonis on juba karp ladustatud ning pole SRMil ladustamine teostatav, võimaldab lamerihmülekanne rihma libisemist rihmarattal. Sel viisil on SRM ja karbid kaitstud purunemise või kahjustumise eest ning mootor kaitstud ülepinge eest.



Sele 4.1. SRM

#### Lamerihma pingutamine

Nii nagu hammasrihmade puhul, tuleb ka lamerihmasid pingutada. Pingutamiseks on mootori kinnituses pikliku kujuga sooned ning mootor tuleb poltliitega soones õigele kaugusele kinni keerata ja seeläbi saavutatakse nõutav rihma ping (sele 4.2).



Sele 4.2. SRMi rihma pingutamine

SRMis kasutatava mootori valik on kirjeldatud peatükis 6.

## 4.2 Haaramismeetodi valik

Seade peab haarama karpe, mida kujutab sele 2.1. Kuna mõlemal SRMil peab olema oma karpide haaramise süsteem ei tohi see olla liialt suure massiga.

Tabel 4.1. Haaramismeetodite võrdlus

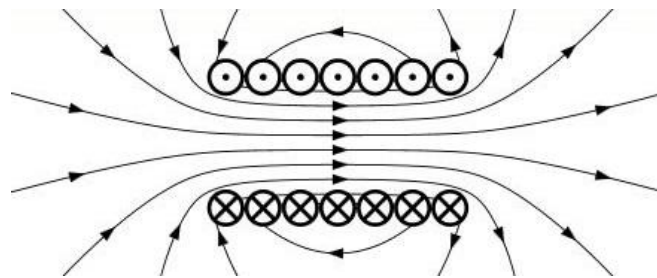
Haaramismeetod	Eelised	Puudused
Geomeetriaga määratud haaramine	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ei mõjuta ladustatud komponente;</li> <li>Võimalik takistada nihkumist;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vajadus täiendava/täiendavate mootorite ja mehaanilise konstruktsiooni järgi;</li> <li>Karbid peavad olema määratud geomeetriaga;</li> <li>Vajadus suuremale positioneerimis- ja ladustamistäpsusele</li> </ul>
Elektromagnet	<ul style="list-style-type: none"> <li>Universaalsus;</li> <li>Lahenduse lihtsus;</li> <li>Suur täpsus pole vajalik;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vajadus karpe modifitseerida;</li> <li>Magnetväli võib mõjutada ladustatud komponente;</li> <li>Magneti tõmbejõud on risti magneti pinnaga, nihkumist takistab vaid hõõrdejõud;</li> </ul>

Lähtudes erinevate haaramismeetodite eeliste ja puuduste analüüsist (tabel 4.1) on antud seadmes võetud kasutusele elektromagnet. Geomeetriaga haaramise vajadus täiendavate mootorite, kindla kujuga karpidele ja suuremale täpsusele lisab seadmele ülemäära keerukust.

## 4.3 Elektromagnet

### 4.3.1 Elektromagneti tööpõhimõte

Koos liikuvate laengute või elektrivooluga kaasneb alati magnetväli. Magnetvälja jõujooned paiknevad kinniste kontuuridena ümber vooluga juhtme. Ringvoolu korral paiknevad magnetvälja jõujooned samuti kinniste kontuuridena ümber juhtme. Kui ringvooluga juhtmed paiknevad tihedalt üksteise kõrval (sele 4.3) on magnetväli väljaspool praktiliselt võrdne nulliga, kuid juhtmekontuuride sisse jäävas ruumis, kus ei esine magnetvälja hajumist, on magnetväli tugev. Äärmiste juhtmekontuuride vahetus läheduses ei ole magnetväli jõudnud oluliselt hajuda seega ka seal oleva magnetvälja tugevus on vaid pisut väiksem juhtmekontuuride sees olevast magnetväljast. Sedasi paiknevaid vooluga juhtmete kogumit nimetatakse solenoidiks ja samal põhimõttel töötavad ka elektromagnetid. [9]



Sele 4.3. Solenoidi tööpõhimõte

### 4.3.2 Elektromagneti realiseerimine ja valik

Elektromagnetite realiseerimiseks karbi haaramisel, tuleks igale karbile kinnitada ferromagneetiline element näiteks lehtterasest plaat. Kõnealust elementi on võimalik karbile kinnitada näiteks liimliitega, neetliitega või geomeetriaga määratult (sele 2.1).

Probleemiks võib kujuneda olukord, kus haaramiseks kasutatav elektromagneti poolt tekitatud magnetväli hakkab mõjutama karbis ladustatud komponente. Elektromagneti poolt tekitatav magnetvälja tugevus on nominaalse suurusega vaid elektromagneti vahetus läheduses ning kauguse suurenedes toimub väga tugev välja hajumine (sele 4.3) [9]. Seetõttu võib problemaatiliseks kujuneda vaid olukord, kus ladustatud elemendid paiknevad karbi haaratava külje vahetus läheduses. Kindlasti ei ole kõik ladustatud komponendid püsिमagnetid või ferromagneetiliste omadusete ja ning magnetväli ei pruugi komponentidele soovimatut mõju avaldada.

Elektromagneti tõmbejõud peab ületama karbi seisuhõõrdejõu:

$$F_h = F_N \cdot \mu, \quad (4.1)[6]$$

kus  $F_h$  – seisuhõõrdejõud,

$F_N$  – normaaljõud,

$\mu$  – hõõrdeegur.

Polüpropüleeni ja terase vaheline hõõrdeegur  $\mu = 0,36$  [10]. Kasutades valemit (4.1) ja ühe karbi maksimaalset massi (tabel 2.1) saame leida seisuhõõrdejõu  $F_h$ :

$$F_h = 0,36 \cdot 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3,54 \text{ N}.$$

Sobilikuks elektromagnetiks on Kuhnke mudel HT-D20-F-24V100% (sele 4.4). Elektromagneti fikseerimiseks on selle tagaküljel M3 keermega ava [11]. Elektromagneti paiknemist SRM-il illustreerib sele 4.1.



Sele 4.4. Elektromagnet [11]

Tabel 4.2. HT-D20-F-24V100% elektromagneti tehnilised andmed [11]

<b>Tõmbejõud</b>	40 N
<b>Nimivõimsus</b>	2,5 W
<b>Nimipinge</b>	24 VDC
<b>Diameeter</b>	20 mm
<b>Kõrgus</b>	15 mm
<b>Mass</b>	25 g

Tabel 4.2 märgitud tõmbejõud on arvestatud madala süsinikusisaldusega terasplaadi hoidmisel paralleelselt maapinnaga. Terasplaadi paksus peab olema vähemalt 1/2 elektromagneti keske magnetpooluse diameetrist ja terasplaadi diameeter võrdne elektromagneti diameetriga. [11]

## **Elektromagneti juhtimine**

Elektromagneti voolu muutumisest tingitud induktiivsuse vältimiseks, on seadmes kasutatud ULN2003 komponenti. Antud komponenti on integreeritud diodid induktiivse voolu takistamiseks. Antud komponendi sisendina saab kasutada mikrokontrolleri väljundit. Elektromagneti ühendamiseks tuleb elektromagnet ühendada +24 VDC ja ühe ULN2003 väljundi vahele. ULN2003 integreerib oma väärtusi seega selleks, et elektromagnet sisse lülitada, ehk ULN2003 väljundisse saada null, peab mikrokontroller saatma ULN2003 sisendisse "ühe". [12]

## **5 KARPIDE TUVASTUS JA TAGASTUS**

### **5.1 P/D positsioon**

Antud lõputöö raames on P/D spetsiaalne positsioon riulis, kuhu seade toob tagastatavad karbid ning kuhu kasutaja võib asetada karbi, mida soovib ladustada. Võttes arvesse THE Systemsi tööruumide planeeringut, paiknevad P/D positsioonid riuli kõige vasakpoolsemas veerus, kuid antud töö universaalsuse printsiipi silmas pidades võivad need paikneda kus iganes süsteemi riulis.

P/D positsioon peab olema kasutajale visuaalselt eristatav teistest positsioonidest. See on vajalik, et parandada seadme intuiitse kasutamise võimalikkust ehk kasutaja ei pea omama spetsiaalset teavet P/D positsiooni paiknemisest riulil. Visuaalne eristatavus on võimalik saavutada näiteks kleepides riulile P/D positsioonide ümber riuli värvusest selgelt eristuvad kleepribad.

Selleks, et lisada seadmele paindlikust, on iga P/D positsiooni juures surunupp. Nupu eesmärk on ladustamise käsu edastamine controllerile. See tähendab, et kui kasutaja asetab karbi P/D positsiooni, ei ladustata karpi enne, kui vastava positsiooni nupule vajutamise pole antud ladustamise käsku.

### **5.2 Karpide tuvastusmeetodid**

#### **5.2.1 Tuvastusmeetodite ülevaade**

##### **QR koodi lugeja**

QR (i.k. *quick response*) kood on kahedimensiooniline maatriks-kood. Võrreldes ühedimensiooniliste koodidega võivad kahedimensioonilised koodid sisaldada suuremat infohulka väiksemal pindalal. QR koodi kuuluv veaparandus meetodika, positsioonituvastus- ja joondumismuster teevad QR koodist ühe eelistatuima kahedimensioonilise koodi, sest nende abiga on võimalik skanneerida ka osaliselt rikutud või nurga all paiknevaid koode. [13]



Sele 5.1. Loetavate QR koodide näited [13]

QR koodi kasutamine antud rakenduses võib olla ebaratsionaalne. QR koodi lugemiseks on tarvis tarkvaralist pildituvastust ning selle realiseerimine mikrokontrolleril on liialt keeruline. Lisaks sellele ei ole antud rakenduses vajalik QR koodi suur infomaht ega veatuvastus meetoodika.

### **Vöötkoodilugeja**

Populaarseimad vöötkoodilugejad on laseriga vöötkoodilugejad [14]. Laseriga vöötkoodilugejates valgustatakse vöötkood laseriga ja tuvastades valguse peegeldumist erinevat värvi pindadelt, saadakse vöötkoodis olev info. Tänu vöötkoodilugejates kasutatavate laserite eredusele, on selliste vöötkoodilugejatega skaneerimisulatus alates mõnest sentimeetrist kuni mitme meetrini.

Skaneerimisulatus sõltub järgnevatest teguritest:

- vöötkoodilugejast;
- vöötkoodi printimiskvaliteedist;
- prinditud vöötkoodi heledate ja tumedate vöötide kontrastist;
- pinna läikest, kuhu vöötkood on prinditud;
- keskkonna valgustatusest, kus vöötkoodi loetakse;
- vöötkoodi ja vöötkoodilugeja vahelisest nurgast. [15]

### **5.2.2 Vöötkoodilugeja valik**

Kuna vöötkoodilugeja on kinnitatud SRMile ning seega liigub sellega pidevalt kaasa, peab vöötkoodilugeja olema väikeste mõõtmetega ja väikese massiga. Kuna karbil oleva vöötkoodi ja vöötkoodilugeja vaheline kaugus on fikseeritud ning võib varieeruda väga väikeses ulatuses on oluline ka vöötkoodilugeja võimekus.

Sobivaks vöotkoodilugejaks on Leuze Electronicsi vöotkoodilugeja BCL 8 (sele 5.2). See seade sobib hästi antud rakendusse sest antud seadme mõõtmed on 15 mm x 40,3 mm x 48 mm ja selle mass on 70 g. [16].

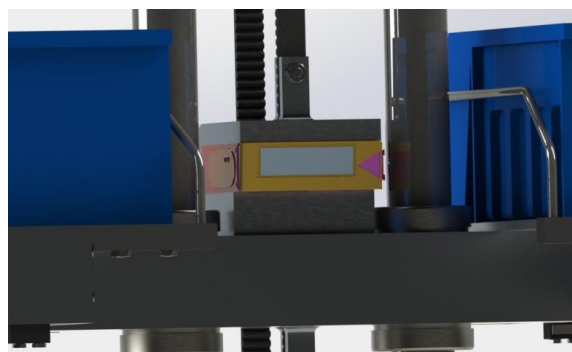


Sele 5.2. Leuze BCL 8 [16]

Tabel 5.1. Leuze BCL 8 tehnilised andmed [16]

<b>Gabariidid</b>	15 mm x 40,3 mm x 48 mm
<b>Toitepinge</b>	4,75 V...5,5 V
<b>Maksimaalne vool</b>	250 mA
<b>Mass</b>	70 g
<b>Liides</b>	RS232
<b>Skaneerimisulatus</b>	40 mm-160 mm

Antud seadme kõrge hinna tõttu on otstarbekas lahendus, kus on üks vöotkoodi lugeja. Vöotkoodilugeja võib kinnitada vertikaalse liikumise juhikute vahele keskele detailile (sele 5.3). See ei muuda seadme tööpõhimõtet, sest mõlemad SRMid ei ole korraga töös.



Sele 5.3. BLC 8 paiknemine seadmes

Enamikele kontrolleri pole võimalik RS232 otse ühendada ning vaja on spetsiaalset liidest. Selleks sobib Maximi MAX232CWE+.



## 6 MOOTORID

### 6.1 Mootoritüübi valik

Pealiikumised on realiseeritud hammasrihmadega, SRMi liikumine lamerihmülekandega. Mootorite juhtimise lihtsustamiseks on valiku tegemisel lähtutud sellest, et kõik neli vajalikku mootorit võiksid olla ühte tüüpi. Konstruktsiooni lihtsustamiseks, on horisontaalse ja vertikaalse liikumiste mootorite võllid ühendatud otse hammasrihmaratastega seega pole võimalik ülekannetega muuta kiirusi või pöördemomente.

Tabel 6.1. Mootorite eelised ja puudused [17]

Mootori tüüp	Eelised	Puudused
Samm-mootor	<ul style="list-style-type: none"><li>• Positsioneerimine toimub sammude lugemisega seega lihtne juhtimine;</li><li>• Madalam hind;</li><li>• Suur pöördemoment madalatel kiirustel;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tagasiside puudumise tõttu sõltub positsioneerimistäpsus ülekannetest ja sellest, et mootor ei jätaks samme vahele;</li><li>• Väiksem kiirus (võrreldes servomootoriga);</li><li>• Võimalikud probleemid resonantsi ja vibratsiooniga;</li></ul>
Servomootor	<ul style="list-style-type: none"><li>• Eksisteerib teave reaalsest positsioonist;</li><li>• Suurem kiirus (võrreldes samm-mootoriga);</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Positsioneerimise jaoks on vajalik tagasiside;</li><li>• Süsteemi keerukus;</li><li>• Kogulahenduse kõrge hind;</li><li>• Madalatel kiirustel töötamiseks on tavaliselt vajalikud käigud.</li></ul>

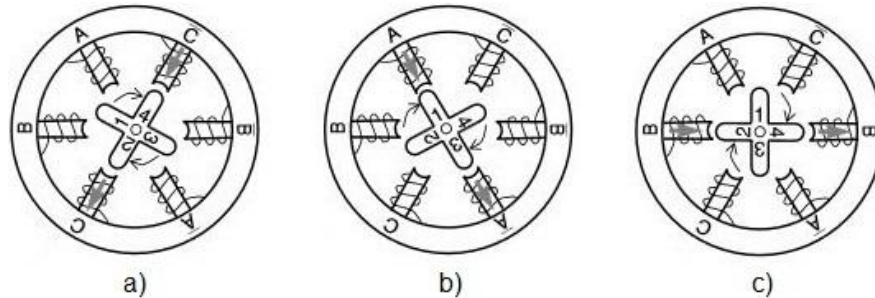
Lähtudes eelnevast mootorite eeliste ja puuduste analüüsist (tabel 6.1) kasutatakse antud seadmes samm-mootoreid. Samm-mootorite kõige olulisemaks eeliseks antud rakenduses on juhtimise lihtsus. Kuna seadmes on kokku 4 mootorit, siis oluline on ka hind. Samm-mootorid on tavaliselt oma põhimõtte lihtsuse tõttu odavamad, kui servomootorid.

### 6.2 Samm-mootor

#### 6.2.1 Samm-mootori tööpõhimõte

Samm-mootorid on harjasteta sünkroon-elektrimootorid, kus digitaalsed impulsid muudetakse mehaaniliseks võlli pöörlemiseks. Iga samm-mootori täispööre on jaotatud kindlaks arvuks võrdse pöördenurgaga sammudeks. Sammude arv ühes täispöördes võib ulatuda kuni 200-ni. Samm-mootori iga sammu jaoks tuleb saata uus impulss. Samm-mootor saab korruga vastu

võtta ühe impulsi ja seega teha korraga ühe sammu. Kuna iga impulss toob kaasa samm-mootori võlli kindla pöördenurga muutuse, mis on tüüpiliselt  $1,8^\circ$  on samm-mootorit väga lihtne juhtida ilma tagasisideta. [18]



Sele 6.1. Samm-mootori tööpõhimõte [19]

Samm-mootorid jagunevad oma ehituselt ja tööpõhimõttelt kolmeks: püsिमagnetiga samm-mootorid, reluktants-samm-mootor ja hübriidsed samm-mootorid. Sele 6.1 selgitab samm-mootori tööpõhimõtet reluktants-samm-mootori näitel. Reluktants-samm-mootori rootor koosneb monoliidsest hammastega elektrotehnilisest terasest südamikust. Vastastikutest staatori mähistest tekitatakse erineva polaarsusega magnetväli. Sele 6.1-a) illustreerib kuidas mähistes C ja  $\overline{C}$  tekitatakse eelpool mainitud olukord, mille tõttu rootor pöördub mähiste suhtes nii, et antud juhul mähise  $\overline{C}$  ja rootori neljanda hamba ning mähise C ja rootori teise hamba vaheline õhuvähe oleks minimaalne. Seejärel tekitatakse magnetväli mähistes  $\overline{A}$  ja A (sele 6.1-b) ) ning rootor pöördub taaskord. Analoogne protsess toimub ka sele 6.1-c). Rootori pöörlemine on võimalik, kuna staatorivoolu väljalülitamisel kaob jääkmagnetism ja seetõttu saab mootori taaspingestamisel magnetvoog liikuda takistamatult läbi südamiku.[19]

## 6.2.2 Samm-mootori realiseerimine ja valik

Kasutades hammasrihmaratta mõõde on ka võimalik leida mootori vajalik pöördemoment:

$$M = F \cdot r , \tag{6.1}$$

kus  $M$  – pöördemoment,

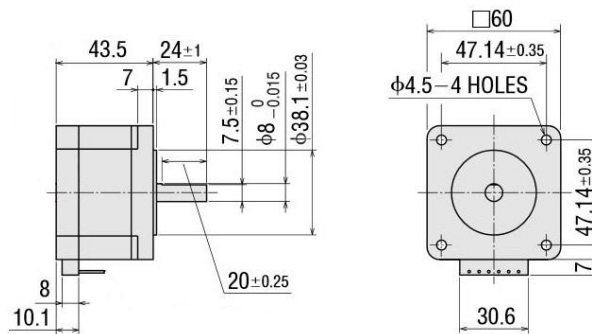
$F$  – jõud,

$r$  – raadius.

Kasutades valem (5.1) on vertikaalse liikumise mootori vajalik pöördemoment:

$$M = 5 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,02125 \text{ m} = 1,04 \text{ Nm}$$

Sobilikuks mootoriks horisontaalse ja vertikaalse liikumise realiseerimisel on Oriental Motorsi mudel PK246JDA (sele 6.2). Mootori tehnilised andmed on toodud tabel 6.2.



Sele 6.2. Mootori mõõdud [20]

Tabel 6.2. PK246JDA tehnilised andmed [20]

Sammu nurk	Pöördemoment	Faasi vool	Pinge	Mass
1,8°	1,06 Nm	2,8 A	2,1 V	0,6 kg

SRMide mootorite valikul on lähtunud asjaolust, et nende puhul on lamerihmülekande rihmarataste diameetrid muutes võimalik mõjutada pöördemomenti ülekandearvuga seega on valitud võimalikult väikese massi ja gabariitidega mootor.

Sobilikus mootoriks on Trinamicu mudel QSH2818-32-07-006 (sele 6.3). Mootori korpuse mõõdud on 28 mm x 28 mm x 32 mm. Võlli diameeter on 5 mm ja pikkus 20 mm. Mootori kinnitamiseks on korpuse võlli poolisel küljel neli M2,5 ava. [21]



Sele 6.3. Trinamic QSH2818-32-07-007 [21]

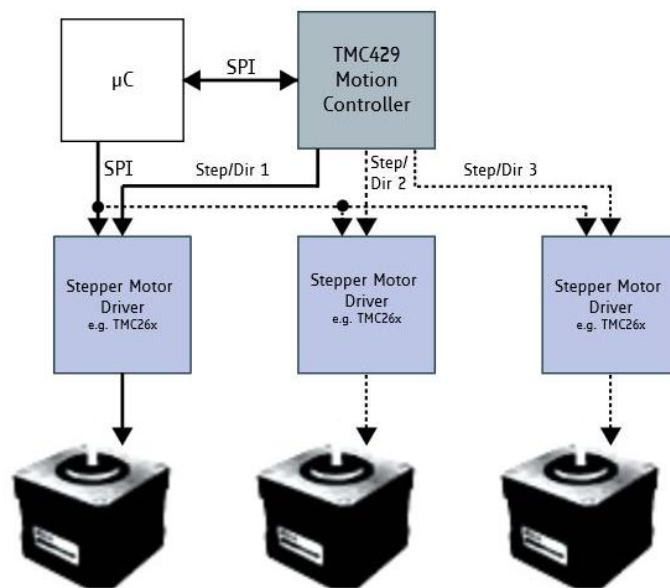
Tabel 6.3. QSH2818-32-07-006 tehnilised andmed [21]

Sammu nurk	Pöördemoment	Faasi vool	Pinge	Mass
1,8°	0,06 Nm	0,67 A	3,8 V	0,11 kg

## Mootorite juhtimine

Mootorite juhtimiseks on antud seadmes kasutatud Trinamicu mootori kontrollereid ja draivereid. Kontrollerina on kasutatud Trinamic TMC429-LI kontrollereid (tabel 6.4).

Pealiikumiste korral on mikrokontroller ühendatud nii mootori draiveritega kui ka mootori kontrolleriga (sele 6.4). Ühendused mikrokontrolleriga on SPI (i.k. *serial peripheral interface*) liidesega ja mootori kontrolleri ning draiverite vahel S/D (i.k. *step and direction*) liidesega. Pealiikumise mootorite draiveritena on kasutatud Trinamic TMC2660-PA (tabel 6.5)



Sele 6.4. Mootorite ühendamise põhimõtteskeem pealiikumistel [22]

Tabel 6.4. TMC429-LI tehnilised andmed [22]

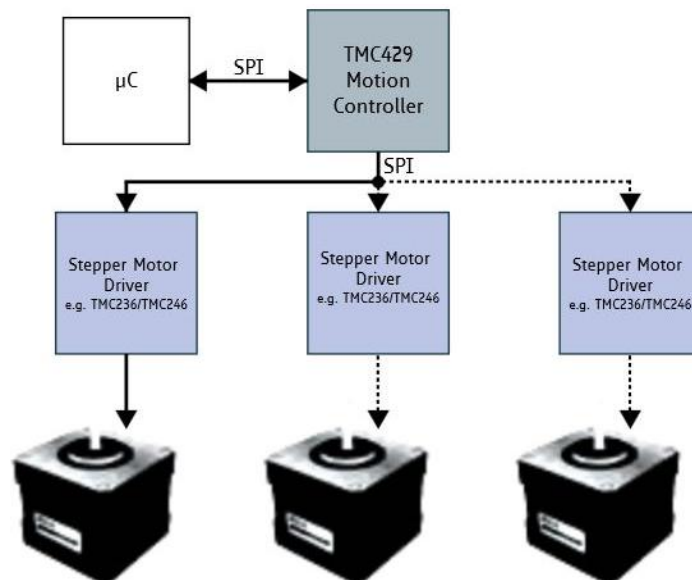
Juhitavaid mootoreid	Liides	Toitepinge	Positsioonisendeid
3	SPI või S/D	3,3 V...5 V	3x2

Kuna ühe TMC429-LIga on võimalik juhtida kuni kolme mootorit on neid antud seadmes kaks. Üks juhib SRMide mootoreid ja teine vertikaalse ja horisontaalse liikumise mootoreid.

Tabel 6.5. Mootori draiverite tehnilised andmed [22]

Mudel	Mootori tüüp	Liides	Toitepinge	Maksimaalne faasi vool	Mootori pinge
TMC236-PA	2 faasi	analog/SPI	3,3 V...5 V	1,1 A	7 V...34 V
TMC2660-PA	2 faasi	SPI+S/D	3,3 V...5 V	2,8 A	9 V...30 V

SRMide mootorite ühendamine erineb pealiikumiste mootorite ühendamisest, sest kasutatud on teistsuguseid draivereid. SRMi mootorite ühendamisel on mikrokontroller ühendatud SPI liidesega mootori kontrolleri ja mootori kontrolleri samuti SPI liidesega iga mootoriga (sele 6.5). Draiverina on kasutatud Trinamic TMC236-PA (tabel 6.5).



Sele 6.5. SRMi mootorite ühendamise põhimõtteskeem [22]

## 7 ELEKTROONIKA

### 7.1 Positsioonide tuvastamine

Samm-mootorite täpsuse kindlustamiseks on iga liikumise äärmistes asendites lülitid, mille abil on võimalik tuvastada füüsilised piirasendid. Seega on kokku tarvis 8 lüliti. Sobilikudeks lülititeks on mikrolülitid, mida illustreerib sele 7.1. Kõik vahepealsed positsioonid peab süsteem tuvastama samm-mootorite sammude lugemisega. Lülitid on ühendatud TMC429-LI positsioonisisenditesse.



Sele 7.1. Lüliti [23]

### 7.2 Mahu tuvastamine

Igal P/D positsioonil ja ka SRMidel peab olema moodus karbi olemasolu tuvastamiseks. P/D positsioonides oleks võimalik kasutada lüliteid, kuid see nõuaks karbi täpset paigutamist riiulisse. Tagamaks korrektse lugemi saamise ning võimaldades samas paindlikkuse, kasutatakse antud seadmes fotoelektrilist sensorit TCRT5000 Infrared Reflective Photoelectric Switch (sele 7.2).



Sele 7.2. Fotoelektriline sensor

Analoogsed tooted on majanduslikult otstarbekad ja digitaalsed väljundid sobivad hästi antud rakendusse. Seadme mõõdud on 32 mm x 14 mm. Sensori keskseks elemendiks on TCRT5000 optiline sensor.

## 7.3 Ekraan

Pakkumaks kasutajale reaajas teavet masina töötüklit ja olekust on seadmel ekraan. Ekraanil ei ole tarvis kuvada palju infot korraga, seega sobib ekraaniks Parallaxi mudel 27977 (sele 7.3).



Sele 7.3. Parallax 27977 LCD [24]

Tegu on taustavalgustusega LCD ekraaniga, mille suurus on 16 x 2 sümbolit. Ekraani juhtimine toimub ühe viiguga ning sisendina kasutatakse ASCII DEC 32-127 koodi. Ekraanile on võimalik sisestada kaheksa kasutaja poolt defineeritud sümbolit. Ekraanile on ka sisse ehitatud piezo-kõlar mis võimaldab anda audiosignaale. [24]

## 7.4 Toide

### 7.4.1 Toiteplokki valik

Toiteploki valikul tuleb arvesse võtta erinevate elektrooniliste komponentide tarbitava voolu ja pinge korrutist ehk võimsust. Kasutades teadaolevat infot (tabel 7.1) saab leida, et võimsuseks on 23,34 W.

Tabel 7.1. Seadmes vajalikud pinged ja voolud

Seade	Pinge	Vool	Kogus
ATxmega256A3BU	1,6 V...3,6 V		1 tk
Leuze BCL 8	4,75 V...5,5 V	0,25 A	1 tk
MAX232CWE+	4,5 V...5,5 V		1 tk
PK246JDA	2,1 V	2,8 A	2 tk
QSH2818-32-07-006	3,8 V	0,67 A	2 tk
TCRT5000 IR switch	3,3 V...5 V		5 tk
Kuhnke HT-D20-F-24V100	24 V	0,1 A	2 tk
LCD Display 27977	5 V	0,08 A	1 tk
ULN2003D		0,025 A	1 tk
TMC429-LI	3,3 V...5 V	1,25 mA	2 tk
TMC2660-PA	3,3 V...5 V		2 tk
TMC236-PA	3,3 V...5 V		2 tk

Reaalses olukorras ei tööta kõik seadme osad korraga ning teoreetiline maksimaalne võimsus on ligikaudu 12,2 W. Et oleks tagatud varutegur ning, et toiteplokk ei peaks pidevalt töötama maksimaalse väljundvõimsuse piiril, on toiteploki valikul kasutatud eelnevalt leitud summaarset võimsust.

Märkus: Teoreetiline maksimaalne võimsus on leitud olukorras, kus korraga töötavad kaks PK246JDA samm-mootorit, LCD ekraan ning üks TMC429-LI mootorikontroller. Tulemus on ümardatud üles.

Sobilikuks toiteploki on Blocki mudel GLS 230/24-1 (Sele 7.4).



Sele 7.4. Block GLS230/24-1 [25]

Toiteploki mõõdud on 85 mm x 132 mm x 75 mm ning selle mass on 1,2 kg. Toiteplokk kinnitatakse Seadme P/D positsiooni poolsele küljele. [25]

Tabel 7.2. Block GLS230/24-1 tehnilised andmed [25]

Võimsus	Sisendpinge	Väljundpinge	Väljundvool	Normmaal töötemperatuur
24 W	230 VAC	24 V	1 A	kuni 40°C

### 7.4.2 Vajalike pingete saavutamine

Seadme erinevatel osadel on tarvis kasutada erinevaid pingeid. Vajalike pingete saavutamiseks kasutatakse DC/DC muundureid ja pingeregulaatoreid. Kuna mootorid tarbivad palju võimsust, on juhtmete üleliigse soojenemise vältimiseks on üks DC/DC muundur viidud SRMe ühendava keskse detailini. Teine DC/DC muundur asub horisontaalset liikumist teostava mootori läheduses. DC/DC muundurina on kasutatud Murata Power Solutionsi mudel UEI30-050-Q12P-C (sele 7.5).





Sele 7.5. Murata Power Solutions UEI30-050-Q12P-C [26]

Seadme mõõdud on 50 mm x 25 mm x 15 mm ning mass 15 g. [26]

Tabel 7.3. Murata Power Solutions UEI30-050-Q12P-C tehnilised andmed [26]

Võimsus	Sisendpinge	Väljundpinge	Väljundvool
30 W	9 V...36 V	5 V	6 A

Kuna mikrokontroller ja samm-mootorid vajavad sisendina madalamat pinget, kui kasutatava DC/DC muunduri väljund, kasutatakse selle saavutamiseks pingeregulaatoreid.

### 7.4.3 Kaabeldus

Kuna seadme liikumisulatused on suhteliselt suured, tuleb tagada, et kaasa liikuvad kaablid ja juhtmed, ei takistaks liikumist või puruneks liikumise käigus. Horisontaalsel liikumisel on selleks kasutatud lülidest koosnevat kaablikandjat (sele 7.6). Kaablikandja on ühest otsast kinnitatud riuli ülemise ääre külge ning teine ots siini rullikud ühendava detaili küljes oleva spetsiaalse kinnituse küljes. Vertikaalsel liikumisel on kaabli kaitsena kasutatud spiraalvoolikut.



Sele 7.6. Kaablikandja

## 8 JUHTIMISLOOGIKA

### 8.1 Mikrokontroller

Seadet oleks võimalik juhtida nii mikrokontrolleriga kui ka PLCga (i.k. *programmable logic controller*), kuid lähtudes THE Systemsi mikrokontrolleritega töötamise kogemusest, on ettevõtte poolne soov, et seade oleks juhitud mikrokontrolleriga. Lähtudes THE Systemsi kompetentsist ja kogemusest on firma poolne soovitus kasutada Atmeli ATxmega256A3BU mikrokontrollerit.

Antud seadme mikrokontrolleri põhiliseks nõudeks on suur arv I/O (i.k. *input/output*) viike, sest kogu seadme juhtimine toimub ühe kontrolleriga. Teine nõue kontrollerile on mälu maht. Seadmes peab olema võimalik salvestada vajalik info ladustatavate karpide ja nende positsioonide kohta. THE Systemsi poolt pakutud mikrokontroller sobib nende kriteeriumitega (tabel 8.1). Lisaks kuna ATxmega256A3BU on USB liides, teeb see väga lihtsaks AS/RSi mikrokontrolleri ühendamise juhtseadmega.

Tabel 8.1. ATxmega256A3BU mikrokontrolleri tehnilised andmed [27]

<b>Protsessor</b>	8-bit AVR
<b>Maksimaalne taktsagedus</b>	32 MHz
<b>Väljaviike</b>	64
<b>Flash mälu</b>	256 Kbytes
<b>Maksimaalne arv I/O viike</b>	47
<b>USB liides</b>	1
<b>Pinge</b>	1,6 V...3,6 V

### 8.2 Juhtimisalgoritmid

Seadme juhtimine toimub pea-algoritmi alusel (lisa 1). Pea-algoritm töötab jätkuvalt, kuni tekib veateade. Veateade tekib olukorras, kus seadmel on tagastuskäsk, kuid pole ühtegi vaba P/D positsiooni ega ka ühtegi ladustamiskäsku, et mõni P/D positsioon vabastada. Pea-algoritmi kolm põhilist käsku on tagasta, ladusta ja sorteer. Vastavalt pea-algoritmi järjekorrale on põhiliste käskude prioriteetid eelnimetatud järjekorras. Antud lõputöö käsitleb kolmest põhilisest käsust kahte: tagastust ja ladustamist.

## 8.2.1 Karbi ladustamine

Karbi ladustamise algoritmi kirjeldab lisa 2. Karbi ladustamine läbi süsteemi algab kasutajale karbi asetamisega P/D positsioonile. Seejärel peab kasutaja vajutama "ladusta" nuppu. Seade kontrollib mahuanduriga, kas P/D positsioonile on ladustatud karp. SRM liigub P/D positsioonile ja skaneerib karbi ning karp liigutatakse SRMile (lisa 4). Varasemalt skaneeritud info põhjal liigub SRM karbi aadressile, seejärel kontrollib positsiooni vakantsust ja juhul, kui positsioon on vakantne ladustab karbi.

Kui positsioonile on ladustatud teine karp, võetakse see teisele SRMile ja ladustatakse esimesel SRMil olev karp oma õigele positsioonile. Seejärel liigutakse teisele SRMile võetud karbi aadressile. Kui see on vakantne ladustatakse karp, kui ei, siis jätkub eelnimetatud protsess, kuni karbid on õigetel positsioonidel.

## 8.2.2 Karbi tagastus

Karbi tagastuskäsk tuleb mikrokontrollerisse juhtseadmelt läbi USB ühenduse. Karbi tagastuse algoritmi kirjeldab lisa 3. Esmalt kontrollitakse, kas soovitud karp peaks süsteemis olema. Juhul kui karp pole süsteemis, antakse kasutajale sellekohane teade, kuid kontrollitakse füüsiliselt üle karbi positsioon. Kui soovitud karp siiski on õiges kohas, tagastatakse karp kasutajale.

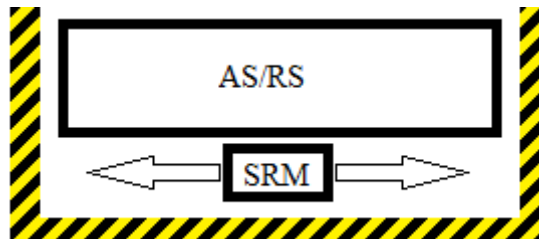
Kui karp peab süsteemis olema, liigutakse karbi aadressile ja kontrollitakse, kas sinna on midagi ladustatud. Juhul kui ei ole, antakse veateade. Kui karbi aadressil on midagi ladustatud, kontrollitakse, kas tegu on otsitud karbiga. Kui tegu on kasutaja poolt soovitud karbiga võetakse karp SRMile (lisa 3) ja viiakse P/D positsioonile. Juhul, kui tegu ei ole kasutaja poolt soovitud karbiga, skaneeritakse karp ja liigutakse selle aadressile ning protsess kordub vakantsuse kontrollist. Kui soovitud karp on tagastatud, kontrollitakse, kas järjekorras on teisi tagastusi. Juhul kui on, algab protsess algusest, kui ei ole, siis kontrollitakse, kas protsessi käigus avastati valesti tagastatud karpe. Kui esines valesti tagastatud karpe, käivitub sorteerimisalgoritm.

## 9 MASINA OHUTUS

### 9.1 AS/RSi töötsoon

Antud seade töötab inimeste vahetus läheduses, seega on tarvis pöörata erilist tähelepanu seadme ohutusele. Tegu on liikuvate masinaosadega, seega võib seade kujutada endast inimestele ohtu. Õnnetuste ära hoidmiseks ja riski vähendamiseks peab seadme ümber olema märgitud töötsoon (sele 9.1), kuhu inimesel on keelatud siseneda, kui seade on töötsükli.

Töötsoon ei pea olema füüsilise piirdega, sest see raskendaks seadme kasutamist ning antud seadme poolt kujutatud oht ei ole nii tõsine, et oleks selle järgi vajadus. Töötsooni märkimiseks piisab visuaalsest tähistusest, näiteks seadme läheduses põrandale kleebitud selgelt eristuvatest kleepribadest (sele 9.1).



Sele 9.1. AS/RSi töötsoon

### 9.2 Stopplüliti

Ohu või õnnetuse olukorras on oluline, et oleks võimalik seade seisata. Selle jaoks on seadmel stopplüliti (sele 9.2), mis lülitab välja seadme jõuelektroonika. Stopplüliti asukoht on P/D positsioonide ja kasutajaliidese vahetus läheduses. Stopplüliti peab paiknema nähtaval kohal ning selle juures peaks olema selgitav silt, et selle otstarve oleks kasutajale üheselt mõistetav.



Sele 9.2. Stopplüliti [28]

### 9.3 Komponentide kahjustumise vältimine

Kuna seadmes ladustatakse eeskätt elektroonikakomponente, tuleb tähelepanu pöörata ESD (i.k. *electrostatic discharge*) ohutusele. ESD on põhiliselt staatilisest elektrist tingitud elektrivool. ESD on reeglina inimesele ohutu, kuid ESD tundlikele elektroonikakomponentidele võib see mõjuda laastavalt, sest ESD korral jääb vool väga väikeseks, kuid pinge võib ulatuda tuhandete voltideni. [29]

ESD vältimiseks peavad riul ja võimalikud paljud elektrit juhtivad seadme osad olema maandatud. ESD turvalisusele aitab ka kaasa karpide materjal, milleks on polüpropüleen.

## KOKKUVÕTE

Bakalaureuse töö eesmärgiks oli analüüsida erinevaid võimalikke tehnilisi lahendusi ja rakendatavust AS/RSi loomisel. Kuna AS/RSe on mitme erineva ehitusega, on töö esimeses peatükis põgus ülevaade olemasolevatest lahendustest, mille hulgast on valitud antud töös käsitletud süsteem. Antud töö käigus valminud seade on mõeldud käitlema väikese massiga karpe, kus hoiustatakse peaaesjalikult elektroonikakomponendid.

Seadme pealiikumiste realiseerimiseks on mitmeid variante. Antud töö peatükis 3 tehtud analüüsi alusel on sobivaimaks variandiks hammasrihmülekanded. Varasemalt paika pandud tingimuste alusel on põhjendatud ka rihma ja rihmaratta valik. Seadmel on kaks pealiikumist. Horisontaalne liikumine toimub mööda siini laagerdatud rullikutel. Vertikaalne liikumine toimub mööda kahte ümmarguse ristlõikega juhikut. Sujuvaks liikumiseks on kasutatud kuulpukse.

Karpe haarav moodul ehk SRM on antud lõputöös realiseeritud elektromagnetiga, mis lisab AS/RSi paindlikuse ja vähendab vajadust täpsuse järele. SRMi liigutamine toimub trapetskeermelatiga. Kuna AS/RS peab olema võimeline karpe tuvastama on seadmes kasutuses vöötkoodi lugeja, mille tööpõhimõtte ja valiku põhjendus on antud töös kirjeldatud.

Töös on ajamitena kasutatud samm-mootoreid. Samm-mootorite lihtne juhtimine ja võrdlemisi suur saavutatav täpsus ilma tagasisideta on nende suurimaks eeliseks. Samm-mootoritega kaasnevad resonantsi ja vibratsiooni probleeme saab vältida, tehes katselisel teel kindlaks pöörlemiskiiruse resonantsvahemikud. Mootorite juhtimine toimub mootori kontrollerite ja draiveritega. Sellise lahenduse eeliseks on kompaktsus ning lihtsus. sest kui iga mootori igat mähist ei pea otseselt juhtima mikrokontrolleriga, lihtsustab see nii elektroonikat kui ka mikrokontrolleri programmeerimist.

Seadmes on kontrollerina kasutatud ATxmega256A3BU mikrokontrollerit. Selle USB liides lihtsustab kontrolleri ühendamist tagastuskäske edastava juhtseadmega. Juhtimise poole pealt kirjeldavad lisad 1 kuni 4 seadme erinevaid algoritme.

Üheks suurimaks probleemiks antud seadme juures, on selle maksumus. Lisa 6 kujutab endast mittetäielikku maksumuse arvestust. See sisaldab põhiliselt elektroonikakomponentide hindasid. Sealt selgub, et tegu on vägagi kuluka projektiga ja võttes arvesse, et hinna sisse pole arvestatud riulit, enamike mehaanikakomponente ega ka töö hinda on tõenäoline, et

seadme tegelik maksumus on enam, kui kaks korda kõrgm, kui lisa 6 hinnaarvestus. Seade muutub tasuvaks juhul, kui tegu on äärmiselt ajakriitiliste projektide täitmisega või käidelda tuleb märksa suuremat hulka komponente. Sellisel juhul on võimalik ka mitme analoogse seadme paralleelselt ühendamise ning seeläbi ühe suure süsteemi loomine. Võimalik on ka otsida odavamaid alternatiive vajalike komponentide hankimiseks.

Autor leiab, et antud töö täidab sissejuhatuses püstitatud eesmärgid ning on väärtuslikuks sisendiks THE Systemsile AS/RSi loomisel.

## SUMMARY

The aim of this bachelor thesis is to analyze different possible technological solutions for an AS/RS or automated storage and retrieval system. Because there are many different principal solutions for AS/R systems the first chapter of this paper gives a brief overview of the systems currently on the market. The system that is covered in this paper is meant to handle small loads consisting mainly of electronic components.

There are many possibilities to realize the main motions of the AS/RS. The analysis of different variants contained in chapter 3 indicates that the most reasonable option is to use synchronous belt drives. Based on pre-set conditions the choice of a belt and a pulley are explained. The two main motions are horizontal and vertical. The horizontal motion takes place on rollers with ball-bearings that move inside a guide-rail. The vertical motion is guided by two round guiderails with two ball-bushings.

SRM or storage and retrieval machine is the module that places units in shelves and takes them from there. SRM works with an electromagnet that latches on to a ferromagnetic plate attached to the storage-unit. This decreases the need for precision. The movement of the electromagnet is realized with a trapezoidal screw thread. Because the AS/RS needs to identify storage-units, it is equipped with a barcode scanner.

The motors suggested in this paper are stepper-motors. The main benefits of stepper-motors are ease of control and relative precision even though there is no feedback. The problems with resonance and vibration that often accompany stepper-motors can be avoided by identifying the speeds at which these problems occur and by avoiding the use of these speeds. The motors are controlled with motor controllers and drives. The benefits of the aforementioned control are the compactness and the easier coding of the microcontroller.

The microcontroller used in this device is ATxmega256A3BU. The integrated USB interface simplifies the connection between the microcontroller and a main control unit. This paper contains additional material on the algorithms for the microcontroller.

One of the biggest drawbacks of the machine is its price. In the additional material Lisa 6 there is a partial cost calculation which contains mainly the prices of electronic components. From there one can see that it is a very costly project. Considering that the price does not include the cost of the shelves, most mechanical components nor the cost for the work the



total price can be arguably as much as two times higher than the partial cost calculation indicates. The machine becomes profitable if the company is dealing with extremely time-critical projects or if the amount of units stored in the system is considerably greater. In that case it is possible to use many such machines in parallel to create a larger uniform system. It is also possible to consider cheaper alternatives to inquire the components needed.

The author of this thesis finds that the goals set in the introduction are achieved and believes that this paper gives valuable input for THE Systems in the process of designing and building an AS/RS.

## KASUTATUD KIRANDUS

- [1] Inc. ettevõtluslehekülg [WWW] <http://www.inc.com/encyclopedia/automated-storage-and-retrieval-systems-as-rs.html> (21.4.2014).
- [2] Agilistics kodulehekülg [WWW] <http://www.agilistics.com.au/newsletter/links/Automatedstorageandretrievalsystem.pdf> (23.4.2014).
- [3] LabAutopedia kodulehekülg [WWW] [http://www.labautopedia.com/mw/index.php?title=Automated\\_Storage\\_and\\_Retrieval\\_Systems\\_\(AS/RS\)](http://www.labautopedia.com/mw/index.php?title=Automated_Storage_and_Retrieval_Systems_(AS/RS)) (22.4.2014).
- [4] Stock Drive Products/Stirling Instrument koduleht [WWW] <http://www.sdp-si.com/D265/PDF/D265T003.pdf> (27.4.2014).
- [5] Mekanex tootekataloog [WWW] [http://www.mekanex.se/pdf/pdfkat/142\\_157-b.pdf](http://www.mekanex.se/pdf/pdfkat/142_157-b.pdf) (15.5.2014).
- [6] Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn: TTÜ Kirjatus, 2012.
- [7] Postshop kodulehekülg [WWW] Available: <http://www.postshop.ee/ee-liugs%C3%BCsteemid-catalog-view-5-3-0> (10.5.2014).
- [8] HIWINi kodulehekülg [WWW] Available: [http://www.hiwin.de/en/BallBushes-Products?co\\_id=4267](http://www.hiwin.de/en/BallBushes-Products?co_id=4267) (13.5.2014).
- [9] Ü. Uder, Füüsika II, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2006.
- [10] E.C. Ferreira, N.M. Neves, R. Muchalle, A.S. Pouzada, „Friction properties of thermoplastics in injection molding,“ *Proceedings of the SPE ANTEC conference*, 2002.
- [11] Elfa tootelehekülg [WWW] [https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/Kuhnke\\_Magnete\\_HT-Dxx\\_ger\\_eng\\_tds.pdf](https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/Kuhnke_Magnete_HT-Dxx_ger_eng_tds.pdf) (29.4.2014).
- [12] Elfa tootelehekülg [WWW] [https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/luULN2001-04\\_data\\_e.pdf](https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/luULN2001-04_data_e.pdf) (19 5 2014).
- [13] Denso ADC kodulehekülg [WWW] <http://www.nacs.org/LinkClick.aspx?fileticket=D1FpVAvvJuo%3D&tabid=1426&mid=4802> (1.5.2014).
- [14] Barcodes Inc. kodulehekülg [WWW] <http://www.barcodesinc.com/cats/barcode-scanners/laser.htm> (29.4.2014).

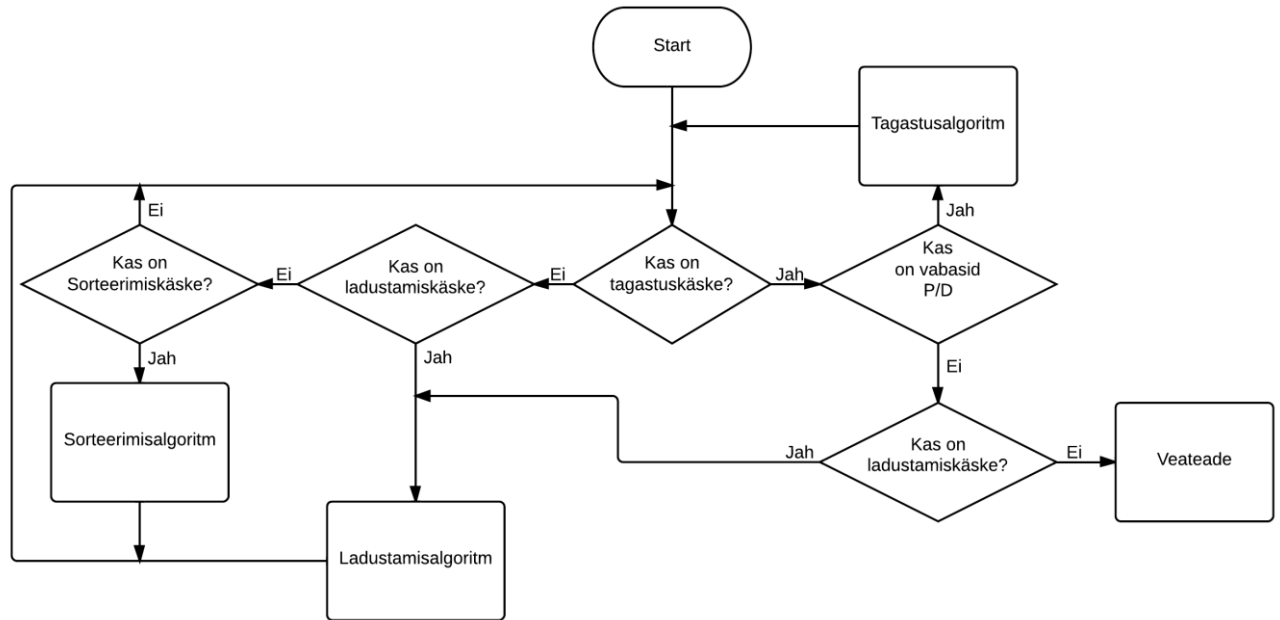
- [15] Advanced Wireless, Inc. kodulehekülg [WWW]  
[http://www.google.ee/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CEAQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.advanced-wireless.com%2Fcore%2Fmedia%2Fmedia.nl%3Fid%3D469%26c%3DACCT111961%26h%3Dfe2d53d846e124faedb7%26\\_xd%3DT%26\\_xt%3D.pdf&ei=Sm1fU4XOLMm04ASu\\_ICwCQ&usg=AF](http://www.google.ee/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CEAQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.advanced-wireless.com%2Fcore%2Fmedia%2Fmedia.nl%3Fid%3D469%26c%3DACCT111961%26h%3Dfe2d53d846e124faedb7%26_xd%3DT%26_xt%3D.pdf&ei=Sm1fU4XOLMm04ASu_ICwCQ&usg=AF) (29.4.2014).
- [16] Leuze BCL 8 infoleht [WWW] <http://www.wolfautomation.com/assets/15/BCL8.pdf> (8.5.2014).
- [17] About.com veebilehekülg [WWW]  
<http://components.about.com/od/Components/a/Stepper-Motors-Vs-Servo-Motors-Selecting-A-Motor.htm> (20.5.2014).
- [18] Circuit Specialists kodulehekülg [WWW] <http://www.circuitspecialists.com/stepper-motor> (2.5.2014).
- [19] Freescale kodulehekülg [WWW]  
[http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/app\\_note/AN2974.pdf](http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/app_note/AN2974.pdf) (2.5.2014).
- [20] Elfa tootelehekülg [WWW]  
[https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/ewPK2\\_dat\\_e.pdf](https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/ewPK2_dat_e.pdf) (18.5.2014).
- [21] Elfa tootelehekülg [WWW]  
[https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/vzQSH2818\\_manual.pdf](https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/vzQSH2818_manual.pdf) (18.5.2014).
- [22] Trinamicu tootelehekülg [WWW]  
[http://www.trinamic.com/\\_articles/\\_common/\\_files/TRINAMIC\\_Product\\_Guide.pdf](http://www.trinamic.com/_articles/_common/_files/TRINAMIC_Product_Guide.pdf) (20.5.2014).
- [23] Elfa tootelehekülg [WWW] [https://www.elfa.se/elfa3~ee\\_et/elfa/init.do?item=35-873-26&toc=20356](https://www.elfa.se/elfa3~ee_et/elfa/init.do?item=35-873-26&toc=20356) (18.5.2014).
- [24] Parallaxi tootelehekülg [WWW] <http://www.parallax.com/product/27977> (18.5.2014).
- [25] Elfa tootelehekülg [WWW]  
[https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/mdGLS\\_data\\_d\\_e.pdf](https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/mdGLS_data_d_e.pdf) (21.5.2014).
- [26] Elfa tootelehekülg [WWW]  
[https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/uei30\\_eng\\_tds.pdf](https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/uei30_eng_tds.pdf) (21.5.2014).
- [27] Atmeli kodulehekülg [WWW]  
<http://www.atmel.com/devices/atxmega256a3bu.aspx?tab=parameters> (19.5.2014).
- [28] Elfa tootelehekülg [WWW]  
[https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/Lumotast\\_22\\_eng.pdf](https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/Lumotast_22_eng.pdf)

(18.5.2014).

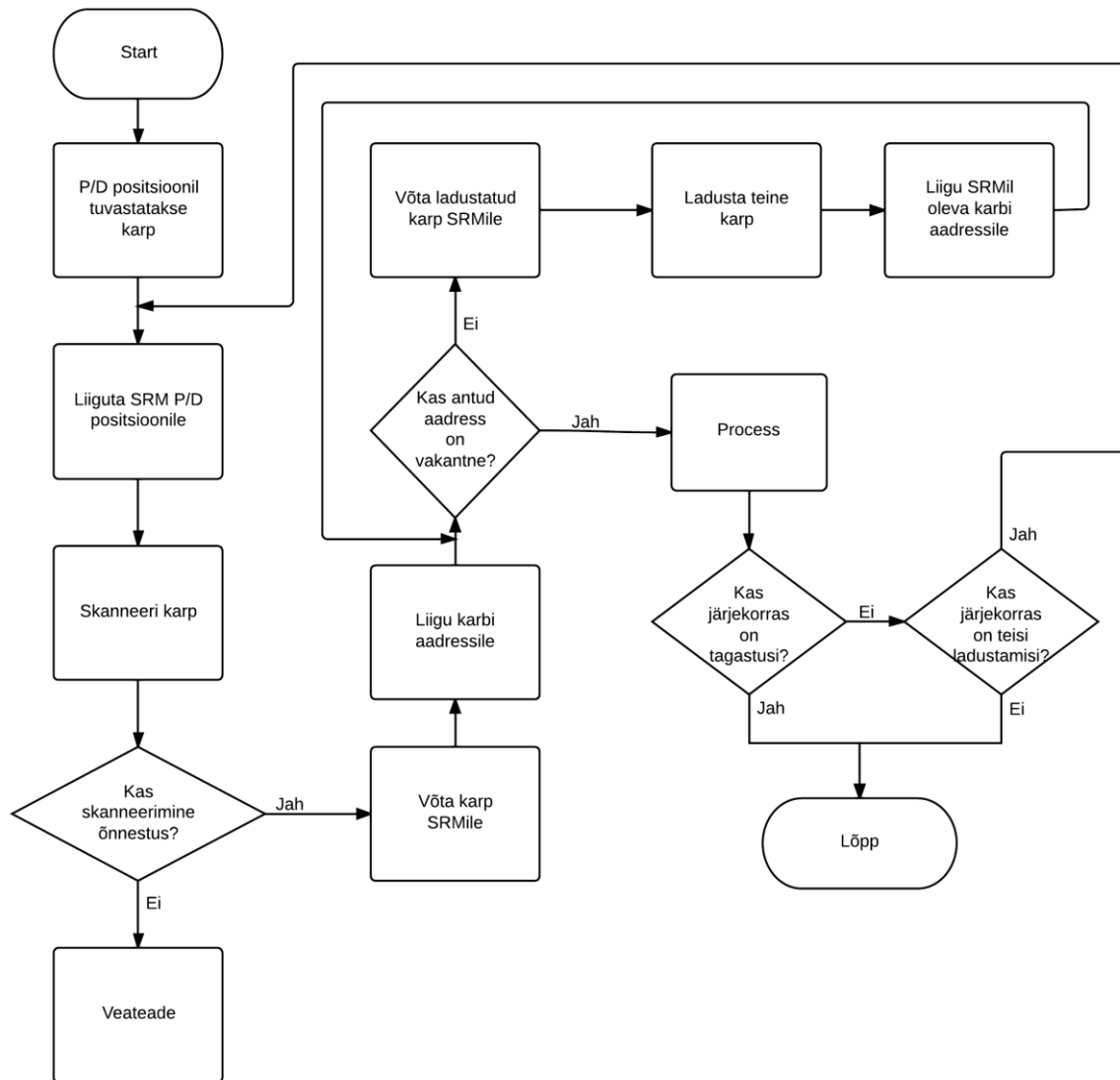
[29] Mini-Circuits kodulehekülj [WWW] <http://www.minicircuits.com/app/AN40-005.pdf>  
(1.5.2014).

# LISAD

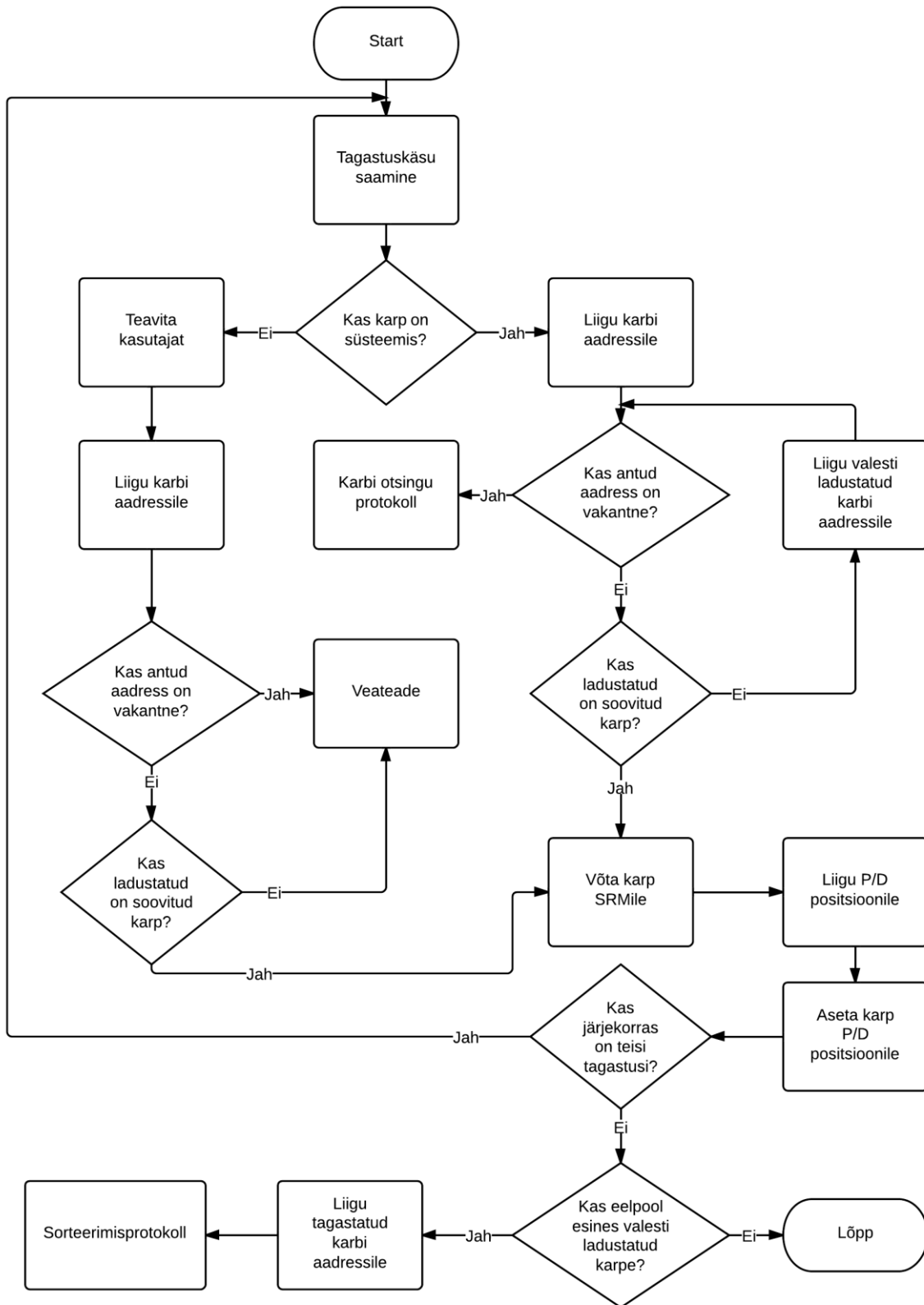
## Lisa 1 Pea-algoritm



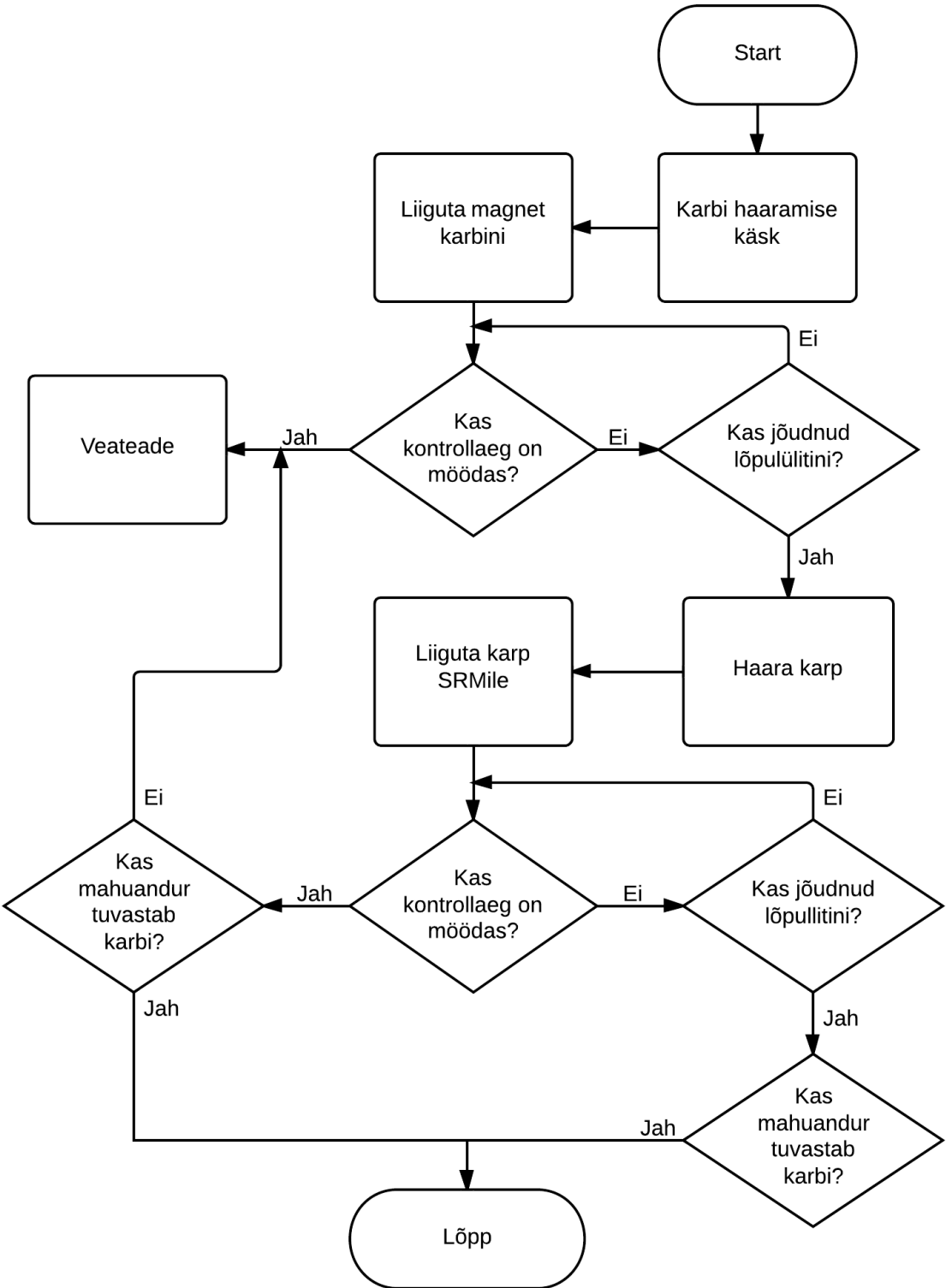
## Lisa 2 Karbi ladustamise algoritm



## Lisa 3 Karbi tagastuse algoritm

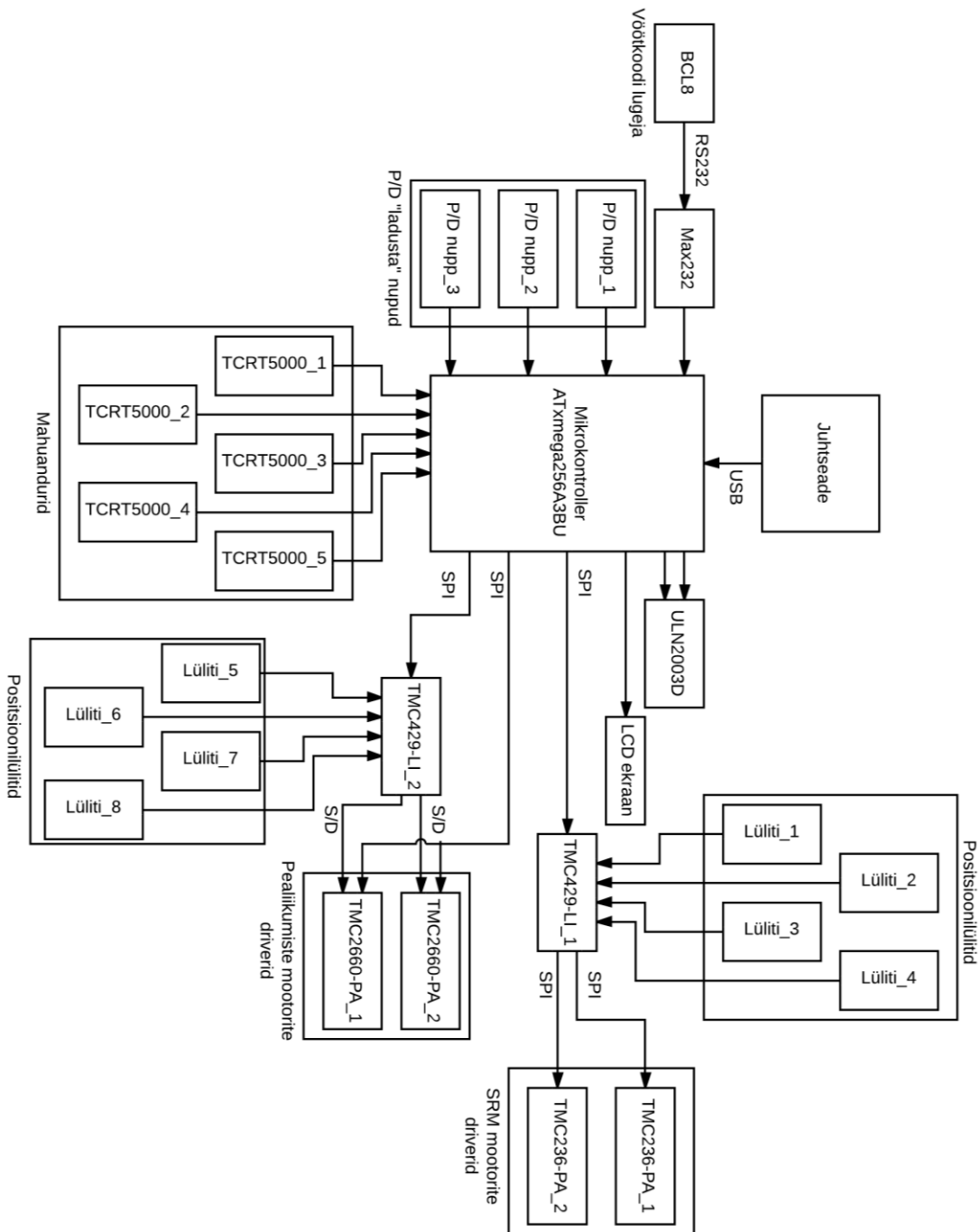


Lisa 4 Karbi haaramise algoritm





# Lisa 5 Mikrokontrolleri ühendamise põhimõte



## Lisa 6 Hinna arvestus

Seade	Mudel/tootekood	Kaupmees	Hind	Kogus	Hind kokku
Toiteplokk	GLS 230/24-1	Elfa.se	96,20€	1 tk	96,20€
DC/DC muundur	UEI30-050-Q12P-C	Elfa.se	54,40€	2 tk	108,80€
Mikrokontroller	ATxmega256A3BU	Elfa.se	9,44€	1 tk	9,44€
Liides	MAX232CWE+	Elfa.se	2,12€	1 tk	2,12€
Samm-mootor	PK246JDA	Elfa.se	103€	2 tk	206€
Samm-mootor	QSH2818-32-07-006	Elfa.se	44,90€	2 tk	89,80€
Samm-mootori kontroller	TMC429-LI	Elfa.se	8€	2 tk	16€
Samm-mootori draiver	TMC236A-PA	Elfa.se	10,40€	2 tk	20,80€
Samm-mootori draiver	TMC2660-PA	Elfa.se	8,65€	2 tk	17,3€
Vötkoodi lugeja	Leuze BCL 8	Leuze.com	594,30€	1 tk	594,30€
Elektromagnet	Kuhnke HT-D20-F-24V100	Elfa.se	48,30€	2 tk	96,60€
Optiline sensor	TCRT5000 IR switch	E-Bay	1,35 €	5 tk	6,75 €
Lüliti	D2F-L Micro switch	Elfa.se	2,13€	8 tk	17,04€
Stopp-lüliti	Lumotast 22	Elfa.se	31,90€	1 tk	31,90€
Ekraan	LCD Display 27977	Parallax.com	19,71€	1 tk	19,71€
Siinisüsteem	Complete Set MA-40	Postshop.ee	47,20€	1 tk	47,20€
Karp		E-Bay	23,45€/40 tk	320 tk	187,60€
<b>Hind kokku:</b>					1 570,55 €