



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

# TRAADIKEERUTUSLIINI TOOTLIKKUSE TÕSTMINE

CAPACITY INCREASE OF WIRE STRANDING LINE

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Oliver Suuster  
/nimi/

Üliõpilaskood: 178031MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, dotsent  
/nimi, amet/

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.

“.....” ..... 2019

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” ..... 2019

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....2019

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri

## Mehaanika ja tööstustehnika instituut

### LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Oliver Suuster, 178031  
**Õppekava, peeriala:** MATM, mehhanotehnika  
**Juhendaja:** Toivo Tähemaa, dotsent, +372 50 91918

#### Lõputöö teema:

Traadikeerutusliini tootlikkuse tõstmine.  
Capacity increase of wire stranding line.

#### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Liini optimaalsete parameetrite defineerimine
2. Funktsionaalsuse suurendamine
3. Tootlikkuse tõstmine

#### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lähteülesande koostamine	jaanuar 2019
2.	Muudatuste rakendamine	veebbruar 2019
3.	Lõputöö koostamine	kevad 2019
4.	Lõputöö kaitmine ja esitamine	mai 2019

**Töö keel:** eesti keel

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....2019 a

**Üliõpilane:** Oliver Suuster

..... ".....".....2019 a

/allkiri/

**Juhendaja:** Toivo Tähemaa

..... ".....".....2019 a

/allkiri

# SISUKORD

EESSÕNA.....	5
SISSEJUHATUS .....	6
1. ÜLEVAADE PROTSESSIST .....	8
1.1 Ettevõtte.....	8
1.2 Toodetavad tooted .....	9
1.3 Liin .....	13
1.4 Protsessi analüüs.....	19
2. TEHNILINE ETTEPANEK .....	21
2.1 Ohutus.....	23
3. MUUDATUSTE RAKENDAMINE.....	25
3.1 Vedaja ajami valik .....	25
3.2 Vastuvõtja juhtimise uuendus .....	36
3.2.1 Riistvaraline uuendus.....	36
3.2.2 Töökorralduse uuendus .....	45
4. MAJANDUSLIK OSA.....	49
4.1 Projekti kulud .....	49
4.2 Tasuvusarvutus .....	50
KOKKUVÕTE .....	53
SUMMARY .....	54
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	55
LISAD .....	57

## EESSÕNA

Magistritöö on algatatud ja teostatud ettevõttes Prysmian Group Baltics AS. Lõputöö eesmärkideks on tööks vajalike parameetrite selgitamine, keerutusliini tootlikkuse tõstmine ning täiendava funktsionaalsuse lisamine.

Ettevõttesiseste andmetega toodete ja protsesside osas olid abiks kvaliteedijuht Paavo Brauer ja tootejuht Erkki Keerig.

Lõputöö koostati Toivo Tähemaa juhendamisel.

kaabel, keerutamine, õhuliin, tootlikkus, magistritöö

## SISSEJUHATUS

Magistritöö eesmärgiks on tõsta kaablikeerutusliini tootlikkust läbi osalise moderniseerimise ning mehaanilise ülekande asendamisega elektrijamiga. Lõputöö on teostatud ettevõttes Prysmian Group Baltics AS ning toodetavateks toodeteks on õhuliinide seeriad AMKA ja EX.

Lõputöö käigus on kasutatud järgnevaid Siemensi poolt pakutavaid tarkvarasid: programmeerimiseks Step5, Step7, WINCC, TIA portal V13, ASiMon 3 ja joonestamiseks Solid Edge ST10.

Esmalt fikseeritakse protsessi ja seadmete algne olukord, mille põhjal valitakse liini parendamist vajavad sõlmed. Samuti on tähelepanu all liinil töötavate operaatorite efektiivne ja ohutu töötamise meetodika rakendamine.

Tootlikkust suurendatakse nii mehaaniliste, elektriliste kui ka tarkvaraliste nõrkade kohtade lahendamiseks. Mehaaniliste sõlmede puhul saab kindlaks teha maksimaalsed vajalikud töörežiimid erinevate läbimõõtudega toodete tootmiseks. Vastavalt tootespetsiifika nõudmistele valitakse liinile lintvedaja ajam ning viimaks, tarkvaralise poolega saavutatakse juhtloogika.

Vastuvõtja juhtimissüsteemi uuenduse eesmärgiks on tuvastada ning asendada aegunud komponendid, mis on oma elutsükli juba läbinud ning on tänaseks tootmisest maas. Taolisi komponente on võimalik soetada vaid kasutatud kujul ja kuni mitmekordse tänapäevase komponendi hinna eest. Elektrilised komponendid tuleb asendada tänapäevaste vastu, säilitades sellega masina töökindluse ning vähendada oluliselt vigade ning varuosade otsingute aega. Lisaks saadavusele ja hinnale on ka aastatega täiendatud mitmete komponentide täpsust ning funktsionaalsust.

Tarkvaralistest uuendustest on olulisel kohal esmalt uuendada riistvara poolelt Siemensi S5 kontrolleri tänapäevase S7 1200 kontrolleri seeria vastu. Riistvaraline uuendus võimaldab siduda keerutusseade vastuvõtja ning operaatori juhtpaneeliga, tagades konstantse infovahetuse seadmete vahel. See on oluline, et saavutada sünkroonsus ning muuta liini erinevad osad töötamaks kui üks seade.

Funktsionaalsuselt saab täiendust vastuvõtja seade, mis vähendab oluliselt operaatori töökoormust. Manuaalne trumlivahetus vahetatakse poolautomaatse vastu, säilitades nii kontrolli protsessi üle ning hoides projekteeri kulud mõistlikud. Lisaks vastuvõtjale, saab liin võimaluse

kasutada vabalt seadistavat keerutussammu, mis algselt võimalik polnud. Sammu reguleerimine saavutati eelnevalt kahe käigukasti abil.

Magistritöö majanduslikus osas võetakse kokku projekti reaalsed kulud komponentidele ja tööjõule. Vastavalt lõputöös saavutatud efektiivsuse tõusule arvutatakse projekti teoreetiline tasuvusaeg.

Lõpetuseks võetakse kogu projekt kokku. Vaadeldakse algselt seotud eesmärkide täitmist lähteülesandes ja hinnatakse projekti teostust. Lisadest leiab magistritöö plakati, mootori andmelehe ning liini asendiplaani.

# 1. ÜLEVAADE PROTSESSIST

## 1.1 Ettevõte

Prysmian Group Baltic AS ehk varasemalt tuntud kui ka Keila kaabel on Keilas paiknev tootmisüksus, mis on spetsialiseerunud madal- ja keskpinge kaablite tootmisele ja müümisele. [1] Lisaks omatoodangule on esindatud ka teiste Prysmiani gruppi kuuluvate ettevõtete tootevalik. Valdav osa turust on täna Baltikum ning ettevõtte harukontorid on esindatud nii Riias kui ka Vilniuses.

Ettevõtte kvaliteedisüsteem on tunnustatud ISO 9001 ja keskkonnajuhtimissüsteemi ISO 14001 vääriliseks.[2] Ettevõtte on osa suuremast kontsernist Prysmian Group, mis on juhtiv kaablite tootja globaalsel turul.[3]



Joonis 1.1 Prysmian Group Baltics tootmisala [1]

Kaablite tootmiseks vajalikud sammud teostatakse täielikult ettevõtte sees. Selle hulka kuuluvad järgnevad tehnoloogiad:

- Traadi tõmbamine
- Traatide keerutamine
- Traadi termotöötlus
- Keerutatud traatide katmine plastmassiga
- Plastmassiga kaetud soonte keerutamine omavahel

Käesoleva magistritöö käigus keskendutaksegi plastmassiga kaetud soonte keerutamise tehnoloogiale.



## 1.2 Toodetavad tooted

Magistritöö käigus käsitletavateks toodeteks on AMKA ja EX õhuliinijuhtmed. Mõlemaid tooteid toodetakse moderniseeritava keerutusliini peal, kuid nagu viitab nende tootenimi, siis leidub mõningaid tehnoloogilisi eripärasusi. Tooteid iseloomustav info on pärit AMKA [4] ja EX [5] andmelehtedelt ning koondatud tabelisse 1.1.

Tabel 1.1 Toodete andmed [4],[5]

Toote nimetus	AMKA 0,6/1(1,2) kV	EX 0,6/1(1,2) kV
Minimaalne ja maksimaalne juhtiva soone pindala	16 mm <sup>2</sup> – 120 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup> – 95 mm <sup>2</sup>
Minimaalne ja maksimaalne kandetrossi pindala	25 mm <sup>2</sup> – 95 mm <sup>2</sup>	Ei ole kohaldatav
Minimaalne ja maksimaalne juhtivate soonte vahemik	1 – 3 tk	2 -4 tk
Standardpikkuse vahemik	500 – 2000 m	500 – 1000 m
Kasutatavad standardpakendid	K11, K12, K14, K16, K18	K9, K11, K14, K20
Lõpp-toote läbimõõt	11 – 42 mm	18 – 38 mm

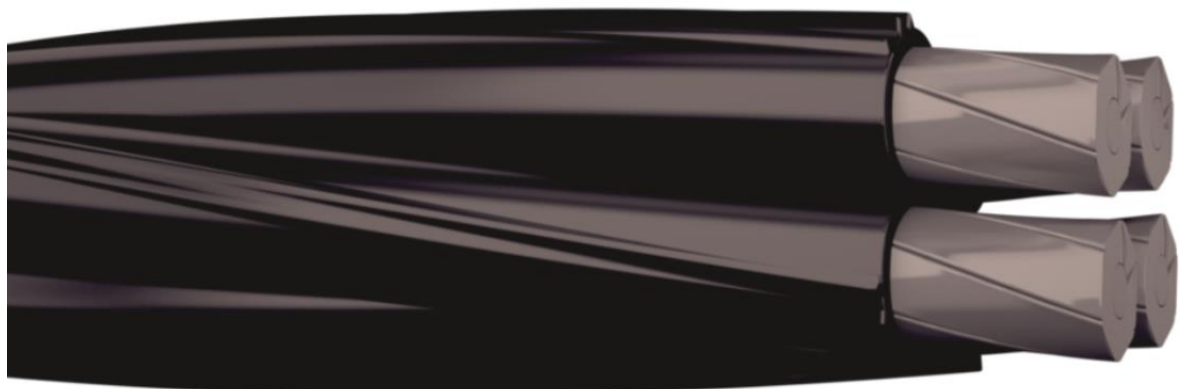
Mõlemal tootel on faasijuhtmetel väljaulatuvad harjad. Harjade kogus juhtmel sümboliseerib faaside järjestust ning ilma märgistuseta tähistatakse neutraali. [5] See on hea viis tuvastamiseks faaside õiget järjekorda kaabli paigaldamisel. Kahe toote erinevus on aga kerimise viis.

Toote AMKA puhul paikneb keskel kandetross, mille ümber keritakse sooned (joonis 1.2).



Joonis 1.2 Keerutatud sooned ümber kandetrossi, toode AMKA [4]

Tootel EX aga puudub keskmine kandetross ning keerutatakse kokku vaid neli juhtivat juhet (joonis 1.3) [5].



Joonis 1.3 Keerutatud sooned, toode EX [5]

Mõlemad tooted keritakse erinevate suurustega K seeria trumlite peale (tabel 1.1). [4], [5] Trumlid on projekteeritud Rootsi standardi SS 84 28 01 järgi, kasutamaks suuremate koormuste jaoks ning pikemaks hoiustamiseks välitingimustes. Trumlite spindliava on tugevdatud teraspuksiga. [6]

Tabel 1.2 Trumlite nominaalsed läbimõõdud ja kaalud [6]

Trumli tüüp, mm	Väli läbimõõt, mm	Siseläbimõõt, mm	Väli laius, mm	Sisemine laius, mm	Spindliava läbimõõt, mm	Nominaalkaal, kg
K10	1000	500	720	600	106	46

K11	1100	580	770	650	106	55
<b>Trumli tüüp, mm</b>	<b>Väli läbimõõt, mm</b>	<b>Siseläbimõõt, mm</b>	<b>Väli laius, mm</b>	<b>Sisemine laius, mm</b>	<b>Spindliava läbimõõt, mm</b>	<b>Nominaalkaal, kg</b>
K12	1200	680	990	850	106	90
K14	1400	800	990	850	110	115
K16	1600	950	1020	850	110	295
K18	1800	1100	1020	850	140	230
K20	2000	1300	1000	1000	140	340

Tootmise käigus kontrollitakse pidevalt läbilööke keerutatud kaablis vahelduvpinge läbilöögiseadme abil (joonis 1.4). Läbilöök tekib isolatsiooni vigastuse või plasti defektist tekkinud ava korral. Juhtmete juhtivad osad on kõik ühendatud liini maandusega ning ava avastamisel tekib suletud ring läbilöögi seadme ja maanduse vahel. Pinge vahemik on reguleeritav 4 kV ja 10 kV vahel. Vea avastamisel edastatakse signaal liini kontrollerrisse, mille abil on võimalik liin seisma panna.



Joonis 1.4 AC läbilöögi kontroll

Lisaks töö käigus teostatavale kõrgepinge kontrollile on kasutusel ka lõpp-toote kontroll (joonis 1.5), kus erinevalt töö käigus kasutatavale kuivale läbilöögi seadmele kasutatakse hoopis vee baasil kontrolli. Tooted uputatakse koos trumlitega vee alla ning juhtivad osad pingestatakse

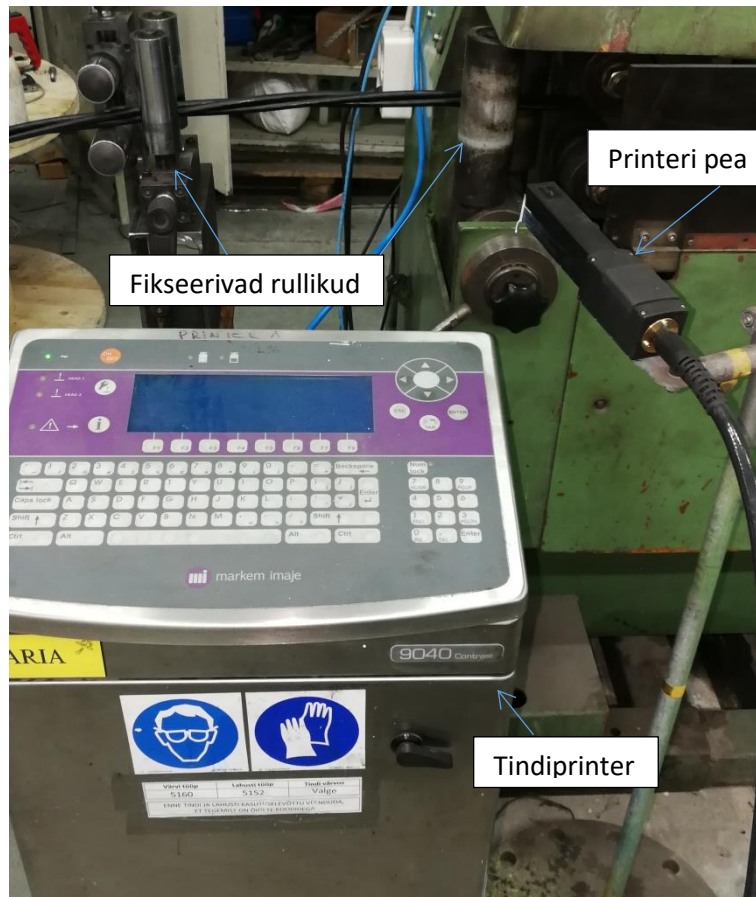
kõrgepingega. Taoline moodus on väga efektiivne ning liin on suuteline leidma läbilöögi koha meetri täpsusega.



Joonis 1.5 Lõpp-katsetus

Kaableid märgistatakse tindiprinteriga (joonis 1.6), kus iga meetri järel prinditakse toote nimi, tootmise number, kuupäev ja kellaeg ning meetrimärk [4].

Printeriks on kasutatud Imaje 9040 seeria Contrast printerit, mis võimaldab printida kuni 330 meetrit minutis. Tähe kõrgus varieerub 1,2 millimeetrist kuni 18,2 millimeetrini. [7] Maksimaalne kiirus on võimalik saavutada vaid väikseima tähe kõrgusega. [7]



Joonis 1.6 Tindiprinter Imaje 9040 Contrast

Kvaliteetse prindi puhul on oluline fikseerida kaabel, kasutades rullikuid. Kaabel ei tohiks liikuda rohkem kui  $\pm 5$  mm printeri pea suhtes. Vastasel juhul tekib loetamatu print, mis tuleb eemaldada ja uuesti peale kanda.

### 1.3 Liin

Toodete AMKA ja EX jaoks kasutatakse liini, mis koosneb vibu tüüpi keerutusseadmest (joonis 1.7), lintvedajast (joonis 1.10) ja vastuvõtjast (joonis 1.14). Keerutusseadme pesadesse (joonis 1.9) on võimalik paigutada 5 trumlit ning keerutusseade on ühendatud mehaaniliselt lintvedajaga. Keerutusseadme ja lintvedaja vahel on aga kasutatud käigukasti (joonis 1.11), mida kasutatakse keerutussammude seadistamisel. Lisaks on liinil kasutusel vahelduvvoolu läbilöögi seade, kontrollimaks kahjustusi isolatsioonis, ning tindiprinter toote- ja pikkuse info printimiseks, mis lisati liinile magistritöö käigus.

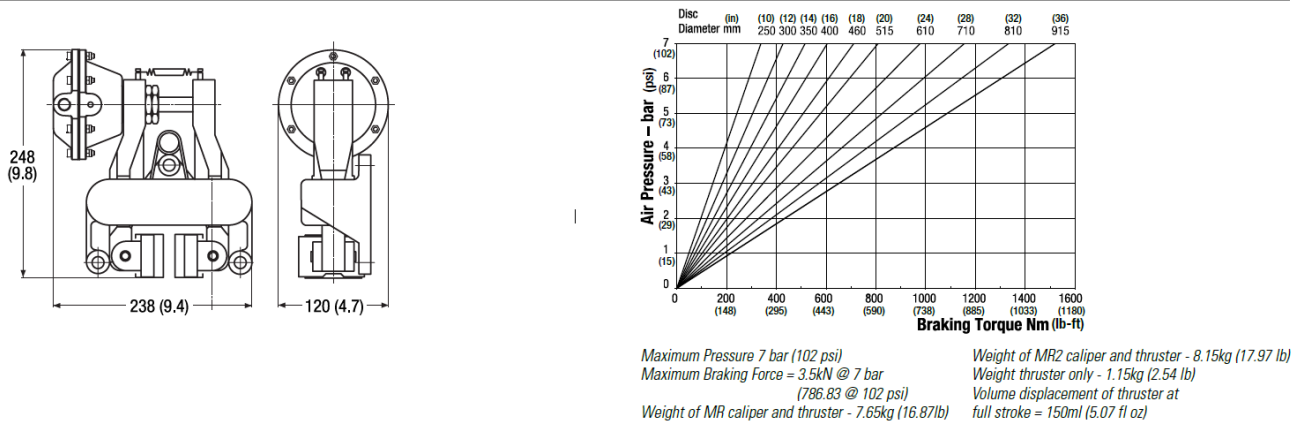


Joonis 1.7 Keerutusseade koos trumlitega

Trumlipesad (joonis 1.9) on varustatud pneumaatilistelt juhivate pukside ehk pinolitega. Pinolid aitavad trumliil pesas pöörelda ja nii soont maha kerida. Trumli hoidmine on lahendatud nii, et trummel toetub pinolite peale ja seega trumlit pneumaatiliste silindritega koos ei hoita.

Trumli pingsuse jaoks on kasutatud TWIFLEX MRD seeria pneumaatilistelt rakendatavat ning vedruga tagastuvat pidurduspatjadega ketaspidurit (joonis 1.8). Pidurdusjõu reguleerimine toimub juhtpuldist reostaatide abil. Õhurõhu reguleerimise vahemik on seadistatav lokaalselt iga pesa juures. Vastavalt vahemikule toimub tööõhu seadistus juhtpuldil vahemikus 0 kuni 100%. Seadistatud pinge saadetakse mööda harjasid pöörlevas osas asuvasse solenoidi, mis reguleerib pneumaatilist drosselit.

### Pneumatically Applied – Spring Released



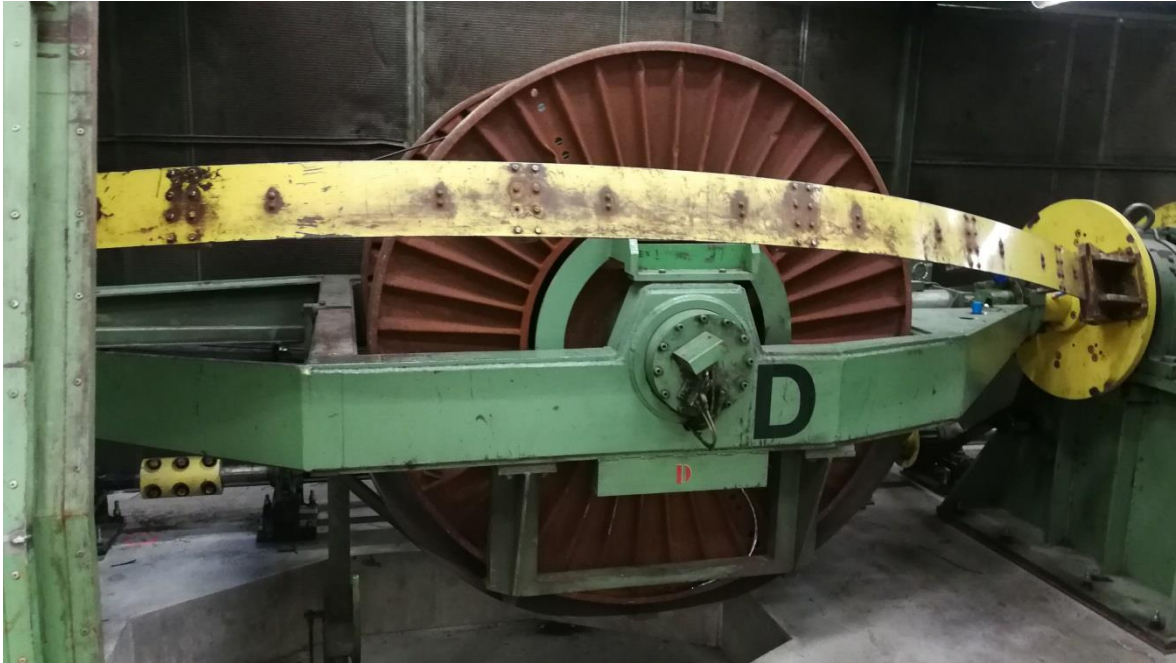
Joonis 1.8 TWIFLEX MRD seeria pneumaatilise täituriga pidurid [8]

Liiga vähese pidurdusjõu puhul hakkab trummel töö ajal inertsiga soont trumliit maha kerima ning soon võib keerutuskarte vahele kinni jääda. Lisaks võib hiljem keerutatud kaabel end lahti kerida, nagu on näha joonisel 1.9. Kuna see on juba kliendi reklamatsioon, siis see on probleem, millele on vaja kõrgendatud tähelepanu pöörata.



Joonis 1.9 Kliendi reklamatsioon: Lahtised sooned ümber kandetrossi

Vastupidiselt, liiga suure pidurdusjõuga kaob tootel ümmargune profiil, kuna kaks väiksema pingsusega kaablit keritakse soone ümber. Ideaalolekus peaks kõik sooned trumliit ära antama võrdse pingsusega. Kandetrossi puhul kasutatakse aga vastupidiselt soontele topelt rõhuga pidureid, saavutamaks suurem pingsus teiste soonte suhtes ja ühtlasi hoides soont tsentris. Nagu viitab soone nimigi, siis kandetrossi peamine funktsioon on kanda kaablit pärast paigaldust.



Joonis 1.10 Kollane pöörlev „vibu“ ja trummel pesas

Sooned liiguvad läbi tõmbeseadme keerutuspeani läbi pöörlevate kaarte ehk vibude (joonis 1.10). Taoline lahendus võimaldab kõikidel soontel jõuda keerutuspeani (joonis 1.2) paralleelsena. Keerutuspeas määratakse soonte kerimise asetus. Koos keerutuspeaga on kasutusel ka terasest valmistatud suunaja, mis annab kaablile spetsifikatsioonis määratud väli läbimõõdu (tabel 1.1 tooteläbimõõd). Suunaja järel toimub läbilöögi kontroll, mille järel jõuab kaabel lintvedajani.

Lintvedaja (joonis 1.11) ülesanne on tõmmata sooni trumlite pealt ning anda liinile lineaarne liikumine. Lintvedaja koosneb ülemisest ja alumisest lindist, mis surutakse omavahel kokku pneumo silindritega. Silindrite surumise jõud on reguleeritav. Ebapiisava rõhu tõttu võib kaabel hakata ennast lahti kerima ning kaotada etteantud läbimõõdu. Liigse rõhuga on aga lintide liikumine raskendatud ja tekib ülekoormus, mille tagajärjel võib lintvedaja ja keerutusseadme vaheline kiilrihmülekanne libisema hakata.





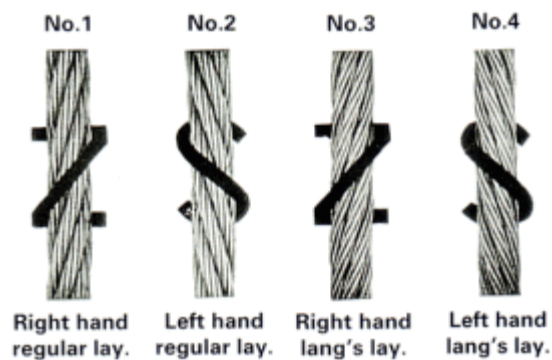
Joonis 1.11 Lintvedaja

Lintvedaja suunda ja kiirust on võimalik juhtida joonisel 1.12 nähtava kahe käigukastiga. Esimeses käigukastis on neli käiku ja teises kuus. Kokku on võimalik valida 24 erineva kiiruse vahel. Käigukastiga määratakse kaabli kerimisel tootele sobiv samm.



Joonis 1.12 Lintvedaja käigukastid

Käigukastide ees on veel lisaks suuna vahetamiseks ülekande mehhanism. Tooteid keritakse nii S kui ka Z suunas (joonis 1.13), seega on lintvedaja suuna vahetuse valik vajalik.



Joonis 1.13 Z ja S kerimise suunad [10]

Toote trumlile kerimiseks kasutatakse kahe portaaliga vastuvõtjat. Operaator paigaldab vastuvõtja portaali pinolite vahele trumli ning kinnitab kaabli trumli külge. Vastuvõtjad on seadistatud hoidma etteantud momenti vedaja suhtes. Korrekse momendi puhul keritakse kaabel alati ühtlaselt trumlile. Ebakorrekse momendi puhul surutakse kaabel soonte vahele või keritakse liiga lahtiselt trumlile. Vastuvõtjate liikumiste jaoks on kasutatud Siemens S5 100 seeria kontrollereid, jagamine toimub eraldi elektroonilisel loogikaplaadil ning kerimise jaoks on kasutatud Siemensi 6RA70 DC muundurit.



Joonis 1.14 Kahe portaaliga vastuvõtja

## 1.4 Protsessi analüüs

Tööd alustades laadivad operaatorid vastavalt töökäsule soone trumliid keerutusseadmesse. Trummel paigutatakse pinolite vahele ning soon tõmmatakse masina pikkuselt läbi. Vajadusel lisatakse katmata soon ehk kandetross. Pidurite reguleerimine on dokumenteerimata ning toetatakse enamasti operaatori kogemusele.

Jagades operaatorite töö sammudeks, saab moodustada järgneva tabeli 1.3. Jälgitavaks protsessiks on 1000 m pikkune toote AMKA 3x50+70 tootmine:

Tabel 1.3 Algne tegevuste järjekord

Samm	Tegevus	Aeg, s
1	Tühja trumli veeretamine vastuvõtja juurde	30
2	Tühja trumli paigaldamine vastuvõtjasse	120
3	Tühja trumli manuaalne liigutamine tööpositsiooni	56
4	Kaabli kinnitamine trumli külge	15
5	Liini käivitamine	40
6	Kaabli keerutamine	1333
7	Pikkuse täitumine ja liini seiskamine	40
8	Kaabli lõikamine	10
9	Trumli manuaalne liigutamine mahalaadimise positsiooni	30
10	Täis trumli mahalaadimine	40
	Kokku:	1714

Tabelist 1.3 selgub, et suurimaks probleemiks on tegevuste järjestikune teostatavus. Vastuvõtja on küll varustatud kahe portaaliga, kuid lõputööd algatades teine portaal töökorras ega kasutuses ei olnud. Põhjuseks oli aegunud elektriliste komponentide rike.

Liini kiiruse defineerib hetkel lintvedaja maksimaalne koormus, mida ületades hakkab keerutusseadme ja lintvedaja vaheline lintülekanne libisema. Libisemise tagajärjel aeglustub liini lineaarne liikumine, kuid pöörlev liikumine säilib. Tagajärjeks keritakse sooned ümber kandetrossi liiga tihedalt (joonis 1.14) ning toode kuulub utiliseerimisele. Sageli tähendab see ka ebastandardse toote tegemist, mida on keerulisem müüa ja seeläbi kulukas hoiustada.



Joonis 1.14 Lintvedaja libisemise tagajärg

Trumlite pidurdusjõud on tootmise ajal konstantne ning pidurdamisel rohkem pidurdusjõudu ei kasutata. Tulemuseks on konstantselt liiga suur pidurdusjõud või siis madal tootmiskiirus, kuna välditakse vedaja ülekoormamist. Suure konstantse pidurdusjõu puhul kuumutatakse pidurdamisel ka pidurikettaid ja –klotse, mis omakorda suurendab pidurduselementide väli mõõtmeid. Selle tulemusena on tööd alustades pidurdusjõud ühe väärtusega ning mõne tunni möödudes märgatavalt suurenenud ja tihtipeale juhtubki vedaja ülekoormus operaatorile ootamatult.

## 2. TEHNILINE ETTEPANEK

Protsessi analüüsist väljendub, et lisaks tegevuste paralleelsest teostamisest on võimalik saavutada oluline tootlikkuse tõus lintvedaja ajami vahetusest. Realiseerides uut töökorraldust (tabel 2.1), on vaja eelnevalt rakendada järgnevad tegevused:

- Eemaldada vedaja ja keerutusseadme vahel olev mehaaniline ülekanne ning asendada see eraldi muunduri ja uue ajamiga.
- Luua uus juhtimissüsteem vastuvõtjale.
- Programmeerida poolautomaatne trumlivahetus.

Tabel 2.1 Optimeeritud töökorraldus

Samm	Tegevus	Aeg, s
1	Kaabli kinnitamine trumli külge	15
2	Liini käivitamine	20
3	Kaabli keerutamine	300
4	Pikkuse täitumine ja liini seiskamine	20
5	Kaabli lõikamine	10
6	Trumli vahetus	20
	Kokku:	385

Tabelist 2.1 on näha, et endiselt jääb operaatorite tööks tühjade trumlite sisestamine vastuvõtjasse ja kaabli kinnitamine trumli külge. Pikkuse täitudes teostab operaator trumlite mahavõtmise ja kaabli lõikamise. Erinevuseks algse töökorraldusega on tühja trumli paigaldus portaali kerimisega samaaegselt. Täis ja tühjade trumlite liigutamine otseselt tootlikust ei tõsta, mille tõttu otsustati tootlikkuse tõstmisel poolautomaatse lahenduse kasuks.

Arvutuslik operaatori töökoormus algselt ühe operatsiooni kohta:

$$\sum t_{alg} = t_{11} + t_{12} + t_{13} + t_{14} + t_{15} + t_{18} + t_{19} + t_{110} \quad (2.1)$$

$$\Sigma t_{alg} = 30 + 120 + 56 + 15 + 40 + 10 + 30 + 40 = 341 \text{ s}$$

$t_{1x}$  – sammude aeg, s (Tabel 1.3)

$t_{alg}$  – algne summaarne aeg, s

Arvutuslik operaatori töökoormus pärast optimeerimist:

$$\Sigma t_{opt} = t_{21} + t_{22} + t_{24} + t_{25} + t_{26} \quad (2.2)$$

$$\Sigma t_{opt} = 15 + 20 + 20 + 10 + 20 = 85 \text{ s}$$

$t_{2x}$  – sammude läbimiseks kuluv aeg, s (Tabel 2.1)

$t_{opt}$  – optimeeritud summaarne aeg, s

Arvutuslik operaatori koormuse vähenemine pärast vastuvõtja optimeerimist:

$$\text{Töökoormuse vahe} = t_{alg} - t_{opt} \quad (2.3)$$

$$341 - 85 = 256 \text{ s}$$

Leian tootlikkuse tõusu vastuvõtjate uuendamise läbi:

$$T_{vv} = \frac{(t_{1\text{ kokku}} - (t_{16} + t_{opt}))}{t_{1\text{ kokku}}} \cdot 100 \quad (2.4)$$

$$T_{vv} = \frac{(1714 - (1333 + 85))}{1714} \cdot 100 \approx 17 \%$$

Leian tootlikkuse tõusu, kui vahetada välja liinil lintvedaja mehaaniline ülekanne eraldi elektriajami vastu ning rakendades optimeeritud töökorraldust:

$$T_{ef} = \frac{(t_{1\text{ kokku}} - t_{2\text{ kokku}})}{t_{1\text{ kokku}}} \cdot 100$$

$$T_{ef} = \frac{(1714 - 385)}{1714} \cdot 100 \approx 77 \%$$

$$T_{vedaja} = T_{ef} - T_{vv} \quad (2.5)$$

$$T_{vedaja} = 77 - 17 = 60 \%$$

Tabel 2.2 Tootlikkuse tõusu koondtabel

Tootlikkuse tõusu asukoht	Tõusu suurus
Vastuvõtja	17%
Vedaja	60%
Kokku:	77 %

Tabelis 2.2 on näha, et suurim tõus tootlikkuses tuleb lintvedaja ajami uuendamisest. Vedajat optimeerides lisandub liinile lisaks efektiivsuse tõusule ka uus funktsioon, mis võimaldab teha suuremate ristlõigetega kaableid, kasutades suuremat kerimissammu.

Samuti annab kerimissammu reguleerimine võimaluse teha ka pooltooteid, kus sooned on omavahel keerutatud, ning hiljem kaetakse need täiendavalt isolatsioonikihiga (joonis 2.1).



Joonis 2.1 ARLC keerutatud ja tihendatud maakaabel

Tootmisel on paindlikkus ja funktsionaalsus alati suureks eeliseks. Juhul kui ühe liiniga peaks midagi juhtuma või on tellimuste tipp hetk, siis võimalus kahe liini peal sama toodet teha on antud ettevõttes nõutud.

Vastuvõtja moderniseerimine ning automatiseerimine omab täiendavat rolli operaatoreid töökoormuse vähendamisel. Inimressursi kasutamise vähendamine on alati boonuseks, kuna nii säilib sama tootlikkus ka vähema arvu operaatritega. Inimressurssi on mõistlik kasutada ülesannetel, mis nõuavad korrapäratuid liigutusi või visuaalset kontrolli protsessi üle.

## 2.1 Ohutus

Keerutusliinil on mitmeid lahtiseid pöörlevaid osi ning reeglina on operaatoreid rohkem kui üks. See kujutab neile aga suurt ohtu. Jõud seadmes on suured ning ekslik liini käivitamine võib tuua

fataalseid tagajärgi. Selleks on vajalik ohtlike olukordade teket välistada ning tekitada töölistele ohutu töökeskkond.

Turvasüsteemidest on läbi liini kasutatud Siemens seadistatavat „AS- Interface“ ehk ASI turvasüsteemi. ASI muudab mugavaks erinevate teekonnalülite, signaali jagurite ja hädaseisu nuppude lisamise võrku, milleks pole vaja teha rohkemat kui ühendada komponent paralleelselt ASI võrku, määrata aadress ja lisada loogikaahelasse. Suureks miinuseks on aga antud süsteemi haldamine ja vigade otsing.

Trumlite ja nende sees toimuva jälgimiseks paigaldati neli IP kaamerat tootjalt Trendnet. Kaamerad on lihtne viis tagada täiendavat ohutust liini ulatuses. Operaatoril on kaamerate pilt pidevalt töökoha läheduses. Enne liini käivitamist veendub operaator, et keegi vahepeal uste vahelt sisse ei ole läinud. Liinil on turvalisust tagavad teekonnalülid vaid kahel tagumisel teenindusüksel. Laadimiseks kasutatavad ukсед annavad liinile vaid märku, kui need on avatud või suletud.



Joonis 2.2 Kaamerate komposiitpilt neljast trumlist

Kaamera komposiitpildist võimaldab operaatoril jälgida trumlite lõppemist ning näha koheselt kui liiga madala pidurdusjõu tõttu sooned trumlilt lahti kerivad. Eelnevalt tuli selleks liin seisma panna ja visuaalselt kontrollida, jalutades iga trumli juurde.



### 3. MUUDATUSTE RAKENDAMINE

Esmalt tuleb alustada mootori, reduktori ja sagedusmuunduri valikuga vedaja jaoks. Pärast seda aga tuleb välja vahetada portaalvastuvõtja juhtimiseks kasutatud kontrollid ning luua poolautomaatne programm. Arvutustes lähtutakse maksimaalsest tootmise olukorrast.

#### 3.1 Vedaja ajami valik

Vedaja ajami valikuga tuleks lähtuda keerutusseadme maksimaalsest pöörlemissagedusest, milleks on  $300 \text{ min}^{-1}$ . Pöörlemissageduse järgi saab leida maksimaalse lineaarse kiiruse vastavalt standardile HD 626 S1:1996/A2:2002, lk 109 [9].

Tabel 3.1 Standard sammude pikkused erinevatele ristlõigetele [9]

Arv ja nominaalne ristlõike pindala juhtidel, $\text{mm}^2$	Maksimaalne sammude pikkus, mm	Maksimaalne läbimõõt, mm
1 x 16 + 25	630	14
3 x 16 + 25	630	21
3 x 25 + 35	750	25
3 x 35 + 50	870	29
3 x 50 + 70	1020	34
3 x 70 + 95	1170	39
3 x 120 + 95	1380	46
4 x 16 + 25	630	21
4 x 25 + 35	750	25

Tootjale on kasulik kerida kaablit maksimaalse sammuga, nii kulub kaabli tootmiseks vähem materjali. Sellest lähtuvalt valitakse ajami maksimaalseks kiiruseks tabelist 3.1 sammude pikkus 1380 mm.

Algses olekus võimaldab vedaja maksimaalselt 980 mm pikkust sammu. Ebapiisav sammu pikkus tähendab kulukamat tootmist toodetel ristlõigetel 50 kuni 120 mm.

Nõutud maksimaalne lineaarne vedaja kiirus:

$$v_{max} = \frac{n_{max} \cdot l_{max}}{1000} \quad (3.1)$$

$$v_{max} = \frac{300 \cdot 1380}{1000} = 414 \text{ m/min}$$

kus,

$v_{max}$  = vedaja maksimaalne kiirus, m/min

$n_{max}$  = keerutusseadme maksimaalne pöörlemissagedus, rpm

$l_{max}$  = maksimaalne sammu pikkus, mm

Vedaja linnid liiguvad edasi 880 mm ühe täispöörde kohta. Teisendan ühikud ühele suurusele 880 mm = 0,88 m.

Leian nõutud vedaja pöörlemissageduse:

$$n_{vedaja} = \frac{v_{max}}{l_{vedaja}} \quad (3.2)$$

$$n_{vedaja} = \frac{414}{0,880} \approx 466 \text{ min}^{-1}$$

kus,

$n_{vedaja}$  = vedaja maksimaalne pöörlemissagedus, min<sup>-1</sup>

$l_{vedaja}$  = vedaja lineaarne liikumine ühele pöördele, m

Nõutava momendi jaoks tuleb esmalt leida maksimaalne pidurdusjõud iga pesa kohta. Korruga on võimalik kasutada kuute pesa ja kandetrossi jaoks lisapidurit. Kokku tuleb arvestada seitsme piduriga. Maksimaalseks pidurdusjõuks on pesa kohta kasutusel oleva 515 mm pidurdusketta puhul 800Nm (joonis 1.8).

Seadme algses olekus kasutati konstantset väärtust liini käivitamisel, seiskamisel ja tööolukorras. See aga tähendas omakorda ebaefektiivset pidurdusjõu kasutamist tootmisel. Soont maha kerides on trumli pöörlemissagedus enamasti pulseerivalt muutuv, kuna kaabel ei pruugi alati olla

ideaalselt jagatud. Sellisel juhul kasutatakse töö käigus pidurit, et tagada soone pingsus ja kompenseerida pulseerivat kiirust.

Tööks vajalikud pidurdusjõud selgitati eksperimenteerimise käigus. Vajalik õhurõhk tööpidurile on 1 bar, millele vastab joonise 1.8 järgi 100 Nm.

Summaarne maksimaalne tööks vajaminev pidurdusjõud:

$$\sum \tau_{pidurmax} = 7 \cdot \tau_{töö} \quad (3.3)$$

$$\sum \tau_{pidurmax} = 7 \cdot 100 = 700 \text{ Nm}$$

kus,

$$\tau_{pidurmax} = \text{maksimaalne pesade pidurdusjõud, Nm}$$

$$\tau_{töö} = \text{maksimaalne tööks vajaminev pesa pidurdusjõud, Nm}$$

Mõistlik on eraldada töö ja aeglustamise jaoks vajaminevad pidurdusjõud. Sellega on võimalik lühendada kiirenduse ja aeglustuse siirete aegasid ning ühtlasi suurendada ka liini üldist kiirust. Efektiivsuse vaatenurgast oleks mõistlik jälgida iga soone pingsust ning reguleerida igat pidurit PID regulaatori abil, kasutades proportsionaalklappi. Antud lahendus oleks aga küllaltki kulukas ning vajadus niivõrd täpse pingsuse järgi puudub. Seega valitakse hoopis kaks konstantset rõhku, millest üks on töö ja teine aeglustuse jaoks.

Leidmaks kiirendavaid ja pidurdamiseks vaja minevat momenti on esmalt vaja leida kiirendus:

$$a = \frac{v}{t} = \frac{v_{max}/60}{t_{siire}} \quad (3.4)[14 lk 34]$$

$$a = \frac{414/60}{10} = 0,69 \text{ m/s}^2$$

kus,

$$v - \text{kiirus, } \frac{m}{s}$$

$$t - \text{aeg, s}$$

$$a - \text{kiirendus ja aeglustus, m/s}^2$$

$$v_{max} - \text{liini maksimaalne lineaarne kiirus, } \frac{m}{min}$$

$t_{siire}$  – kiirenduse ja aeglustuse aeg, s

Vajaliku kiirenduse ja aeglustamise momendi tagamiseks tuleb leida lineaarse ning pöörleva kineetilise energia hulk. Lineaarses liikumises tuleb arvestada kaabli lineaarset liikumises kogu liini ulatuses, milleks on 37 meetrit. Pöörlevaks kehaks on 380 kg kaaluv trummel, millele on peale keritud maksimaalne hulk kaablit.

Leian liini ulatuses oleva 16 mm<sup>2</sup> soone massi, kus soone mass kilomeetrile on võetud EX andmelehel [5] ja jagatud soonte arvuga:

$$m_{soon} = \frac{m_{kaabel}}{\text{soonte arv} \cdot 1000} \quad (3.5)$$

$$m_{soon} = \frac{265}{4 \cdot 1000} = 0,06625 \text{ kg/m}$$

kus,

$$m_{soon} = \text{soone mass meetris, kg/m}$$

$$m_{kaabel} = \text{mass meetris, kg/m}$$

Leian soone massi liinis

$$m_{liin} = l_{liin} \cdot m_{soon} \quad (3.6)[14 lk. 31]$$

$$m_{liin} = 37 \cdot 0,06625 = 2,45 \text{ kg}$$

kus,

$$m_{liin} = \text{joonmass liinis, kg}$$

$$l_{liin} = \text{kaabli pikkus liinis, m}$$

$$m_{soon} = \text{soone mass kg/m}$$

Trumlil on maksimaalne mass, kui toodetakse 16 mm<sup>2</sup> ristlõikega kaablit, kuna soont keritakse trumlile võimalikult palju ning tühja ruumi on väikseima läbimõõdu tõttu kõige vähem:

$$m_{täis} = m_{tühi} + l_{trummel} \cdot m_{soon} \quad (3.7)$$

$$m_{täis} = 380 + 21200 \cdot 0,06625 = 1784,5 \text{ kg}$$

kus,

$m_{\text{täis}} = \text{täis trumli mass, kg}$

$l_{\text{trummel}} = \text{trumlile keritud soone pikkus, m}$

$m_{\text{soon}} = \text{soone mass kg/m}$

Leian maksimaalse liini kiiruse 16 mm<sup>2</sup> kaabli tootmiseks tabeli 3.1 abil:

$$v_{\text{peen}} = \frac{n_{\text{max}} \cdot l_{\text{max}}}{1000} \quad (3.8)$$

$$v_{\text{peen}} = \frac{300 \cdot 630}{1000} = 189 \text{ m/min}$$

kus,

$v_{\text{peen}} = \text{vedaja maksimaalne kiirus 16 mm}^2 \text{ soonega, m/min}$

$n_{\text{max}} = \text{keerutusseadme maksimaalne pöörlemissagedus, min}^{-1}$

$l_{\text{max}} = 16 \text{ mm}^2 \text{ sammu pikkus, mm}$

Leian lineaarse kineetilise energia hulga:

$$W_k = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{m_{\text{liin}} \cdot (v_{\text{peen}}/60)^2}{2} \quad (3.9) \text{ [14 lk. 38]}$$

$$W_k = \frac{2,45 \cdot \left(\frac{189}{60}\right)^2}{2} \approx 12 \text{ J}$$

kus,

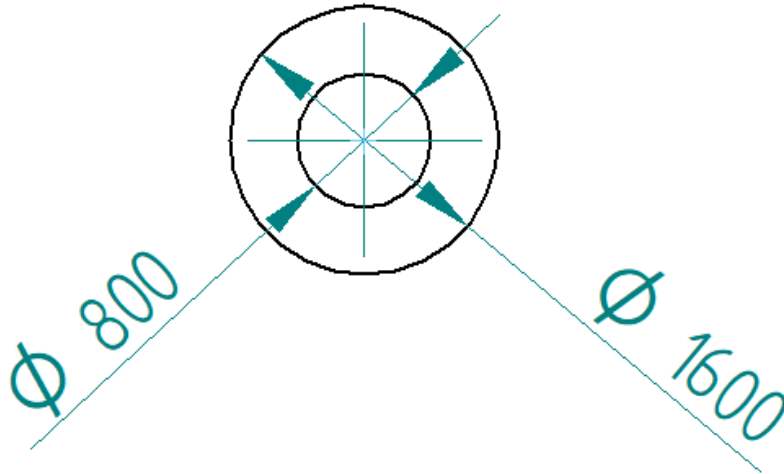
$W_k = \text{kineetiline energia, 1J}$

$m = \text{mass, kg}$

$v = \text{kiirus, m/s}$

Trumli tekitava kineetilise energia leidmiseks on vajalik esmalt tuvastada tekkiv mass ning geomeetriast tingitud inertsmoment ja nurkkiirus:

Inertsmomenti puhul tuleb arvestada trumli ristlõike kujuga. ID = 800 mm, OD = 1600 mm.



Joonis 3.1 Trumli sise- ja välismõõdud

Leian trumlile keritava osa inertsomendi:

$$I_{trummel} = \frac{1}{2} \cdot m(R_1^2 + R_2^2) \quad (3.10) [15]$$

$$I_{trummel} = \frac{1}{2} \cdot 1845,5 \cdot (0,4^2 + 0,8^2) \approx 738 \text{ kgm}^2$$

kus,

$$I_{trummel} = \text{trumli massi inertsomoment, kgm}^2$$

Leian trumli übermõõdu :

$$C = \pi \cdot d \quad (3.11) [14 lk 27]$$

$$C = \pi \cdot 1,6 \approx 5 \text{ m}$$

kus,

$$C = \text{trumli übermõõt koos kaabliga, m}$$

$$d = \text{trumli läbimõõt koos kaabliga}$$

Leian maksimaalse trumli pöörlemissageduse maksimaalsel kiirusel:

$$n_{trummel} = \frac{v_{max}}{C_{trummel}} = \frac{189}{5} \approx 38 \text{ min}^{-1} \approx 0,63 \text{ s}^{-1} \quad (3.12)$$

Leian trumli nurkkiiruse:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad (3.13) \text{ [14 lk.34]}$$

$$\omega_{trummel} = 2 \cdot \pi \cdot 0,63 \approx 4 \text{ rad s}^{-1}$$

kus,

$$\omega = \text{trumli nurkkiirus, rad s}^{-1}$$

$$n = \text{trumli pöörlemissagedus, s}^{-1}$$

Leian nurkkiirenduse:

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{4}{20} = 0,2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2} \quad (3.14)$$

kus,

$$\alpha = \text{nurkkiirendus, rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\omega = \text{nurkkiirus, rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$t = \text{aeglustusaeg, s}$$

Leian trumli massi inertsmomendi dünaamilise pidurduse jaoks ning korrutan saadud väärtuse ohutusteguriga, milleks on vastavalt tootja soovitusele 2 [15]:

$$\tau_{trummel} = I_{trummel} \cdot \alpha \cdot OT \quad (3.15)[16]$$

$$\tau_{trummel} = 738 \cdot 0,2 \cdot 2 = 295,2 \text{ Nm}$$

kus,

$$I_{trummel} = \text{inertsmoment, kg} \cdot \text{m}^2$$

$$\alpha = \text{nurkkiirendus, rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$OT = \text{ohutustegur vastavalt tootja soovitusele}$$

Trumlis tekkinud maksimaalne kineetiline energia aeglustamisel maksimaalselt kiiruselt:

$$\Sigma W_{trummel} = W_{k \text{ lin}} + \tau_{trummel} = 2,45 + 295,2 \approx 300 \text{ Nm} \quad (3.16)$$

kus,

$W_{trummel} =$  trumli kineetiline energia, Nm

$W_{k\ lin} =$  soonest tekkiv kineetiline energia, J

$\tau_{trummel} =$  pidurdusmoment aeglustamisel, Nm

Leian optimaalse pidurdusjõu ja õhurõhu:

$$\tau_{optpidur} = \frac{W_{trummel}}{\tau_{pidurmax}} \cdot \tau_{pidurmax} = \frac{300}{800} \cdot \tau_{pidurmax} = 0,375 \cdot 800 = 300 \text{ Nm} \quad (3.17)$$

kus,

$\tau_{optpidur} =$  optimaalne pidurdusjõud aeglustamisel, Nm

$W_{trummel} =$  trumli kineetiline energia, Nm

$\tau_{pidurmax} =$  maksimaalne pidrusmoment, Nm

$$p_{opt} = \frac{W_{trummel}}{\tau_{pidurmax}} \cdot p_{max} = \frac{300}{800} \cdot 7 = 2,625 \text{ bar} \quad (3.18)$$

kus,

$p_{opt} =$  optimaalne pidurdusrõhk, bar

Tabel 3.2 Keerutusliini parameetrid 16 mm<sup>2</sup> kaabli tootmiseks

Kaabli tüüp	16 mm <sup>2</sup>
Keerutuse samm	980 mm
Vedaja kiirus	189 m/min
Keerutusseadme kiirus	300 min <sup>-1</sup>
Pidurite tööõhk	1 bar



Pidurite aeglustuse rõhk	2,625 bar
Aeglustuse aeg	20 s
Kiirenduse aeg	20 s

Ajami valikul peab arvestama summaarse pidurdusjõu ja kiirendusega tekkiva jõuga.

Leian vedaja ajami summaarse väändemomendi töötamaks kuue trumli ja seitsme piduriga:

$$\tau_{vedaja} = \tau_{pidurmax} + 6 \cdot \left( \frac{\tau_{trummel}}{2} \right) + 6 \cdot W_{k lin} \quad (3.17)$$

$$\tau_{vedaja} = 700 + \frac{295,2}{2} + 7 \cdot 2,45 \approx 1600 \text{ Nm}$$

Vedaja ajami valikuks vajalikud parameetrid on koondatud tabelisse 3.3.

Tabel 3.3 Vedaja ajami algsed parameetrid

Pöörlemissagedus	466 min <sup>-1</sup>
Väändemoment	1600 Nm

Vastavalt tabeli 3.3 andmetele valiti mootoriks tootja Siemens SIMOTICS M-1PH8 asünkroonmootor tootekoodiga 1PH8286-1WB12-1AW2 (lisa 1) (joonis 3.2). Mootori põhinäitajad on esitatud tabelis 3.4. Kuna täpset parameetritele vastavat mootorit ei olnud, siis valiti mootor suurema momendiga, et kompenseerida määramata efektiivsuse kadusid sõlmedes. Mootori ja muunduri valikul kasutati Siemensi veebilehel olevat konfiguraatorit.



Joonis 3.2 M-1PH8 SIMOTICS AC mootor (lisa 1)

Tabel 3.4 nominaalsed mootori näitajad (lisa 1)

Parameeter	Ühik
Võimsus, kW	100
Moment, Nm	1909
Vool, A	188
Pinge, VAC	400
Pöörlemisagedus, min <sup>-1</sup>	500

Valitud mootorit jahutatakse välise ventilaatoriga. Õhkjahutusega mootor valiti, kuna liinil puudub jahutustrass ning vedelike vabasid mootoreid on lihtsam ja kiirem hooldada.

Positsiooni jälgimiseks valiti inkrementaalne enkooder, mis väljastab 1024 unikaalset pulssi ühe pöörde kohta. Enkooder on vajalik, jälgimaks täpset mootori pöörlemisagedust ning võimaldamaks lugeda toodetud toodangu pikkust. Inkrementaalne enkooder valiti, kuna mootor hakkab enamasti pöörlema ühes suunas, mille tõttu absoluutpositsiooni jälgimine pole vajalik.

Asünkroonmootor oli eelistatud eelkõige soodsama hinna tõttu. Vedajal puudub vajadus suure dünaamika järele ja suurem korpus võrreldes sünkroonmootoriga ei ole probleemiks.

Valitud mootori järgi valitakse sobiv sagedusmuundur. Vedaja protsess on küllaltki lihtne, mille tõttu valitakse sagedusmuunduriks Siemens G120 seeria variant. Jõumooduli (joonis 3.3) tootekood on: 6SL3210-1PE32-5AL0 ning juhtmooduliks (joonis 3.4) valiti 6SL3243-0BB30-1FA0.



Joonis 3.3 G120 AC-AC sagedusmuunduri jõumoodul [20]

Siemens G120 sagedusmuunduritel kasutatakse eraldi jõu- ja juhtmooduleid, mis muudab antud süsteemi modulaarseks. Mõistlik on kasutada ühe tootja sagedusmuundurit ja kontrolleri, kuna omavaheline ühilduvus, tehniline tugi ja dokumentatsioon on alati tunduvalt lihtsam.



Joonis 3.4 G120 sagedusmuunduri juhtmoodul [20]

Muunduri põhiparameetrid on toodud tabelis 3.5

Tabel 3.5 G120 sagedusmuunduri parameetrid [20]

Parameeter	Ühik
Faaside arv	3
Sisendpinge, V	380 ... 480V +- 10 %
Nominaalne väljundvool, A	250 A
Väljundpinge, V	400
Nominaalvõimsus, kW	132
$\text{Cos}\Phi$	0,99
Efektiivsus $\eta$	0,98
Andmeside moodul	Profinet

Tabelist 3.5 on näha, et valitud sagedusmuundur sobib valitud mootorile. Lisaks on näha häid efektiivsuse näitajaid, mis tähendab ka soodsamat masina kasutamist tulevikus.

## 3.2 Vastuvõtja juhtimise uuendus

Vastuvõtja uuendus on jagatud kaheks alagrupiks – riistvaraline ning tarkvaraline uuendus. Riistvaralises osas keskendutakse olemasolevate komponentide kirjeldamisele ning nende vahetusele. Tarkvaralises osas kirjeldatakse vastuvõtja töökorralduslikke muudatusi. Mõlemad osad mängivad olulist rolli töökindluse ja tootlikkuse tõstmisel.

### 3.2.1 Riistvaraline uuendus

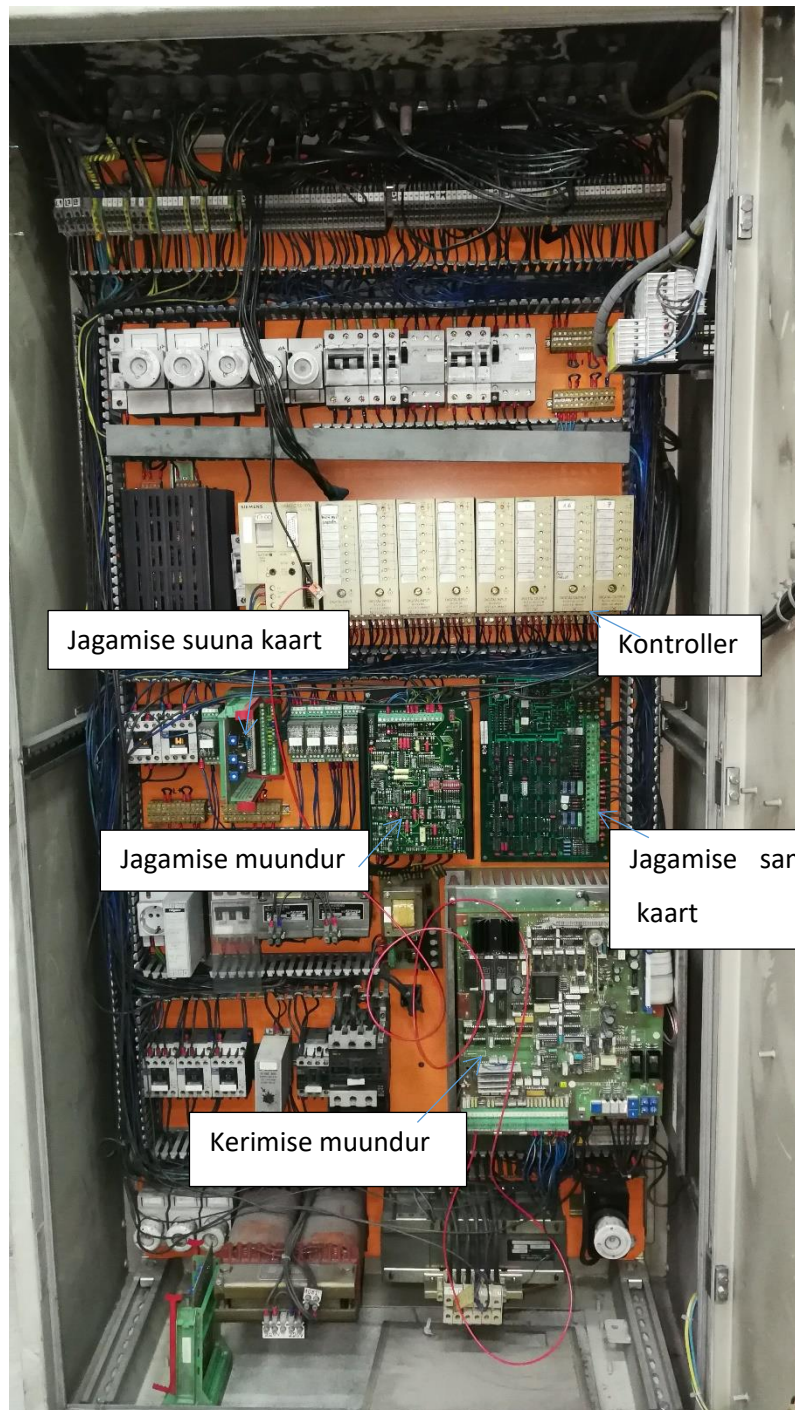
Vastuvõtja omab liini tootlikkuse puhul suurt rolli. Algolukorras töötas vastuvõtja manuaalselt, kus operaator pidi igat liigutust käsitsi nuppe vajutades tegema, kasutades juhtpulti (joonis 3.5). Kõik liikumised toimusid seni kuni nuppu all hoiti.



Joonis 3.5 Portaali juhtpult

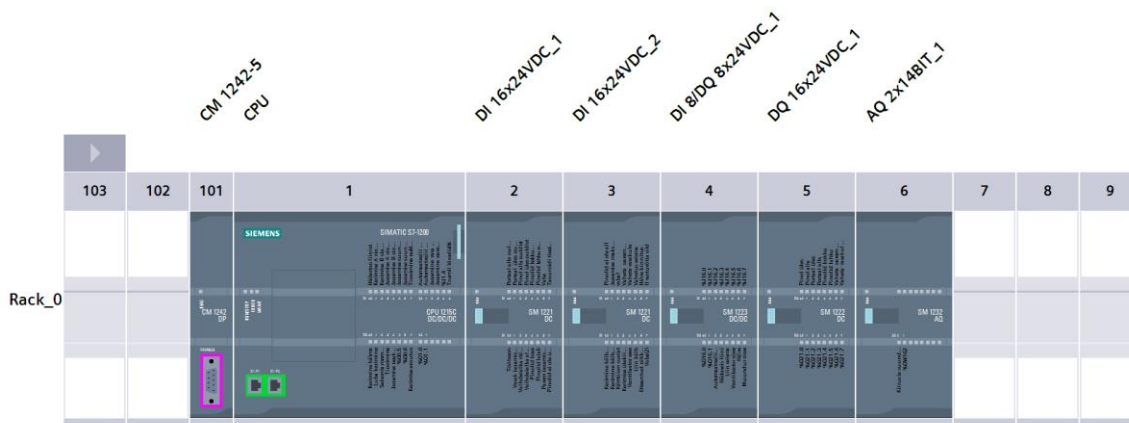
Vastuvõtja koosneb kahest portaalist, mida juhitakse Siemens s5 100U kontrolleriaga, mille ametlik tugi ja müük lõppes aastal 2004 ning varuosadena müük aastal 2014 [11]. See aga tähendab, et ainus variant vigaseid komponente välja vahetada on osta eelnevalt kasutatud komponente mitteametlikelt müüjatelt.

Jagamissammu jaoks on kasutatud eraldi elektroonikakaarti. Suuna muutmiseks oli kasutusel mittestandardne joodetud kaart, kus tehti potentsiomeetrist saadud 0 ... 10VDC pingest +-10V VDC. Mõlema kaardi saadavus on vägagi keeruline ning seega võib seadme efektiivsus olla rikke puhul pikemalt häiritud.



Joonis 3.6 Portaali juhtkilp algses olekus

Lõputöö raames eemaldati jagamise kaardid ning kontroller. Kogu juhtloogika on võimalik lahendada tänapäevase Siemens s7 1215C kontrolloriga. Kontrolleri sisendid ja väljundid tõsteti ümber uuele kontrolleri, lisati analoogsisendid jagamise potentsiomeetri ja kerismootori momendi jaoks ning kontrolleri analoogväljund ühendati jagamise- ning kerismootori AC-DC sagedusmuunduritega. Eesmärgiks on vähendada komponentide arvu ning lihtsustada varuosade kättesaadavust.



Joonis 3.7 Riistvaraline konfiguratsioon

Riistvaraline konfiguratsioon (joonis 3.7) on koondatud tabelisse 3.6:

Tabel 3.6 Riistvaraline spetsifikatsioon

Komponendi tüüp	Tootekood	Spetsifikatsioon
Protsessor	1215C	14 sisendit, 10 väljundit, 2 analoog sisendit ja väljundit.
Sisendkaart	SM 1221DC	16 sisendit
Sisend- ja väljundkaart	SM 1223DC/DC	8 sisendit ja väljundit
Väljundkaart	SM 1222 DC	16 väljundit
Analoog väljundkaart	SM 1232 AQ	kaks 14 bitilise resolutsiooniga väljundit
Profibus kommunikatsiooni moodul	CM 1242-5	Profibus „Slave“ moodul

Protsessori 1215C kasuks otsustati, kuna see võimaldab kasutada kuute „HSC – high speed counter“ ehk kiiret loendurit, kahte 0..10 VDC analoog sisendit potentsiomeetrite jaoks ning tabelis 3.6 mainitud lisamooduleid. [12]

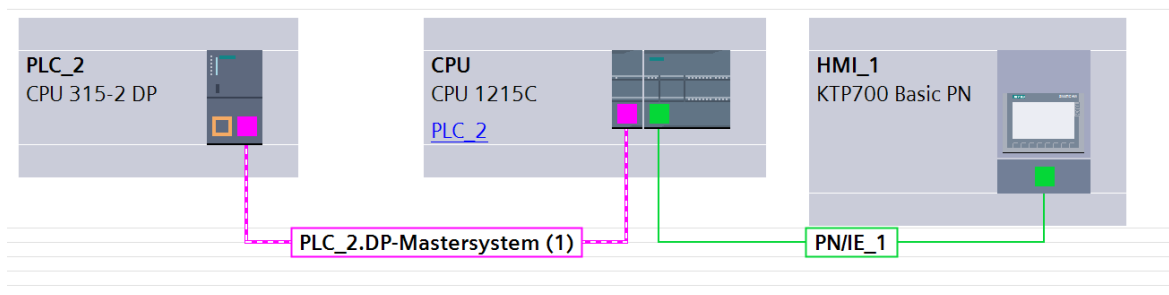
Loendamist vajavad kerimine ning jagamine. Jagamisel loetakse jagamismootori pöörlemiskiirust vabalt seadistava tootja SICK enkooderi DFS60B-BHPA10000 abil [10]. Kiired loendurid on seadistatud lugema A ja B signaali tõusvat signaali, mis võimaldavad lugeda maksimaalsel hulgal unikaalseid signaale. Maksimaalne unikaalne signaalide hulk võimaldab teha protsesse täpsemaks ja kiiremaks, säilitades endiselt resolutsiooni.



Joonis 3.8 DFS60B-BHPA10000 enkooder koos mõõterattaga

Profibusi moodul (joonis 3.2.3) lisati eesmärgiga tekitada andmeside liiniga. Liini peakontrolleriks on S7 300 profibus väljundiga kontroller. Vastuvõtjad on profibusi võrgus „slave“ funktsiooniga. Vajalikud signaalid on näiteks ühine start, stopp, hädaseis, liini kiirus ja pikkus. Liini kiirust loetakse lintvedaja pealt ning selle järgi on täpne arvutada jagamissammu. Alternatiivne variant on arvutada jagamiskiirust kerimise pöörlemissageduse järgi. Võrgu topoloogia on näha joonisel 3.8.





Joonis 3.8 Profibusi ja Profineti topoloogia

Jagamissammu arvutamisel on oluline arvestada liini siiretega. Juhul kui liin kiirendab või aeglustab, peab jagamissamm trumlil endisel säilima, selleks tuleb valemisse lisada kerimise pöörlemiskiirus.

Jagamissammu valem:

$$v_{jagamine} = n_{kerimine} \cdot D_{kaabel} \quad (3.18)$$

kus,

$$v_{jagamine} = jagamiskiirus, \text{ mm/min}$$

$$n_{kerimine} = kerimismootori pöörlemissagedus, \text{ s}^{-1}$$

$D$  – kaabli läbimõõt, mm

Joonisel 3.6 olev jagamise AC-DC sagedusmuundur säilitati pärast kontrolleri vahetust. AC-DC sagedusmuundurit ei ole otstarbekas vahetada uuema tüübi vastu, pigem kaaluda üleminekut AC servo ajamile ja AC-AC sagedusmuundurile. Olemasolev AC-DC sagedusmuundur aga reguleerib mootori pöörlemissagedust vastavalt sisendisse rakendatava -10 ... + 10 VDC pinge järgi, kus negatiivne pinge on pöörlemine vastupäeva suunas ning positiivne päripäeva. Tekitamaks negatiivset pinget, oli eelnevalt kasutatud komponentidest koostatud mittestandardset trükkplaati. Kontrolleri vahetusega oli võimalik see kaart eemaldada, kuna SM 1232 analoog moodul võimaldab kasutada pingevahemiku -10 ... + 10 VDC.

Sagedusmuunduri puuduseks on siiski mittelineaarne kiiruste sõltuvus sisendpingest. Lisaks nihkele reguleerimise vahemikule sõltub pöörlemissagedus ka mehaanilisest koormusest mootorile. Vältimaks jagamissammu pidevalt reguleerimist operaatori poolt, kasutati mittelineaarse kiiruse reguleerimiseks „Totally Integrated Automation Portal“ ehk TIA portaalis olevat PID Compact kalkulaatorit, mille eesmärgiks on hoida etteantud väärtust pidevalt

reguleerides väljundit. PID kalkulaatori sisendiks on portaali peal paiknev enkooder (joonis 3.8), mis näitab hetkel aktiivset kiirust. Etteantud väärtuseks on valem 3.18 ning väljundiks -10 ... +10 VDC. P, I ja D väärtused on leitud „Auto tune“ funktsiooniga ja tsükliajaks on seadistatud 100 ms.

Jagamise ja kerimise pulsside puhul on kasutusel TIA portaalis olev OB 40 ehk riistvaraline katkestus, kus iga positiivse signaali puhul liidetakse üks pulss kogu pulsside hulka.

Iga 100 ms järel toimub üks lugemine tsükliliselt käitavas blokis OB30, kus leitakse eelnevad pulsid järgneva valemiga:

$$pulsid\ vahe = pulsid\ kokku - eelmise\ tsükli\ pulsid \quad (3.19)$$

Pärast vahe arvutamist liigutatakse muutuja „pulsid kokku“ eelmise tsükli pulssideks. Selle järel toimub tegeliku kiiruse arvutus :

$$v_{akt} = \frac{pulsid\ vahe}{pulsid\ arv\ millimeetris} \cdot 10 \quad (3.20)$$

kus,

$$v_{akt} = tegelik\ kiirus, mm/s$$

Korrutamine kümnega on vajalik, kuna tsükliäeg on 100 ms ning arvutatav väärtus on vaja teisendada sekundiks.

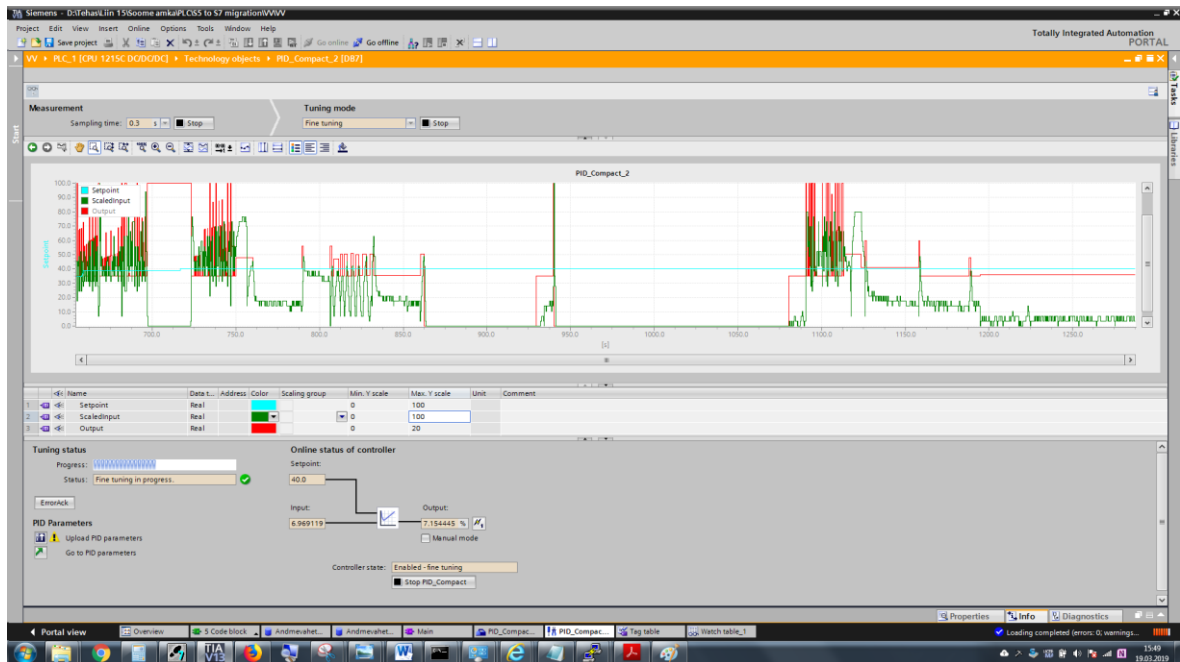
Kerimise kiirus leitakse järgneva valemi abil:

$$n_{kerimine} = \frac{pulsid\ vahe}{pulsid\ arv\ ühel\ täispöördel} \cdot 10 \quad (3.21)$$

kus,

$$n_{akt} = kerimise\ pöörlemissagedus, s^{-1}$$

Kerimise pöörlemissagedust (valem 3.21) kasutatakse, kompenseerimaks kiiruse muutusi liinis. Valem 3.20 on aga sisendiks PID kontrolleri (joonis 3.9). Programmeerides on alati mõistlik teisendada väärtused realselt mõõdetavateks. Nii on tulevikus masina kalibreerimine ja seadistamine oluliselt lihtsam.



Joonis 3.9 TIA portaali PID *auto tune*

Joonisel 3.9 on näha, kuidas PID kalkulaator arvutab sisendi vigasid ja kompenseerib vastavalt, saavutamaks etteantud väärtust. Sisendväärtus on digitaalse signaali kohta küllaltki häireid täis, kuid reaalne kiirus ja jagamine töötas realselt korrektselt. Iga mõõtmise graafikul toimus 0,3 sekundi järel.

Kerimismootoriks on DC mootor, mida juhib DCS 400 Siemensi alalisvoolu AC-DC sagedusmuundur. Mootori momendi määrab operaator puldis oleva potentsiomeetri abil ning signaal vahemikus 0...10 VDC saadetakse sagedusmuundurisse. Mootori maksimaalne pöörlemissagedus on samuti sagedusmuunduris määratud ning ei ole reguleeritav. Operaatori jaoks on oluline määrata korrektne pingsus, millega kaabel trumlile keritakse.

Tootevahetusega seadistatakse jagamise samm ja kaabli pingsus, kasutades joonisel 3.5 olevat pulti. Seega on tähtis, et seal oleks kõik primaarsed funktsioonid saadaval. Sekundaarsed funktsioonid nagu liini kiirus, siirete ajad ning abiseadmete kasutamine on viidud joonisel 3.10 olevasse tsentraalsesse operaatorpaneeli.

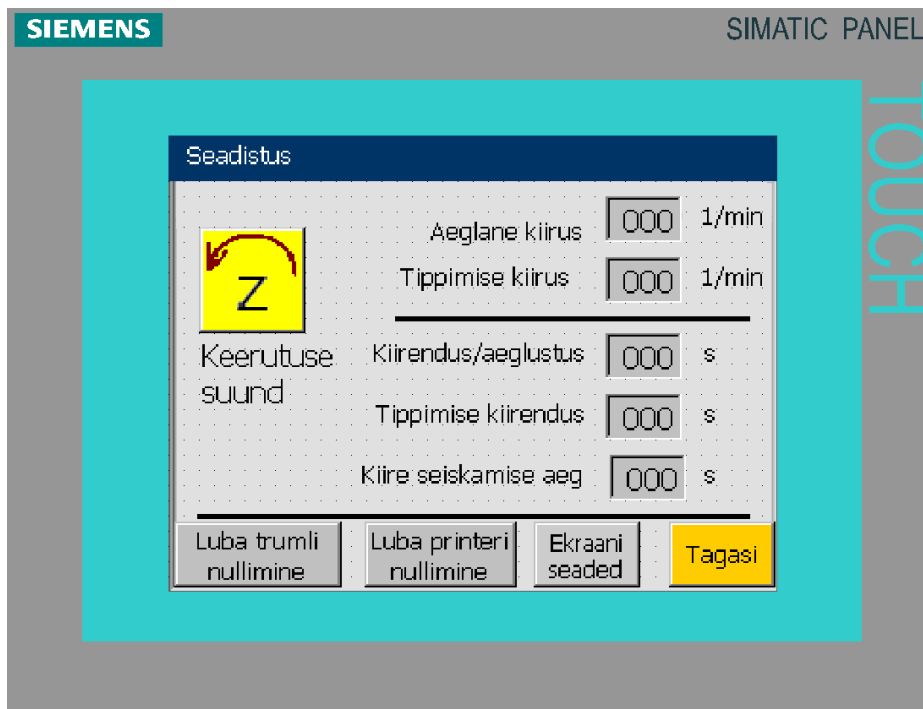


Joonis 3.10 Operaatori paneel tööolukorras

Operaatoril on paneelis võimalik määrata toodetava kaabli pikkus ja keerutusmasina pöörlemissagedus. Lisafunktsioonidena on võimalik lubada või keelata läbilöögiseadet ja tindiprinterit. Lisaks tootepõhisele seadistusele on võimalik lehel „Seadistus“ (joonis 3.11) määrata üldiseid seadeid nagu kiirenduse ja aeglustuse ajad ning liini kiirus aeglasel režiimil ja tippimisel.

Algselt puudus liinil võimalus kasutada printerit ja spark läbilöögiseadet, kuid magistritöö raames lisati soovitud funktsioonid. Funktsioonide käivitamine tehti võimalikult intuitiivseks. Operaator peab vajutama soovitud funktsioonile, mille järel roheline nupp süttib, andes tagasisidet, et funktsioon on aktiivne.

Spark läbilöögi seadmele tehti ka täiendav hoiatuse sümbol, mis hoiatab operaatorit välgunoole ikooniga, kui kõrgepinge on seadmes aktiivne (joonis 3.10). Samuti lisati funktsioon, kus liin jäetakse seisma, kui läbilööki avastatakse.



Joonis 3.11 Seadistuse leht

Liini tähtsamad funktsioonid on järgnevad:

- Etteantud pikkuse järel peab liin seisma jääma ja nullima liini pikkusnäidiku ning saatma nullimise signaali Image tindiprinterile.
- Läbilöögi tekkimisel registreeritakse täpne läbilöögi asukoht ning liin peatatakse täiendavaks inspekteerimiseks.
- Liini käivitamine, tippimine ja seiskamine peab olema võimalik kõikide liini komponentide juures.

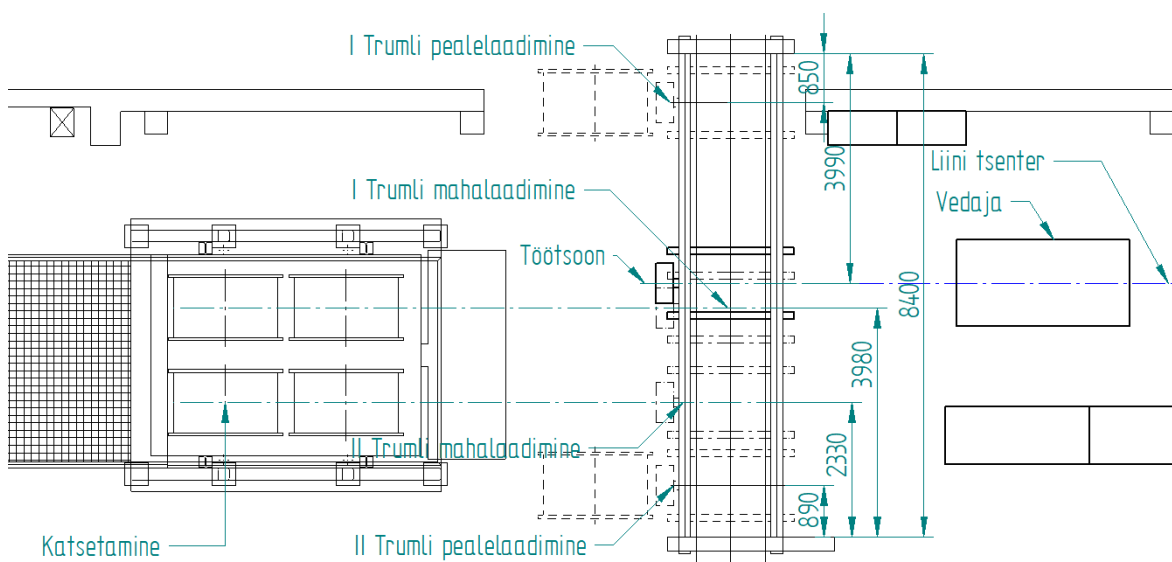
Lihtsuse ja majanduslikel eesmärkidel ei paigaldatud vastuvõtjatele eraldi operaatorpaneelid, kuna juhtimine toimub füüsilise juhtpuldiga (joonis 3.5) abil ning vajadusel on võimalik täiendavat infot liini üldisesse operaatorpaneeli kuvada (joonis 3.10).

### 3.2.2 Töökorralduse uuendus

Pärast riistvaralist uuendust oli vaja seade uuesti programmeerida. Vastuvõtjale tekitati kaks režiimi. Manuaalrežiimis on operaatoril võimalik liigutada portaali vastavalt vajadusele, kasutades joonisel 3.5 olevat pulti. Manuaalrežiim on uue töökorraldusega vajalik vaid tühja trumli

laadimiseks. Trumli vahetusel on vaja veenduda, et trumliil olev ava oleks kaasavedaja poolel ja pinolid läheksid trumli avadesse korrektselt.

Uue funktsioonina on kasutusel automaatrežiim. Automaatrežiimi eesmärgiks on automatiseerida trumlite vahetus, positioneerides trumlid töö-, maha- ja pealelaadimise asendisse, nagu on kujutatud joonisel 3.12.

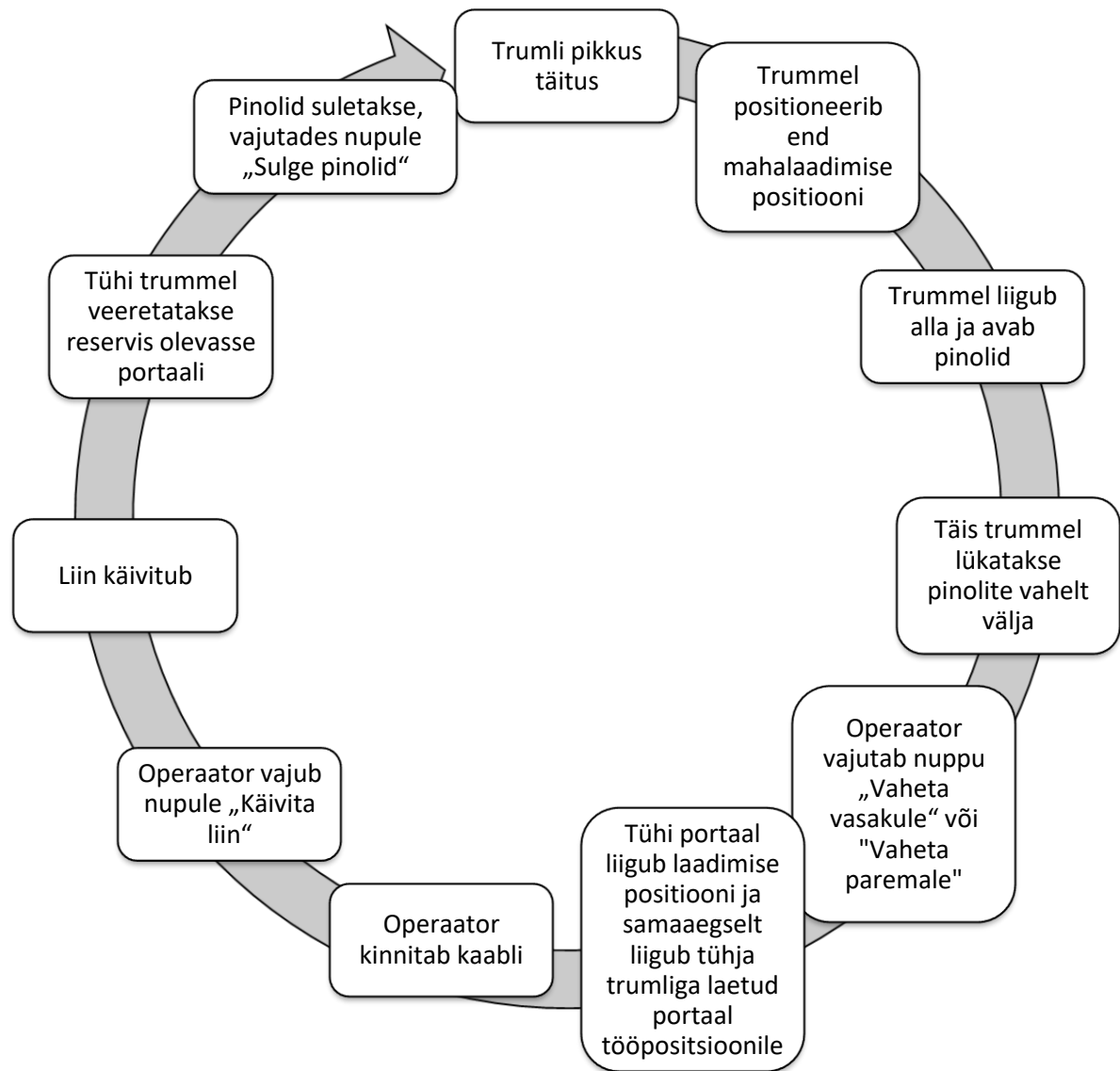


Joonis 3.12 Portaalide erinevad positsioonid

Tühjade trumlite pealeladimine toimub vastuvõtja mõlemas servas, kus operaator veeretab tühja trumli portaali sisse, pinolite vahele, ning vajutab nuppu „pinolid kokku“, et fikseerida trummel vastuvõtjas. Peale tühja trumli laadimist jääb trummel reservolekusse. Samaaegselt, kui tühja trumlit ette valmistatakse, toimub töötsoonis aga kerimine.

Töötsoon asub tsentris keerutusliini ja vedajaga, kus kaablit trumlile keritakse. Trumli kaasavedaja ava peab jääma ühele joonele liini teljega. Töötsoonis on kaks reguleeritavat jagamise teekonnalülitit, mille vahel liigub trummel. Jagamine on vajalik, et paigutada kaabel ühtlaselt trumlile, nii mahub sellele koguseliselt rohkem ning lahti kerides ei lähe kihid üksteise peale. Jagamiskiirus on kirjeldatud ühikuna millimeeter sekundis. Operaatoril on vaja sobiva kiirus valikuks lisada kaabli väli läbimõõt.

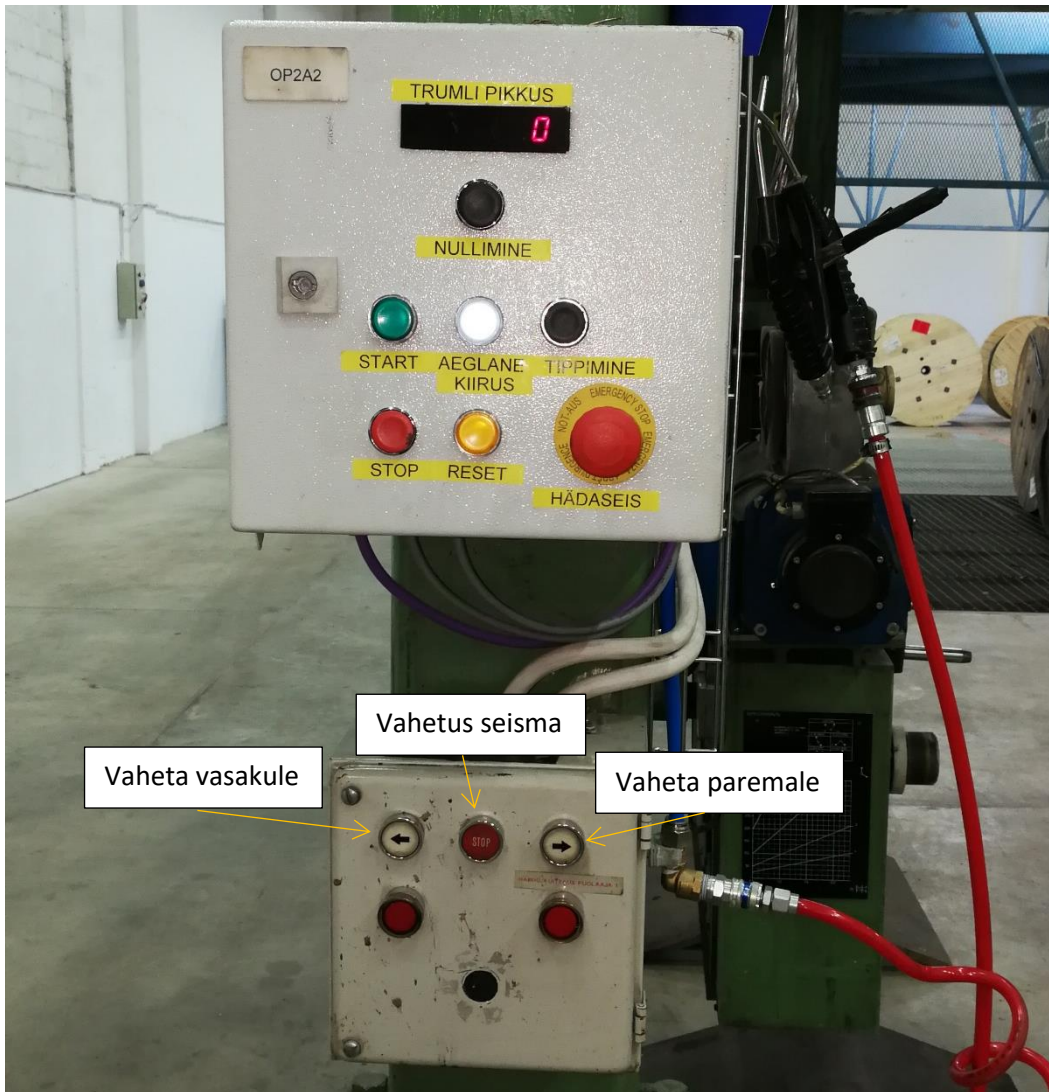
Mahalaadimiseks on kasutatud kahte rada. Vältimaks lisa liigutusi vankrite ja harktöstukiga, on mõistlik laadida trummel maha nii, et seda oleks võimalik otse katsetusse veeretada. Selleks liiguvad mõlemad portaalid pärast töötsooni mahalaadimistsooni, kus avatakse pinolid ning vabastatakse trummel.



Joonis 3.13 Uus töökorraldus

Uuel töökorraldusel (joonis 3.13) on näha töö kulgu alates tühjust trumlist kuni selle täitumiseni. Suurimaks erinevuseks algse töökorraldusega on see, et ära on kaotatud positsioneerimised operaatori poolt. Selle asemel on portaaliid programmeeritud liikuma vajalikesse punktidesse vaid ühe nupu vajutusega. Autor eelistas jätta trumlite liigutamised siiski teostatavaks nuppude vajutamisega, kuna reeglina on operaatoreid rohkem ja nii saab operaator alati eelnevalt ohutuses veenduda.

Kui trummel on pinolite vahelt eemaldatud, vajutab operaator nuppu „Vaheta paremale“ (Joonis 3.14), mille järel liigub trummel reservist töösoonile ning tühi portaal pealelaadimise positsiooni. Sarnast funktsiooni täidab ka nupp „vaheta vasakule“, kus trummel eemaldatakse portaalist ning seejärel viiakse uuesti pealelaadimisele.



Joonis 3.14 Vastuvõtja vahetuse nupud

Lisaks trumlivahetuse nuppudele on ülevaloleval kilbil olemas kõik liini primaarsed juhtfunktsioonid, mis võimaldavad operaatoril jälgida töö algust, ja veenduda, et kogu liin käivitus edukalt.



## 4. MAJANDUSLIK OSA

Kogu tootlikkuse tõstmine oli individuaalselt autori teostatud, mis tähendab, et väliseid allhankeid ei sooritatud. Seega saab kuludeks lugeda töötunnid ning komponentide hinnad ettevõttele. Tasuvusarvutustes arvestatakse efektiivsuse tõusuga vastuvõtja juhtimises ning tooraine kokkuhoiuga meetrile, mis on tingitud optimeeritud vedaja ajamist. Lisaks efektiivsele materjali kasutusele võimaldab uus ajam saavutada ka suuremat liini kiirust.

### 4.1 Projekti kulud

Projekti kulud jagunesid kaheks: kulud komponentidele ja tööjõule. Võlaõigusseadusest lähtuvalt [18] ei kasutata lõputöös ettevõttele pakutud hindasid. Seega on hinnad komponentidele valitud avalikult veebilehelt *RS Components Ltd*, keda esindab Eestis ettevõtte *YEInternational AS* [17]. Hinnad ei sisalda käibemaksu. Täiendavat tarkvara lõputöö teostamiseks ei soetatud.

Tabel 4.1 Komponentide kulu

Järk	Nimetus	Kogus, tk	Hind tükile, €	Hind kokku, €
1	CPU 1215C	2	675	1350
2	SM 1221	4	205	840
3	SM 1222	2	205	410
4	SM 1223	2	205	410
5	SM 1232	1	447	447
6	CM 1242-5	2	285	570
7	DFS60B-BHPA10000	2	326	652
8	500 mm mõõteratas	2	89	178
9	SINAMICS G120 PM204-110/132kW	1	11221 (20)	11221

Järk	Nimetus	Kogus, tk	Hind tükile, €	Hind kokku, €
10	SINAMICS CU240E-2 PN G120 control unit	1	306,5 (20)	306,5
11	1PH8286-1WB12-1AW2	1	11351,5 (21)	11351,5
12	Installatsioonimaterjal	1	500	500
13	Programmeerimine	80 h	20	1600
14	Komponentide vahetus	16 h	20	320
15	Projekteerimine	40 h	20	800
16	Mehaanika tööd	40 h	20	800
17	Elektriku tööd	24 h	20	480
Summa				32236

Tabelis 4.1 on näha, et suurem osa kuludest moodustavad komponendid ning realne töö tehti ettevõtte tööliste ja autori abil.

## 4.2 Tasuvusarvutus

Liinil tehakse tööd ühes kaheteistkümnetunnises vahetuses seitse päeva nädalas ja liini käigushoidmise kulu on 40€/h. Tasuvusaeg esitatakse nädalates.

Leian summaarse tööaja nädalas:

$$t_{\text{töönädal}} = t_{\text{tp nädalas}} \cdot t_{\text{vahetus}} \quad (4.1)$$

$$t_{\text{töönädal}} = 7 \cdot 12 = 84 \text{ h}$$

kus,

$$t_{\text{töönädal}} = \text{tootmise aeg nädalas, h}$$

$$t_{\text{tp nädalas}} = \text{tööpäevade arv nädalas}$$

$t_{vahetus} = \text{tundide arv vahetuses, } h$

Ühe vahetuse jooksul toodetakse keskmiselt 20 km kaablit. Sinna hulka kuulub soone trumlite vahetused, katsetused ja pausid.

Leian nädalas valmistatud kaabli hulga:

$$l_{kaablit\ nädalas} = t_{töönädal} \cdot l_{kaablit\ vahetuses} \quad (4.2)$$

$$l_{kaablit\ nädalas} = 84 \cdot 20 = 168\ km$$

kus,

$l_{kaablit\ nädalas} = \text{nädalas valmistatud kaabli kogus, } km$

$t_{töönädal} = \text{tootmise aeg nädalas, } h$

$l_{kaablit\ vahetuses} = \text{vahetuses toodetud kaabli pikkus, } km$

Leian kaabli tootmiseks kuluva seadme kulu nädalas:

$$kulu_{nädalas} = t_{töönädal} \cdot kulu_{tunnis} \quad (4.3)$$

$$kulu_{nädalas} = 84 \cdot 40 = 3360\ €$$

kus,

$kulu_{nädalas} = \text{nädalane ettevõtte kulu tootmisele, } €$

$t_{töönädal} = \text{tootmise aeg nädalas, } h$

$kulu_{tunnis} = \text{masina kulu ettevõttele tunnis, } €$

Leian tootlikkuse tõusust tuleneva säästetud raha nädala kohta:

$$sääst_{nädalas} = T_{ef} \cdot kulu_{nädalas} \quad (4.4)$$

$$sääst_{nädalas} = 0,77 \cdot 3360 = 2587\ €$$

kus,

$T_{ef} = \text{tootlikkuse tõus, } \%$

$kulu_{nädalas} = \text{seadme kasutamise kulu nädalas, €}$

Leian tasuvusaja nädalates:

$$tasuvusaeg = \frac{\text{projekti kulud}}{\text{sääst}_{nädalas}} \quad (4.5)$$

$$tasuvusaeg = \frac{32236}{2587} \approx 13 \text{ nädalat}$$

kus,

$tasuvusaeg = \text{aeg mille jooksul säästetud raha hulk ületab investeeringu, nädalat}$

$\text{projekti kulud} = \text{projekti jooksul kulutatud raha, €}$

$\text{sääst}_{nädalas} = \text{efektiivsuse tõusust tingitud säästeud raha hulk, €}$

Arvutuslik tasuvusaeg kogu projektile on 13 nädalat. Realistlik oleks lisada tasuvusajale ka kahenädalane õppeperiood liinil töötavatele operaatoritele, mille järel on võimalik rakendada liini täielikku potentsiaali.

## KOKKUVÕTE

Magistritöö algul seotud eesmärk liini tootlikkust tõsta saavutati. Optimeeriti töökorraldus vastuvõtjas ja valiti uus ajam vedajale. Esmalt leiti protsessiks vajalikud parameetrid ja nõuded standardite näol. Aluseks oli õhuliini kaablite valmistamiseks kasutatav standard, kus on kirjeldatud sammu pikkused erinevatel ristlõigetel. Vastavalt sammu pikkusele arvutati tööks vajalik lintvedaja pöörlemissagedus. Lisaks arvutati soone trumlite poolt tekkivad kineetilised jõud ja nendele vastav pidurdusjõud.

Vastuvõtjale loodi uus juhtprogramm ning täielikult vahetati välja juhtkontroller. Eelnevalt kasutusel olnud Siemens S5 100 seeria kontroller asendati S7 1200 seeria vastu. Lisaks eemaldati mitmed aegunud ja asendatavad füüsilised loogika plaadid digitaalse loogikaga. Vahetamata jäid kerimise ja jagamise DC mootorid ja AC-DC sagedusmuundurid.

Vastuvõtjale loodud juhtprogramm töötati välja eesmärgiga kasutada sarnast lahendust ka teistes samas olukorras olevatele vastuvõtjatele tehases. Kokku on võimalik juhtprogrammi kasutada enam kui kümnel vastuvõtjal. See muudab aga lõputöö raames valmistatud lahenduse ettevõttele väärtuslikuks, kuna vastuvõtjate uuendus võib küllaltki kulukas olla.

Vastuvõtja uuenduse käigus muudeti ka tootmise töökorraldust. Tekitati poolautomaatne trumlite vahetus, mis vähendas operaatori töökoormust olulisel määral. Töökorralduse optimeerimine oli vajalik, kompenseerimaks tootlikkuse tõusu lintvedajas.

Magistritöö majanduslikus osas võeti kokku projekti kulud ja leiti eeldatav tasuvusaeg. Kulude hulka kuulusid projekti raames kasutatud komponendid ja kulud tööjõule. Kulude hinnad on võetud avalikest allikatest. Tasuvusarvutuse aluseks on teoreetiline tootlikkuse tõus, mille põhjal leiti eeldatav investeeringu tagasi teenimise periood.

Nii autor kui ettevõtte jäid magistritööga saavutatud tulemusega rahule. Vanasid seadmeid ja liine tasub siiski moderniseerida. See on soodne viis tõsta tootmises kasutuses olevate seadmete väljalaske võimet ning pikendada seadmete eluiga veel aastakümneid. Tootmises valmistatud masinate suureks eeliseks on täpselt soovitud lõpptulemus ning paindlikkus tuleviku muudatuste suhtes.

## SUMMARY

The initial goal of this Master's Thesis was to increase the capacity of bow style wire stranding line. Under modernization were take-up device and caterpillar. At first, the necessary parameters and standards were acquired to find suitable lay lengths for different cross-sections. According to the smallest lay length maximum rotating frequency was selected for the caterpillar. Additionally, process parameters as a braking force and ramp times were calculated and applied into production.

Take-up device got a PLC hardware upgrade from legacy Siemens S5 100 to recent S7 1200 series CPU and modules. With the update, physical logical boards were replaced with software logic instead. Fewer components mean less chances of hardware fails. Motors and drives for laying and winding remained unchanged. Both are DC drives and should be replaced at some point to improve the reliability of the line.

PLC code that was written for the take-up device can be used up to ten similar devices on the factory which added extra value to the whole project. The new code also changed the work sequence of the operators. The main change was the introduction of automatic drum change, which enabled the operator to change drums with a push of a button. Initially, whole drum change used to be operated manually with the control board. With the optimization of workflow, addition labor time was released to compensate the increase of line speed and therefore the frequency of drum changes.

On the economic part of the thesis, the cost of the project and expected return of invest time was found. The main expenses were components and labor. No subcontractors were hired during the thesis and the whole project was led and applied by the author. The expected theoretical return of the invest came out to be 13 weeks. The return of the investment time was calculated through capacity increase.

The author and company were satisfied with the result of the thesis. Once again it was proven that retrofitting is still an important part of the industry and need for it preserves. Expanding the lifetime of a machine has many positive effects as production already knows what to expect from the machine, save the environment through the materials and tailor a customized solution for the manufacturing process for a fracture of a cost of a completely new line.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Prysmian Group Baltics kodulehekül: [WWW]  
<https://baltics.prysmiangroup.com/ee/prysmian-group-baltikumis/> (01.03.2019)
2. Harju elektri kodulehekül [WWW] <https://www.harjuelekter.com/et/content/draka-keila-cables>(01.03.2019)
3. Prysmian Group kodulehekül [WWW]: <https://www.prysmiangroup.com/en/about-us/global-presence> (03.03.2019)
4. Tooted AMKA andmeleht [WWW] [http://media.drakakeila.ee/2018/04/AMKA-06\\_112-kV\\_EST.pdf](http://media.drakakeila.ee/2018/04/AMKA-06_112-kV_EST.pdf) ( 03.03.2019)
5. Tooted EX andmeleht [WWW] [http://media.drakakeila.ee/2018/04/EX-06\\_113-kV\\_EST.pdf](http://media.drakakeila.ee/2018/04/EX-06_113-kV_EST.pdf) (03.03.2019)
6. Prysmian Group trumlite andmeleht [WWW]  
[http://staticres.prysmiangroup.com/ds/en/business\\_markets/markets/multimedia/downloads/datasheets/B06a\\_e.pdf](http://staticres.prysmiangroup.com/ds/en/business_markets/markets/multimedia/downloads/datasheets/B06a_e.pdf) (10.03.2019)
7. Imaje 9040 Contrast spetsifikatsioon [WWW] [https://www.markem-imaje.com/file.cfm//Markem\\_Imaje\\_9040\\_Contrast\\_DS\\_HQ\\_A1\\_S.pdf?contentID=2057](https://www.markem-imaje.com/file.cfm//Markem_Imaje_9040_Contrast_DS_HQ_A1_S.pdf?contentID=2057) (16.03.2019)
8. TWIFLEX tootekataloog [WWW] <https://www.twiflex.com/-/media/Files/Literature/Brand/twiflex-limited/Catalogs/P-1648-TF.ashx?la=en&hash=1A2A38BAF28709DFFE22D0D2B89FBB5570FFC75C> (29.03.2019)
9. EESTI STANDARDIKESKUS [WWW] <https://www.evs.ee/products/evs-hd-626-s1-2001-a2-2003/> (10.04.2019)
10. TESAC [WWW] [www.tesac-wirerope.co.jp](http://www.tesac-wirerope.co.jp) (17.04.2019)
11. Siemens [WWW] <https://support.industry.siemens.com/cs/document/19057863/simatic-s5-115u-plc-to-be-phased-out?dti=0&pnid=13965&lc=en-SA> (17.04.2019)
12. Siemens 1215c andmeleht [WWW]  
<https://support.industry.siemens.com/tedservices/DatasheetService/DatasheetService?format=pdf&mlfbs=6ES7215-1AG40-0XB0&language=en&caller=SIOS> (18.04.2019)
13. SICK DFS60B andmeleht [WWW] <https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/1684/0900766b81684fba.pdf> (19.04.2019)
14. Mehaanikainseneri käsiraamat teine trükk P.Kulu, Tallinn 2013

15. TWIFLEX pidurdusarvutused [WWW] [https://www.altraliterature.com/-/media/Files/Literature/Brand/twiflex-limited/Catalogs/p-1648-tf-a4-sections/p-1648-tf-a4\\_braking\\_calculations.ashx](https://www.altraliterature.com/-/media/Files/Literature/Brand/twiflex-limited/Catalogs/p-1648-tf-a4-sections/p-1648-tf-a4_braking_calculations.ashx) (01.05.2019)
16. Bostoni ülikool [WWW] <http://physics.bu.edu/~duffy/py105/AngularMo.html> (01.05.2019)
17. RS Components Ltd. [WWW] <https://ee.rsdelivers.com/> (03.05.2019)
18. Riigiteataja võlaõigusseadus [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/111042014013#para14> (03.05.2019)
19. Inverterdrive [WWW] <https://inverterdrive.com/group/AC-Power-Modules-400V/Siemens-110kW-132kW-Inverter-6SL3224-0BE41-1UA0/> (03.05.2019)
20. Siemens G120 jõumooduli andmeleht [WWW] <https://mall.industry.siemens.com/spice/docuservice/docuservice?configid=14&docu.mlfb=6SL3210-1PE32-5AL0&docu.inittype=MLFB&docu.generationtype=VIEW&docu.viewid=PDF&region=ES&language=en&docu.language.locale1=en&docu.language.locale2=en> (18.05.2019)



## LISAD

1. Lintvedaja AC mootori andmeleht
2. Magistritöö plakat
3. Liini asendiplaan



**Data sheet for SIMOTICS M-1PH8**



Figure similar

**MLFB-Ordering data**      **1PH8286-1WB10-1AW2-Z**  
**G14**

Client order no. :  
 Order no. :  
 Offer no. :  
 Remarks :

Item no. :  
 Consignment no. :  
 Project :

**Engineering data**

	$P_N$ [kW]	$M_N$ [Nm]	$I_N$ [A]	$U_N$ [V]	$f_N$ [Hz]	$n_N$ [rpm]	$M_{max}$ [Nm]	$I_{max}$ [A]	$n_{max}$ [rpm]	$M_0$ [Nm]	$I_0$ [A]	$\eta$	$\cos \phi$	$I_{\mu}$ [A]
$\Delta$ ALM 400V	100.0	1909.0	188.0	400	17.0	500	5350	530.0	3300.0	1909.0	188	0.939	0.82	96.0
BLM/SLM 400V	80.0	1910.0	186.0	325	13.6	400	5350	530.0	3300.0	1910.0	186	0.928	0.82	98.0
ALM/BLM/SLM 480V	120.0	1916.0	188.0	460	20.3	600	5350	530.0	3300.0	1916.0	188	0.945	0.85	88.0

Mechanical data	Connection
-----------------	------------

Motor type	Squirrel cage asynchronous motor	Type of electrical connection	Terminal box
Shaft height	280	Terminal box position	NDE top
Cooling	Forced ventilation NDE -> DE	Power connection	right
Vibration severity grade	A	Signal connection	DE
Shaft and flange accuracy	N	Terminal box designation	1XB7700-P02
Degree of protection	IP55	<b>Special design</b>	
Design acc. to Code I	IM B3 (IM V6)	G14 with air filter	
Temperature monitoring	Pt1000 temperature sensor in the stator winding		
Color	Standard (Anthracite RAL 7016)		
Type of the bearing	Standard		
Shaft extension	Feather key with full key balancing		
Encoder system	Incremental encoder HTL 1024 pulses/rev (encoder HTL1024S/R) with connection via additional terminal box		

**Physical constants**

Thermal time constant	50 min
Moment of inertia	5.20000 kgm <sup>2</sup>
Weight (approx.)	1400 kg

Technical data are subject to change! There may be discrepancies between calculated and rating plate values.

## Lisa 2 Magistritöö plakat



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

### Magistritöö teema: Traadikeerutsliini tootlikkuse tõstmine Teostus ettevõttes: Prysmian Group Baltics AS

Autor: Oliver Suuster  
Juhendaja: Toivo Tähemaa

Algselt seatud eesmärgid:

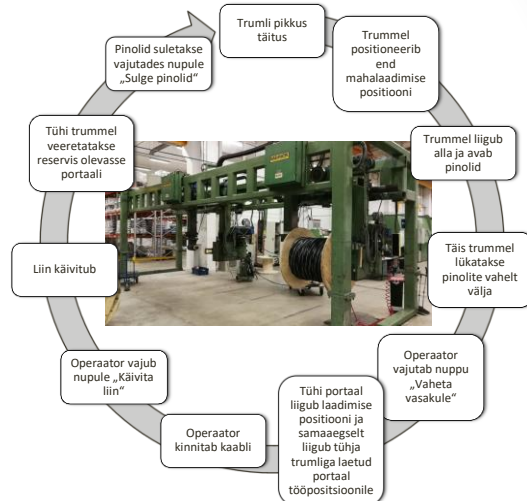
- Liini optimaalsete parameetrite defineerimine
- Funktsionaalsuse suurendamine
- Tootlikkuse tõstmine

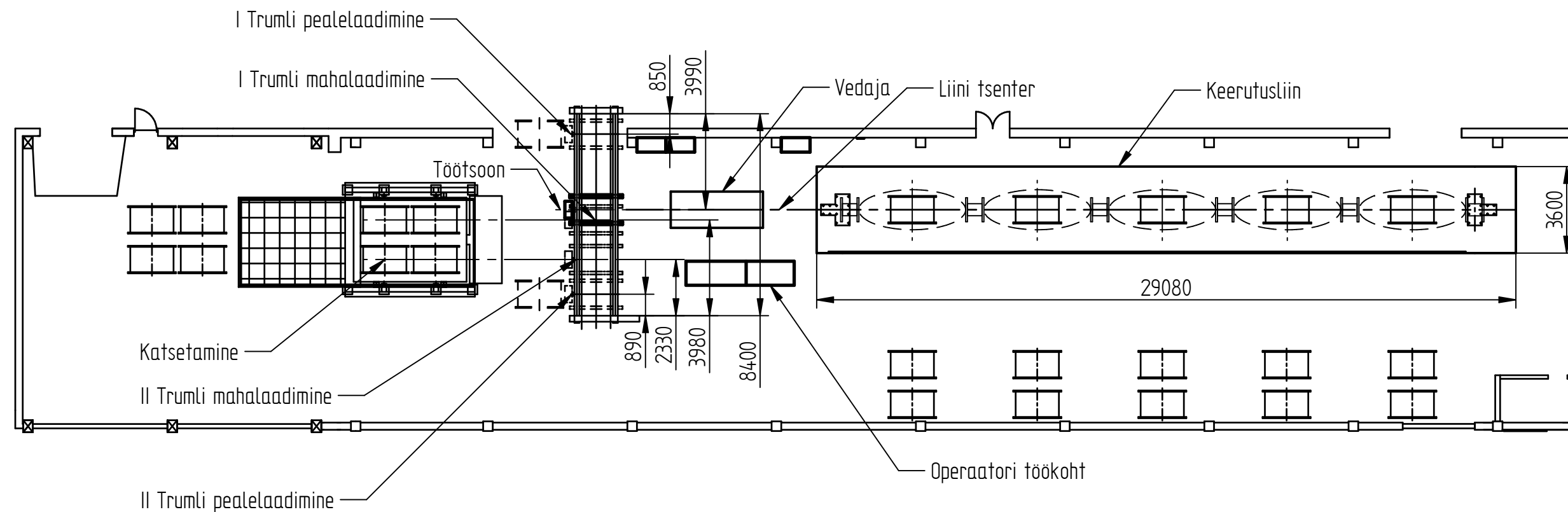
Liinil toodetavad tooted:


- AMKA, kandetrossiga õhuliin
- EX, keerutatud õhuliin

Magistritöö raames saavutatud tulemused:

- Liini tootlikkuse tõus 77 % võrra
- Uue juhtimissüsteemi teostus portaalvastuvõtjale
- Võimalus kasutada sama lahendust mitmel teisel sarnasel seadmel
- Mehaanilise ülekande vahetamine elektrilise ajami vastu ja seeläbi muudetava sammude pikkuse võimaldamine
- Optimeeritud töökorraldus vastuvõtjal





 TTU	TTÜ INSENERITEADUSKOND	Magistritöö	Leht/Lehti: 1/1
	Koostaja: Oliver Suuster		Liini asendiplaan
Juhendaja: Toivo Tähemaa			
Mehaanika ja tööstustehnika instituut		Traadikeerutusliini tootlikkuse tõstmine	