EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

**Mihkel Aavik**

# MEEVURRI AUTOMATISEERIMINE

HONEY EXTRACTOR AUTOMATIZATION

Bakalaureusetöö
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: lektor Hardi Hõimoja, *PhD*

Tartu 2017

www.emu.ee

Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

| | | | |
|---|---|---|---|
| Eesti Maaülikool<br>Kreutzwaldi 1, Tartu 51014 | | Bakalaureusetöö lühikokkuvõte | |
| Autor: Mihkel Aavik | | Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia (384) | |
| Pealkiri: Meevurri automatiseerimine | | | |
| Lehekülgi:47 | Jooniseid:16 | Tabeleid:3 | Lisasid:1 |
| Osakond: Energeetika<br>Uurimisvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika, 4.17 Energeetikaalased uuringud, 4.13 Mehhanotehnika, automaatika, töötustehnoloogia. CERCS: T140 Energeetika, T125 Automatiseerimine, robootika, juhtimissüsteemid.<br>Juhendaja: Hardi Hõimoja, *PhD*<br>Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2017 | | | |
| Käesolevas bakalaureusetöös on käsitletud käsiajamiga meevurri automatiseerimist. See on ajendatud autori kodus paiknevast mõne-perelisest mesilast, kelle kärgedesse kogutud mett on vaja vurritamise teel kätte saada. Töö peamiseks eesmärgiks on sätitud meevurri automatiseerimine, et lihtsustada mee eraldamise protsessi. Selle saavutamiseks on püstitatud kuus alaeesmärki ja kaks lisaeesmärki. Töös käsitletakse vastava kirjanduse uurimist, teostatakse vajalikud arvutused meevurri käitamiseks, valitakse sobivad komponendid s.h muundur, mootor ja ülekandemehhanism, koostatakse juhtimispõhimõtted ja elektriskeem ning komplekteeritakse ajam ja esitatakse ülevaade projekti kulutustest. Arvutuste käigus selgus, et vurri käitamiseks vajalik võimsus on 90 W. Ülekandemehhanismi, milleks valiti rihmülekanne, mehaaniliste kadude tõttu tõusis see 95 W-i. Mootoriks valiti 180 W asünkroonmootor koos 370 W sagedusmuunduriga. Elektrilised komponendid ja ajami juhtnupud on paigutatud kohvrilaadsesse elektrikilpi, mida on võimalik vurrist eraldi transportida. Projekti kogumaksumus on ~300 eurot, kui sealhulgas pole arvestatud mootorit, ülekandes kasutatud rihmarattaid ja üksikuid väiksemaid komponente, mis olid autoril juba olemas või ei pidanud rahaliselt nende eest tasuma. Katsetuste käigus selgus, et komplekteeritud ajam töötab. Ühes sellega saab väita, et püstitatud eesmärgid said täidetud ja töö võib lugeda kordaläinuks. | | | |
| Märksõnad: automatiseerimine, elektriajam, meevurr | | | |

www.emu.ee

Eesti Maaülikool

Estonian University of Life Sciences

| | | | |
|---|---|---|---|
| Estonian University of Life Sciences<br>Kreutzwaldi 1, Tartu 51014 | | Abstract of Bachelor's Thesis | |
| Author: Mihkel Aavik | | Speciality: Engineering (384) | |
| Title: Honey Extractor Automatization | | | |
| Pages:47 | Figures: 16 | Tables:3 | Appendixes: 1 |
| Department: Energetics<br>Field of research: 4. Natural Sciences and Engineering, 4.17 Energetic Research, 4.13 Mechanical Engineering, Automation Technology, and Manufacturing Technology. CERCS: T140 Energy research, T125 Automation, Robotics, Control Engineering.<br>Supervisor: Hardi Hõimoja, *PhD*<br>Place and date: Tartu 2017 | | | |
| Present bachelor thesis has the purpose of automating a hand-crank honey extractor, because the author has an apiary of some bee families at his home, whose honey, that is stored in honeycombs, needs to be collected by extraction. The main aim was to automate honey extractorin order to simplify the process. Six subgoals and two extra goals were set to achieve that. In the thesis literature was studied, calculations were made to find required power for the extractor to work, proper components were chosen, including converter, motor and transmissioon, controlling principles and electrical schemes were made and the whole drive was built. Also review of the expenses is given.The calculations showed that required power was 90 W. Due to losses in transmission, where belt transmission was chosen, required power raised to 95 W. 180 W induction motor with 370 W voltage frequency converter were chosen. Electrical components and controls were installed in switchboard that acts as briefcase, which can be transported separately from the extractor. The whole cost of the project is approximately 300 euros, but some components were aquired without charge. The tests showed that the drive is fully operational and with that can be concluded that the goals, which were set are achieved. | | | |
| Keywords: automation, electrical drive, honey extractor | | | |

# SISUKORD

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU ..... 6
SISSEJUHATUS ..... 7
1. TÖÖ OLEMUS ..... 8
1.1. Töö eesmärgid ja tööde järjekord ..... 8
1.2. Isiklik side ja idee ..... 8
1.3. Meevurr ja tema tüübid ..... 9
1.4. Töös kasutatav meevurr ..... 11
1.5. Kärjed ..... 13
2. TÖÖMASINA KÄITAMISEKS VAJALIKU VÕIMSUSE ARVUTUS ..... 14
2.1. Tsentrifugaaljõud ..... 14
2.2. Töömasina võllile rakenduva koormuse arvutus ..... 14
2.2.1. Koormuste iseloom ja konstruktsiooni selgitus ..... 14
2.2.2. Õhutakistuse toimel tekkiv kaovõimsus ..... 16
2.2.3. Dünaamiline võimsus ..... 18
3. AJAMI PÕHIKOMPONENDID ..... 23
3.1. Mootor ..... 23
3.2. Ülekandemehhanism ja mootori kinnitused ..... 24
3.3. Sagedusmuundur ..... 26
4. AJAMI JUHTIMINE ..... 31
4.1. Töötsüklite reguleerimine ..... 31
4.2. Välised juhtahelad ..... 31
4.2.1. Juhistik ..... 32
4.2.1. Elektriskeem ja selle komponendid ..... 32
4.3. Töötsüklite parameetrite sätestamine ..... 34
4.3.1. Muunduri häälestamine ..... 34
4.3.2. Aegreleede häälestamine ..... 36
5. KOMPLEKTEERIMINE JA KATSETAMINE ..... 38
5.1. Ajami kokkupanek ..... 38
5.2. Katsetamine ..... 39
5.3. Kulude aruanne ..... 40
KOKKUVÕTE ..... 42
KASUTATUD KIRJANDUS ..... 43
SUMMARY ..... 44

LISAD ..... 45
Lisa A.1. Väikese rihmaratta tehniline joonis ..... 46
Lisa A.2. Suure rihmaratta välimise osa tehniline joonis ..... 47
Lisa A.3. Suure rihmaratta südamiku tehniline joonis ..... 48
Lisa A.4. Suure rihmaratta koostejoonis ..... 49

# LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

*AC* – vahelduvvool

*AI* – analoogsisend

*COM* – digitaalsisendite ühine maandusklemm

*DC* – alalisvool

*DI* – digitaalsisend

*GND* – maandusklemm

*NC* – tavaolekus suletud kontakt

*NO* – tavaolekus avatud kontakt

*VFC* – voltage frequency converter

# SISSEJUHATUS

Igasugune tootmise automatiseerimine on tänapäeval väga aktuaalne väljakutse, sest tehnika kiire areng ja tootmismahtude suurenemine on loonud selleks vajalikud eeldused. Samuti suunab automatiseerimise poole inimkonna järjest paranev elukvaliteet ja püüe mugavuse suurenemise suunas.

Üheks enim arenevaks valdkonnaks automatiseerimise juures on ajamitehnika. Materjaliteaduses tehtavad avastused ning elektrimootoreid juhtivate muundurite areng ja odavnemine on loonud võimaluse projekteerida ajam pea igale tootmist hõlmavale protsessile, nagu ka antud töös käsitletud mee eraldamisele kärgedest.

Autori side antud bakalaureusetöös käsitletud meevurriga on läbi perekonna; autori isa peab mesilasi, kelle kogutud mesi on vaja kärgedest eraldada meevurri abil, mis senini on ringi aetud käsitsi.

Töö koosneb sissejuhatusest, kus autor annab lühikese ülevaate eelseisvast tööst, sisulisest osast, kus on lahendused püstitatud eesmärkidele ja kokkuvõttest, kus autor esitab järeldused tehtud töö kohta. Töö sisu on jaotatud viieks peatükiks, millest esimeses annab autor ülevaate töö olemusest ja taustinformatsioonist, mis puudutab mesindust ja isiklikku sidet, teises teostab autor arvutused leidmaks meevurri käitamiseks vajalikku võimsust, kolmandas on välja toodud ja selgitatud ajami põhikomponentide valik, neljandas on kirjeldatud ajami juhtimise põhimõtteid ning annab autor ülevaate ajami lõplikust komplekteerimisest.

# 1. TÖÖ OLEMUS

## 1.1. Töö eesmärgid ja tööde järjekord

Antud töös on selgelt esikohal üks põhieesmärk - automatiseerida käsiajamiga meevurr. Selle saavutamiseks püstitas autor 6 alaeesmärki, mis ühtlasi iseloomustavad tööde järjekorda:

1) Tutvuda kirjandusega
2) Teostada vajalikud arvutused leidmaks vurri käitamiseks vajalik võimsus
3) Valida sobiv ülekandemehhanism
4) Valida sobiv kombinatsioon mootorist ja muunudrist
5) Koostada juhtimispõhimõtted ja elektriskeem
6) Komplekteerida ajam

Lisaeesmärkidena võib välja tuua:

1) Erinevate elektriliste komponentidega tutvumine
2) Ajami konstrueerimise põhimõtetega tutvumine

## 1.2. Isiklik side ja idee

Töö autori isa on mesinik ning peab keskmiselt viite mesilasperet. Sõltuvalt aastast on mõni pere heitmise, kehva emamesilase, haiguse, raske talve vm põhjuse tõttu välja surnud, ent samas on ka heiduperesid kinni püütud, tänu millele on suudetud perede arvu tasakaalus hoida. Tegemist on buckfasti tüüpi mesilastega, kes on üldjoontes rahulikud ning püsivad hästi kärgedel väljavõtmise hetkel, samuti on nad hea toodanguga [1]. Arvestuslik saak suve kohta on ca 25 kg ning 5 aasta keskmine töö autori juures peetavatel mesilastel jääb samasse suurusjärku.

Idee siduda lõputöö kasutatava meevurriga tuleneb sellest, et üldjuhul pidi käsiajamiga vurri ringi ajama töö autor ning plaanis oli protsess automatiseerida juba mõni aasta tagasi.

Bakalaureusetöö pakkus hea võimaluse süstematiseeritult ja laiema haardega läbida automatiseerimisprotsess.

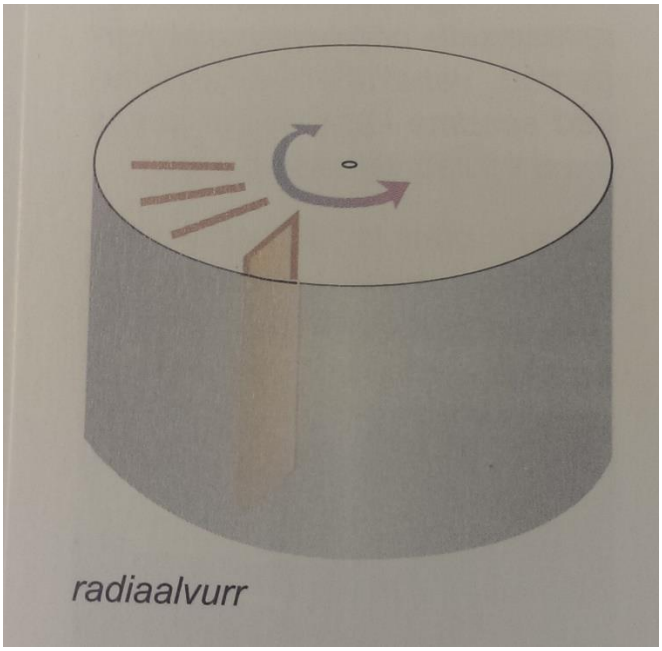
## 1.3. Meevurr ja tema tüübid

Mee eraldamiseks kärgedest kasutatakse erinevaid tüüpe meevurre. Eelnevalt lahtikaanetatud kärjed asetatakse vurri, kus pöörlemisel tekitatakse tsentrifugaaljõud, mille abil surutakse mesi kärjekannudest välja. Kasutusel on kolme liiki vurre: horidiaalvurrid, radiaalvurrid ja rõhtteljelised vurrid.

Horidiaalvurride (joonis 1.1) puhul on meekärgede küljed vurritamise ajal küljega korpuse poole. Kärjed on toestatud võrkkassettiga, mis kaitseb neid tsentrifugaaljõu poolt vigastamise eest. Mesilased ehitavad kärjed üles selliselt, et kärjekannud on mõne kraadi võrra suunatud ülespoole, et mesi sinna talletamisel välja ei valguks. Seetõttu on horidiaalvurris vajalik kärjed asetada kassettidesse selliselt, et põhjaliist oleks pöörlemissuunas. Kuna korraga vurritatakse ühte kärje poolt, tuleb kärgi keerata ja vahetada vurri pöörlemissuunda. Kassetid võivad olla pöördumatud (ebamugav, sest kärjed tuleb käsitsi kassettidest välja võtta ja ümber pöörata) või pöörduvad (suhteliselt mugav, sest lihtsa liigutusega on võimalik kärjed ümber pöörata).

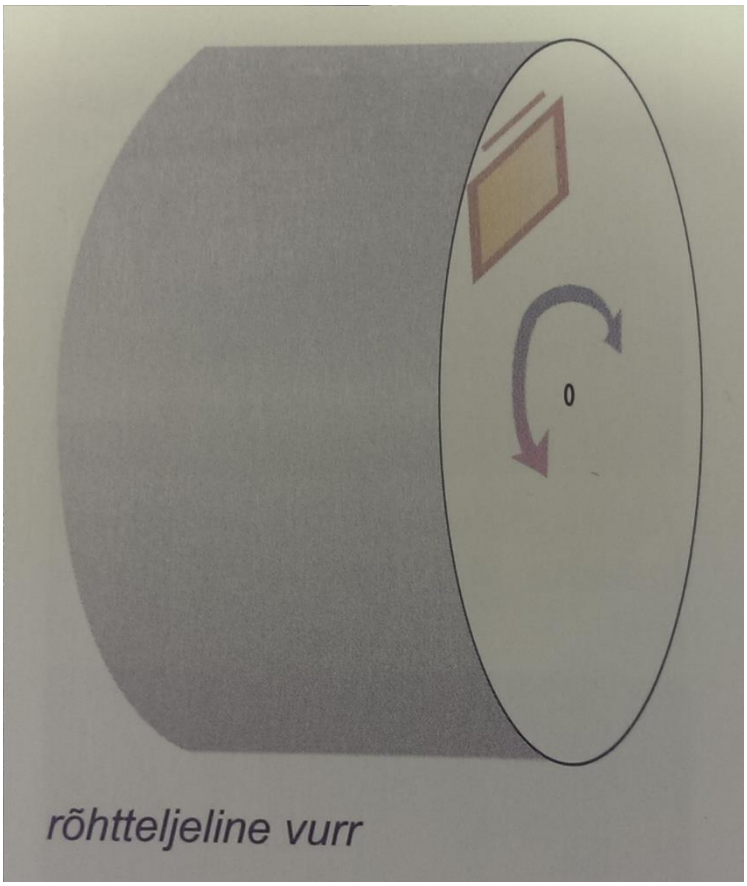
**Joonis 1.1.** Horidiaalvurr [2: 178]

Radiaalvurrides (joonis 1.2) on kärjed paigutatakse vurri radiaalselt keskpunktist välisseina suunas (ülemine liist väljapoole). Seetõttu on radiaalvurrid mahutavuselt horidiaalvurridest üle, sest kassettide ümberpööramise vajadus puudub. Tavaliselt on mahutavus 9-70 kärge. Kärgede purunemise oht on suurem, sest raami osadele langeb erinev joonkiirus, seega ka erinevad jõud.




**Joonis 1.2.** Radiaalvurr [2: 178]

Rõhtteljelised vurrid (joonis 1.3) on tööpõhimõttelt sarnane radiaalvurrile, erinedes vaid pöörlemistelje asetuselt, mis rõhtteljelisel on horisontaalne. Selle asjaolu puhul on lisaks tsentrifugaaljõule abiks mee eraldamisel raskusjõud. Mahutavus on vahemikus 10-160 kärge. Purunemisoht on väike, sest kärjed asetsevad tihedalt üksteise kõrval ja toestavad üksteist. [2: 36, 178-180]




**Joonis 1.3.** Rõhtteljeline vurr [2: 178]

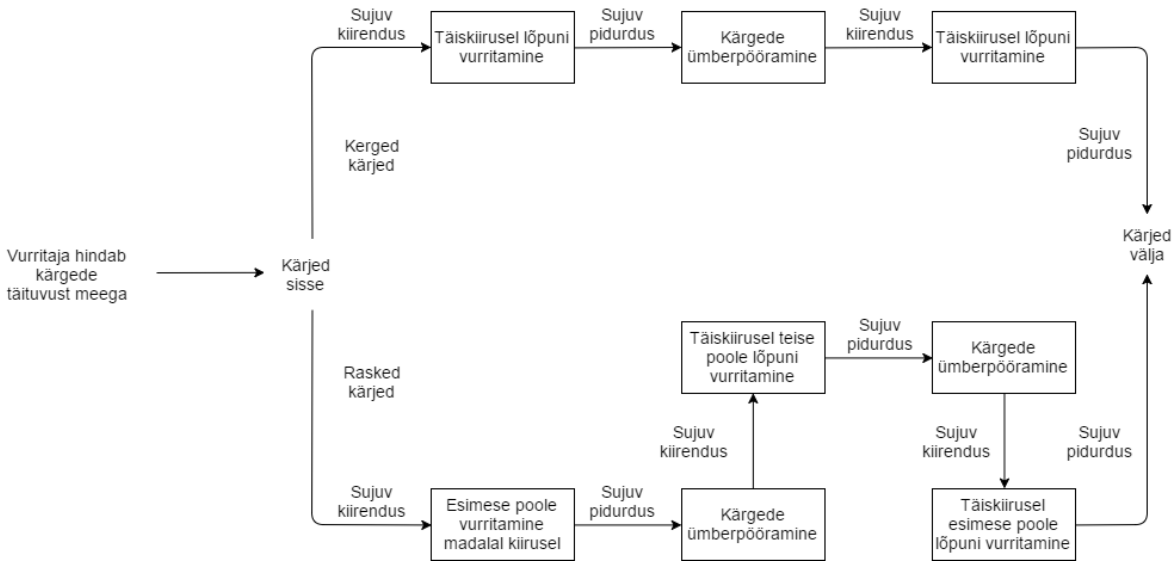
## 1.4. Töös kasutatav meevurr

Antud töös kasutatav meevurr on ehituselt pööratavate kassettidega (2 tk) horidiaalvurr. Tegemist on käsitsi ringiaetava vurriga, millel on kahest koonushammasrattast koosnev kiirendav ülekanne ülekandeteguriga $k = 2,2$ . Vurri konstruktsiooni põhilised ja arvutuste jaoks vajalikud väiksemad osad on välja toodud joonisel 1.4.

**Joonis 1.4.** Vurri konstruktsiooni põhilised osad: 1-rõngas, 2-horisontaalne varras, 3-vertikaalne varras, 4-kärjekassett, 5-korpus, 6-ülekandemehhanism koos tugiplaadiga, 7-vänt

Kärgede vurritamisel pööratavate kassettidega horidiaalvurriga tuleb arvestada, et raskemate kärgede puhul pole võimalik esimest külge ühe tsükliga täielikult tühjaks vurritada, sest kärje teisel küljel paiknev mesi võib liiga suurel vurritamiskiirusel tsentrifugaaljõu tõttu kärjed lõhkuda. Seetõttu on vaja kiirust piirata ning algselt vurritada vaid osa meest kannudest välja. Sobivaks kiiruseks on 60…80 pööret minutis. Seejärel tuleb kärjed ümber pöörata ja vurritada teine pool aeglasel kiirusel enamjaolt tühjaks, suurendada kiirust 250…300 pöördeni minutis, mille tulemusel on teine pool tühjaks vurritatud. Viimaks tuleb kärgi veel korra pöörata, et suuremal kiirusel saaks esmane pool samuti lõpuni vurritatud [3: 22]. Kergemate kärgede puhul on võimalik protsessi kiirendada, vurritades mõlemad pooled koheselt lõpuni tühjaks. Kogu protsessi vooluskeem on joonisel 1.5.

Soovitavaks madalaks pöörlemiskiiruseks valin $n_1 = 70$ p/min ja kiiremaks $n_2 = 275$ p/min.




**Joonis 1.5.** Mee eraldamisprotsessi vooluskeem pööratavate kassettidega horidiaalvurri puhul

## 1.5. Kärjed

Vurritatavateks kärgedeks on Eesti taru mõõtude järgi kärjeraam (Eesti raam), raamliistu laiuseks on 25 mm, välimisteks gabariitideks on 414x277 mm. Ülemise liistu otstes on 24 mm pikkused väljaulatuvad õlad, millega raam toetub tarukorpusele. Kärje tugevndamiseks on tal sisse pandud 4 horisontaalset traati. Kuusnurksed kärjekannud asuvad mõlemal pool kärge. [2: 10]

# 2. TÖÖMASINA KÄITAMISEKS VAJALIKU VÕIMSUSE ARVUTUS

## 2.1. Tsentrifugaaljõud

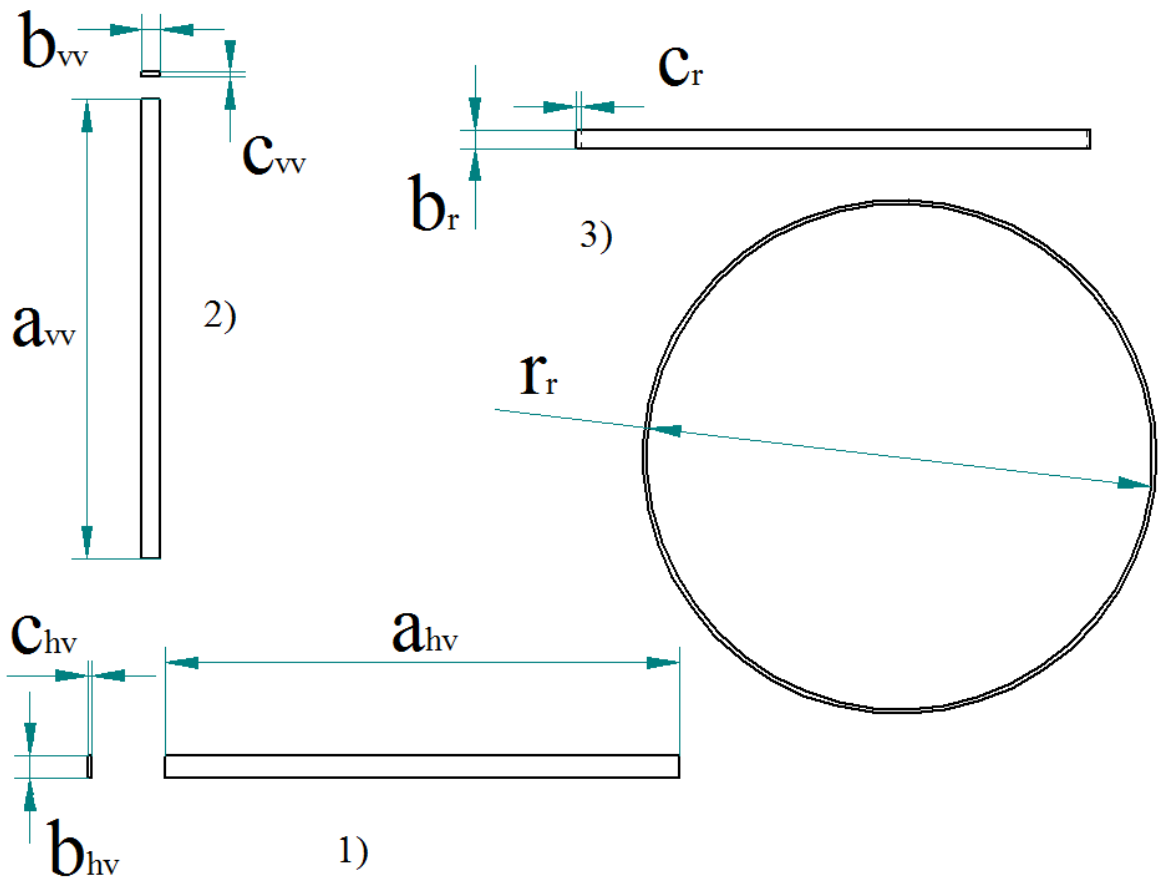
Alustades töömasina käitamiseks vajaliku võimsuse leidmist sai domineerivaks seisukoht, et põhiline jõud, millega peab arvestama on kesktõuke- ehk tsentrifugaaljõud. Seetõttu läks kaotsi mitu päeva, leidmaks viisi kuidas seda töömasina võllile teisendada. Hilisemalt juhendajaga nõu pidades jõudsime järeldusele, et taoline mõttekäik ei päde, sest tsentrifugaaljõudu pole võimalik võllile teisendada. Põhjuseks asjaolu, et kesktõmbejõud on vektoriaalselt suunatud tsentrist välja ega mõju ei kiirendavalt ega aegustavalt. Siiski on tegemist olulise jõuga, mis liigselt suurenedes võib kärgi kahjustada.

## 2.2. Töömasina võllile rakenduva koormuse arvutus

### 2.2.1. Koormuste iseloom ja konstruktsiooni selgitus

Sobiva võimsusega mootori valimiseks tuleb välja selgitada võllile tekkiv staatiline koormus ja kiirendamisel tekkiv dünaamiline koormus. Staatiline koormus koosneb laagrites tekkivast hõõrdekaost, õhutakistuse poolt tekitavast pidurdusjõust ning mootori ja töömasina vahel olevas ülekandes tekkivast mehaanilise energia muundamise kadudest. Laagrites tekkiv hõõrdekadu ulatub niivõrd väikese ajami puhul vaid mõnedesse vattidesse, seega võib selle arvestamata jätta. Raamide poolt tekitatava õhutakistuse mõju on tunduvalt suurem.

Arvutusteks oli vajalik mõõta pöörlevas konstruktsioonides olevate elementide gabariidid saamaks teada nende mass. Kokkuvõtvalt on tulemused esitatud tabelis 2.1. Mõõtude tähiste selgituseks on joonis 2.1.




**Joonis 2.1.** Vurris oleva pöörleva konstruktsiooni osade parameetrite tähiseid selgitav skeem (joonisel 1.4. on vastavad elemendid samuti märgitud): 1) - horisontaalse varras, 2) - vertikaalne varras, 3) - rõngas,

**Tabel 2.1.** Pöörleva konstruktsiooni elementide parameetrid, mille kaal pole teada

| Positsiooni number | Element | Pikkus (m) | Laius (m) | Paksus (m) | Kaugus tsentrist (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| | Tähis | - | $b_r$ | $c_r$ | $r_r$ |
| 1. | Rõngas | - | 0,02 | 0,005 | 0,275 |
| | Tähis | $a_{hv}$ | $b_{hv}$ | $c_{hv}$ | - |
| 2. | Horisontaalne varras | 0,56 | 0,025 | 0,005 | läbib kesktelge |
| | Tähis | $a_{vv}$ | $b_{vv}$ | $b_{vv}$ | $r_{vv}$ |
| 3. | Vertikaalne varras | 0,5 | 0,02 | 0,005 | 0,275 |

### 2.2.2. Õhutakistuse toimel tekkiv kaovõimsus

Õhutakistuse poolt tekitatava kaovõimsuse leidmiseks tuleb esmalt leida õhuhõõrde poolt tekitatav takistav jõud ja sellest tulenevalt takistav moment. Takistava jõu leidmiseks on valem [4]

$$F_{\tilde{o}} = \frac{\rho_{\tilde{o}} C_{\tilde{o}} A}{2} v^2, \tag{2.1.}$$

kus $F_{\tilde{o}}$ on õhuhõõrde toimel tekkiv takistav jõud N;

$\rho_{\tilde{o}}$ – õhu tihedus kg/m$^3$;

$C_{\tilde{o}}$ – kärjekassettide kuju iseloomustav koefitsient;

$A$ – keha pindala m$^2$;

$v^2$ – kärjekassettide joonkiirus m/s.

Kärjekassetid on ebakorrapärase kujuga pöörlemissuuna suhtes, lisaks on pinna kuju konarlik tulenevalt kärjestruktuurist ja teda ümbritseva kassetti seinast, mis on traatsõrestik. Pöörlemissuunaga risti olevas tasandisse projitseeritud kassettide pindala on hinnanguliselt 0,1 m$^2$. Koefitsent $C_{\tilde{o}}$ iseloomustab õhutakistust omava keha kuju ning harilikult leitakse see katseliselt tuuletunnelis, sättides eelnevalt paika ülejäänud komponendid valemis 2.1. Antud juhul on koefitsent $C_{\tilde{o}}$ määratud hinnanguliselt, võttes arvesse eelnevalt leitud kehade koefitsente [5].

Õhutakistuse mõju on suureneb kiiruse kasvades, seega kärjekassettide joonkiiruse leian lõplikul vurritamiskiirusel

$$v = \omega_2 r_r = 28,798 \cdot 0,275 = 6,624, \tag{2.2.}$$

kus $v$ on kärjekassettide joonkiirus m/s;

$\omega_2$ – lõplik vurritamise nurkkiirus rad/s;

$r_r$ – kärjeraamide kaugus vurri keskteljest m.

Õhutakistuse poolt pidurdav jõud on seega

$$F_{\tilde{o}} = \frac{1,21 \cdot 0,8 \cdot 0,1}{2} \cdot 6,624^2 = 2,213, \tag{2.3.}$$

Takistav jõumoment

$$M_{\tilde{o}} = F_{\tilde{o}} r_r = 2,123 \cdot 0,275 = 0,488, \tag{2.4.}$$

kus $M_{\tilde{o}}$ on õhutakistuse poolt tekitatav takistusmoment Nm;

$F_{\tilde{o}}$ – õhuhõõrde toimel tekkiv takistav jõud N;

$r_r$ – kärjeraamide kaugus vurri keskteljest m.

Õhutakistuse ületamisele kuluv kaovõimsus

$$P_{\tilde{o}} = M_{\tilde{o}} \omega_2 = 0,488 \cdot 28,798 \cdot 2 = 28,128, \tag{2.5.}$$

kus $P_{\tilde{o}}$ on õhutakistuse ületamisele kuluv kaovõimsus W;

$M_{õ}$ – õhutakistuse poolt tekitatav takistusmoment Nm;

$\omega_2$ – lõplik vurritamise nurkkiirus rad/s.

### 2.2.3. Dünaamiline võimsus

Dünaamiline koormus sõltub süsteemi inertsimomendist ja nurkkiirendusest. Leidmaks süsteemi inertsimomenti on vaja teada kõikide töömasinas pöörlevate elementide masse. Esmalt on vaja leida vastavate elementide ruumalad, mille mass pole teada. Kärjekassetti mass on hinnanguliselt . Mesinike kogemustele toetudes võtan meekärje (Eesti raam) täiskaaluks 2 kg.

Horisontaalse varda ruumala on arvutatav valemiga

$$V_{hv} = a_{hv} b_{hv} c_{hv} = 0,56 \cdot 0,025 \cdot 0,005 = 7 \cdot 10^{-5}, \qquad (2.6.)$$

kus $V_{hv}$ on horisontaalse varda ruumala m$^3$;

$a_{hv}$ – horisontaalse varda pikkus m;

$b_{hv}$ – horisontaalse varda laius m;

$c_{hv}$ – horisontaalse varda paksus m.

Vertikaalse varda ruumala arvutamise valem on analoogne horisontaalse varda omaga

$$V_{vv} = a_{vv} b_{vv} c_{vv} = 0,5 \cdot 0,02 \cdot 0,005 = 5 \cdot 10^{-5}, \qquad (2.7.)$$

kus $V_{vv}$ on vertikaalse varda ruumala m$^3$;

$a_{vv}$ – vertikaalse varda pikkus m;

$b_{vv}$ – vertikaalse varda laius m;

$c_{vv}$ – vertikaalse varda paksus m.

Rõnga ruumala arvutamisel on vaja kasutada ümbermõõdu leidmiseks ka rõnga raadiust

$$V_r = 2\pi r_r b_r c_r = 2 \cdot \pi \cdot 0,275 \cdot 0,02 \cdot 0,005 = 1,7 \cdot 10^{-4}, \qquad (2.8.)$$

kus $V_r$ on rõnga ruumala m$^3$;

$r_r$ – rõnga raadius m;

$b_r$ – rõnga laius m:

$c_r$ – rõnga paksus m.

Puuduolevate elementide massid saab leida materjali tiheduse järgi, milleks on mittelegeeritud teras tihedusega $\rho_t = 7850\,\text{kg/m}^3$ [6: 117].

Kõikide elementide massid on leitavad analoogselt korrutades omavahel tiheduse ja ruumala.

Horisontaalse varda mass

$$m_{hv} = \rho_t V_{hv} = 7850 \cdot 7 \cdot 10^{-5} = 0,55\,, \tag{2.9.}$$

kus $m_{hv}$ on horisontaalse varda mass kg;

$\rho_t$ – mittelegeeritud terase tihedus kg/m$^3$;

$V_{hv}$ – horisontaalse varda ruumala m$^3$.

Vertikaalse varda mass

$$m_{vv} = \rho_t V_{vv} = 7850 \cdot 5 \cdot 10^{-5} = 0,393\,, \tag{2.10.}$$

kus $m_{vv}$ on vertikaalse varda mass kg;

$\rho_t$ – mittelegeeritud terase tihedus kg/m$^3$;

$V_{vv}$ – vertikaalse varda ruumala mm$^3$.

Rõnga mass

$$m_r = \rho_t V_r = 7850 \cdot 1,728 \cdot 10^{-4} = 1,356\,, \tag{2.11.}$$

kus $m_r$ on rõnga mass kg;

$\rho_t$ – mittelegeeritud terase tihedus kg/m$^3$;

$V_r$ – vertikaalse varda ruumala mm$^3$.

Rõngaste, kassettide, vertikaalsete varraste ja meekärgede inertsimoment on arvutatav sama valemiga, sest lihtsuse mõttes saab lugeda kesktelje suhtes võrdsetel kaugustel ja

sümmeetriliselt paiknevad ning võrdse massiga elemendid ringjoonel ühtlaselt jaotunuks ehk kasutada arvutamisel võru valemit [7: 253]. Et kassetid ja kärjed ning rõngad ja vertikaalsed vardad asuvad samal kaugusel tsentrist, siis võib need samasse valemisse kokku võtta. Kuna kõiki elemente on kaks tükki, siis tuleb igasse valemisse lisada tegur 2.

$$J_{k+kä} = 2(m_k + m_{kä})r_k^2 = 2 \cdot (0,25 + 2) \cdot 0,23^2 = 0,238, \qquad (2.12.)$$

kus $J_{k+kä}$ on kassettide ja kärgede summaarne inertsimoment Nm$^2$;

$m_k$ – kassetti mass kg;

$m_{kä}$ – kärje mass kg;

$r_k$ – kassettide ja kärgede kaugus pöörlemisteljest m.

$$J_{r+vv} = 2(m_r + m_{vv})r_r^2 = 2 \cdot (1,356 + 0,393) \cdot 0,275^2 = 0,265, \qquad (2.13.)$$

kus $J_{r+vv}$ on rõngaste ja vertikaalsete varraste summaarne inertsimoment Nm$^2$;

$m_r$ – rõnga mass kg;

$m_{vv}$ – vertikaalse varda mass kg;

$r_r$ – rõnga ja vertikaalse varda kaugus pöörlemisteljest m.

Horisontaalne varras on kujult ristkülikuline plaat raskuskeskmega pöörlemistsentris, seega inertsimomendi leidmiseks on vaja kasutada järgnevat valemit [7: 253]

$$J_{hv} = \frac{2(a_{hv}^2 + b_{hv}^2)m_{hv}}{12} = \frac{2 \cdot (0,56^2 + 0,025^2) \cdot 0,55}{12} = 0,029, \qquad (2.14.)$$

kus $J_{hv}$ on horisontaalsete varraste summaarne inertsimoment Nm$^2$;

$a_{hv}$ – horisontaalse varda pikkus mm;

$b_{hv}$ – horisontaalse varda laius mm;

$m_{hv}$ – horisontaalse varda mass kg.

Summaarne inertsimoment avaldub

$$J = J_{k+kä} + J_{r+vv} + J_{hv} = 0,238 + 0,265 + 0,029 = 0,531, \qquad (2.15.)$$

kus $J$ on süsteemi summaarne inertsimoment Nm$^2$;

$J_{k+kä}$ – kassettide ja kärgede summaarne inertsimoment Nm$^2$;

$J_{r+vv}$ – rõngaste ja vertikaalsete varraste summaarne inertsimoment Nm$^2$;

$J_{hv}$ – horisontaalsete varraste summaarne inertsimoment Nm$^2$.

Dünaamilise võimsuse leidmiseks on vajalik teada dünaamilist momenti [7: 258, 8: 53-54], selle arvutamiseks omakorda nurkkiirendust, mille saab leida ühelt nurkkiiruselt teisele kiirendamise ja selleks kulunud aja järgi. Varasemale kogemusele toetudes valin aeglasemale vurritamisele kiirendamise ajaks $t_1 = 4\,\text{s}$ ja kiiremale vurritamisele $t_2 = 8\,\text{s}$. Soovitavad pöörlemiskiirused on vaja ümber arvutada nurkkiirusteks leidmaks nurkkiirendust. Teades, et nurkkiiruse ühik on rad/s, täispöördes on 2π radiaani ning minutis 60 sekundit, avaldub nurkkiirus järgmiselt

$$\omega_1 = 2\pi \frac{n_1}{60} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{70}{60} = 7{,}3\,, \tag{2.16.}$$

kus $\omega_1$ on vurri nurkkiirus aeglasel vurritamisel rad/s;

$n_1$ – vurri pöörlemiskiirus p/min.

$$\omega_2 = 2\pi \frac{n_2}{60} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{275}{60} = 28{,}8\,, \tag{2.17.}$$

kus $\omega_2$ on vurri nurkkiirus kiirel vurritamisel rad/s;

$n_2$ – vurri pöörlemiskiirus p/min.

Nurkkiirendused avalduvad

$$\alpha_1 = \frac{\omega_1}{t_1} = \frac{7{,}3}{4} = 1{,}5\,, \tag{2.18.}$$

kus $\alpha_1$ on vurri nurkkiirendus aeglasel vurritamisel rad/s$^2$;

$\omega_1$ – vurri nurkkiirus aeglasel vurritamisel rad/s;

$t_1$ – aeglasele vurritamiskiirusele kiirendamise aeg s.

$$\alpha_2 = \frac{\omega_2}{t_2} = \frac{28{,}8}{8} = 3{,}6\,, \tag{2.19.}$$

kus $\alpha_2$ on vurri nurkkiirendus kiirel vurritamisel rad/s$^2$;

$\omega_2$ – vurri nurkkiirus kiirel vurritamisel rad/s;

$t_2$ – kiirele vurritamiskiirusele kiirendamise aeg s.

Dünaamiline võimsuse leidmisel kasutan edaspidi nurkkiirendust $\alpha_2$, sest otsitav suurus on vaja leida juhul, kui ta on maksimaalne ning antud juhul on $\alpha_2$-e saavutamiseks vaja kulutada rohkem energiat.

Dünaamiline moment

$$M_d = J\alpha_2 = 0,5 \cdot 3,6 = 1,9, \tag{2.20.}$$

kus $M_d$ on dünaamiline moment Nm;

$J$ – süsteemi summaarne inertsimoment Nm$^2$;

$\alpha_2$ – vurri nurkkiirendus kiirel vurritamisel rad/s$^2$.

Dünaamiline võimsus

$$P_d = M_d \omega_2 = 1,9 \cdot 28,8 = 55,1, \tag{2.21.}$$

kus $P_d$ on dünaamiline võimsus W;

$M_d$ – dünaamiline moment Nm;

$\omega_2$ – vurri nurkkiirus kiirel vurritamisel rad/s.

Summaarne võimsus

$$P = P_d + P_{\tilde{o}} = 55,1 + 28,1 = 83,2 \tag{2.22.}$$

kus $P$ on summaarne võimsus W;

$P_d$ – dünaamiline võimsus W;

$P_{\tilde{o}}$ – õhuhõõrde ületamisele kuluv kaovõimsus W.

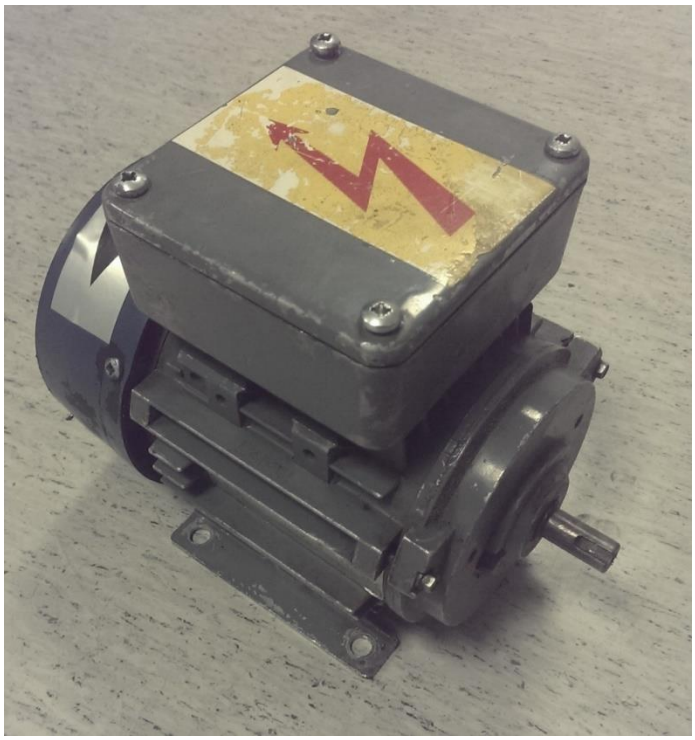
Kui arvestada juurde mõningased mehaanilised hõõrdekaod, siis on mõistlik valemis 2.22 leitud summaarne võimsus ümardada üles $P = 90$ vatini, mis näitab, kui suur on maksimaalne koormus töömasina võlliotsal.

# 3. AJAMI PÕHIKOMPONENDID

## 3.1. Mootor

Töös kasutatava meevurri puhul on oluline kompaktsus ja võimalikult väike mass, sest tegemist pole kohtkindla seadmega ning transportimise lihtsuse huvides on vaja gabariitide ja massi suurenemine hoida minimaalne. Sellest tulenevalt on ajami käitamiseks on sobivaimad madala võimsusega 3-faasiline asünkroonmootor või universaalmootor. Kiiruse muutmiseks ja kontrollimiseks on esimese puhul vajalik sagedusmuundur, teise puhul türistorpingeregulaator. Kuna oli võimalik hankida asünkroonmootor ilma tasuta, siis langes valik selle kasuks. Taolise valiku kasuks räägib veel asjaolu, et autoril puudub märkimisväärne kokkupuude universaalmootorite ja türistorpingeregulaatoriga, mis on ühtlasi vähem levinud kui sagedusmuundur.

Mootoriks on Brook Motorsi 3-faasilise lühisrootoriga asünkroonmootor, mille nimivõimsus on 180 W. Pilt mootorist asub joonisel 3.1 ning põhilised nimiandmed tabelis 3.1.



**Joonis 3.1.** Brook Motorsi 3-faasiline lühisrootoriga asünkroonmootor

**Tabel 3.1.** Mootori nimiandmed

| Nimiparameeter | Võimsus | Liinipinge (Δ/Y) | Faasivool (Δ/Y) | Sagedus | Võimsustegur (cosφ) | Pöörlemiskiirus |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ühik | kW | V | A | Hz | - | p/min |
| Nimiväärtus | 0,18 | 220/380 | 1,18/0,68 | 50 | 0,64 | 1370 |

## 3.2. Ülekandemehhanism ja mootori kinnitused

Tagamaks elektrimootori võimalikult suur efektiivsus on mõistlik meevurri maksimaalse kiiruse, $n_2 = 275$ p/min juures käitada elektrimootorit tema nimikiirusel $N_2 = 1370$ p/min. Seetõttu on vajalik ülekandemehhanism, milleks on sobivaim kiilrihmülekanne. Kettülekanne oleks ilmselt lihtsaim ja odavaim lahendus, kuid ketti on vaja regulaarselt õlitada ja õli võib tilkuda mee sisse. Samuti on kettülekanne liialt lärmakas. Hammasreduktori välistan, sest ülekandetegur ulatub ligikaudu 5:1-le, mis tähendaks olulist massi ja gabariitide suurenemist. Samuti oleks vaja reduktor kas poest kõrge maksumuse eest soetada või ise projekteerida ja valmistada, mille puhul oleks ajaline faktor kujunenud liiga pikaks. Kiilrihmülekande puhul on samuti kitsaskohti. Üheks neist on vurri poolse rihmaratta diameetri liialt suureks osutumine, mille puhul võib olla raskendatud kärgede paigutamine kassettidesse. Lisaks sellele võib rihmaratas suure läbimõõdu puhul olla märkimisväärse massiga, kui materjaliks on teras. Vurripoolne rihmaratas on siiski vaja maksimaalselt suur teha, et mootori võllil oleval rihmarattal selle väiksuse tõttu ja rihma vastupanule painutamise suhtes rihm libisema ei hakkaks.

Antud vurri puhul on suurim otstarbekas vurripoolse rihmaratta läbimõõt $d_v = 250$ mm, mille omistan efektiivläbimõõduks [6: 294]. Mootoripoolse rihmaratta läbimõõt on leitav läbi vurri ja mootori pöörlemiskiiruse ja vurripoolse rihmaratta diameetri. Selleks on järgnev valem [6: 299]

$$n_2 d_v = N_2 d_m \rightarrow d_m = \frac{n_2 d_v}{N_2} = \frac{275 \cdot 250}{1370} = 50,2, \qquad (3.1.)$$

kus $d_m$ on mootoripoolse rihmaratta läbimõõt mm;

$n_2$ – vurri pöörlemiskiirus kiirel vurritamisel p/min;

$d_v$ – vurripoolse rihmaratta läbimõõt mm;

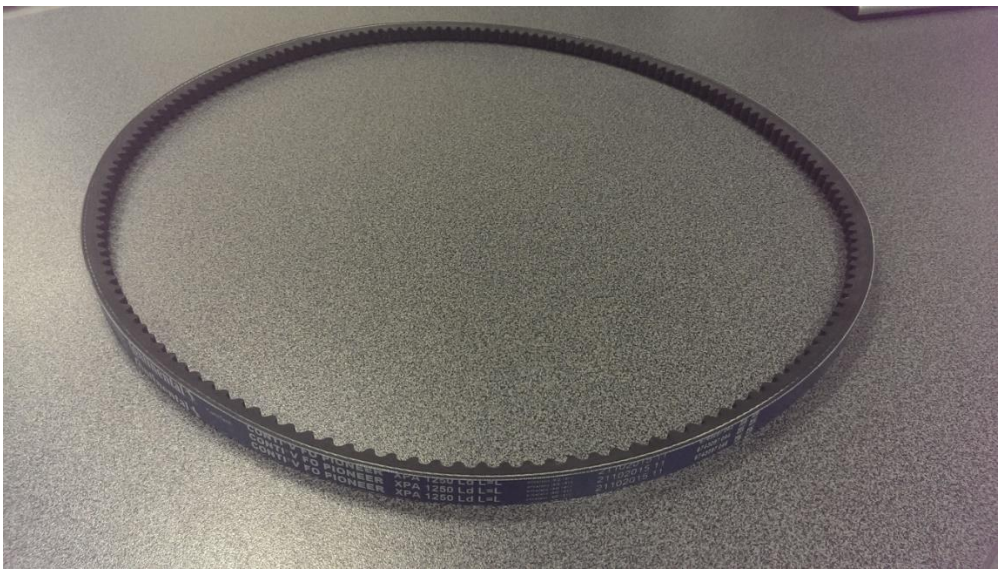
$N_2$ – mootori nimipöörlemiskiirus mm.

Seega võtan väiksema rihmaratta efektiivläbimõõduks $d_m = 50$ mm ning ülekandetegur tuleb $k = 250/50 = 5$. Kuna sobivaid rihmarattaid poodidest ei leidnud, oli tarvis need ise projekteerida käsiraamatu abil [6: 294]. Rihma profiiliks sai valitud A-profiil, sest ülekantav võimsus on küllaltki väike ja suurema profiili valikul ei pruugi rihm hästi painduda ümber väiksema rihmaratta. Treialiga nõu pidades arvas ta, et suurema rihmaratta puhul on mõistlik ratas valmis teha ja seejärel sobiva diameetriga eraldi südamik treida, millega ratas kinnitub meevurri võllile. Mootori võllile on erinevaid komponente võimalik kinnitada kiiluga, ent võttes arvesse asjaolusid, et treialil puudus võimalus rihmaratastesse kiilusoonte freesimiseks oli otstarbekam kasutada mõlema ratta kinnitamiseks stoppermutrit. Vurri võlliotsal oli eelnevalt juba olemas sälk selle tarbeks, mootori võllil sai stoppermutri fikseerida kiilusoonde. Rihmarataste tehnilised joonised asuvad lisas A. Joonisel 3.2 on pilt rihmaratastest.

**Joonis 3.2.** Rihmarattad

Mootoril on küljes jalad, mille abil on võimalik ta kinnitada vurri korpuse külge vertikaalselt võlliotsaga ülespoole. Pikkade poltide ja vahepukside abil on mootori kaugust vurri tsentrist

võimalik reguleerida vastavalt rihma pikkusele. Asetasin rihmarattad ühele tasandile ja mõõtsin nööriga kiilusoonte põhjast ära rihma pikkuse nii mootori lähimas kui kaugeimas asendis. Tulemuseks sain vahemiku 1200-1250 mm. Teades, et kiilrihmasid tähistatakse efektiivläbimõõdu kaudu, mis tähendab, et rihma pikkus on antud tugevndusriba kohast ja et rihm ei ulatu kiilusoone põhja välja, siis sobivaimaks rihmaks osutus Continentali XPA-tüüpi CONTI-V FO PIONEER pikkusega 1250 mm (joonis 3.3). Nimetatud rihm on ühtlasi ka hammastatud, mis tähendab paremat paindumist ümber rihmaratta.




**Joonis 3.3.** Hammaskiilrihm CONTI-V FO PIONEER XPA 1250

Ülekandemehhanismis tekivad võimsuse ülekandmisel mehaanilised kaod. Rihmülekande kasutegur on 95% [9: 1]. Seega mootorilt vajalik saadav maksimaalne võimsus on

$$P_m = \frac{P}{\eta_ü} = \frac{90}{0,95} = 94,7\ , \qquad (3.2.)$$

kus $P_m$ on mootorilt vajalik saadav maksimaalne võimsus W;

$P$ – summaarne võimsus vurri võlliotsal W;

$\eta_ü$ – rihmülekande kasutegur.

Seega on valitud mootor endiselt sobiv käitamaks vurri.

## 3.3. Sagedusmuundur

Sagedusmuunduri puhul langes valik ABB ACS150-01E-02A4-2-le (joonis 3.4) nimivõimsusega 370 W. Põhjuseks asjaolu, et asünkroonmootorit on võimalik ühendada kolmnurkühendusse, mistõttu vajalik liinipinge on 230 V ning antud muundurit on võimalik toita ühefaasilisest võrgust, mille ta muundab kolmefaasiliseks liinipingega 230 V. Seega ei teki vajadus kolmefaasilise 400 V liinipingega toitevõrgu järele, mis võimaldab kasutada vurri laialdasemalt. Samuti on antud muundur odavam ning ABB ajamite müügijuhiga konsulteerides soovitati ka just seda mudelit.

**Joonis 3.4.** ABB sagedusmuundur ACS150-01E-02A4-2 [10]

Muunduri manuaalis toodud juhistes on muundurit toitva kaabli soonte ristlõike pindalaks märgitud 2,5 $mm^2$ ja mootorit toitva kaabli puhul 0,75 $mm^2$. Et muunduri nimivõimsus on 370 W ja maksimaalne tarbitav võimsus mootori poolt on ~95 W, siis on võimalik toitekaabli soone ristlõike pindala vähendada. Neljasoonelist 0,75 $mm^2$ ristlõikega kaabel polnud töö valmimise ajal leitav, seega jäi mõlema kaabli puhul soone ristlõike pindalaks 1.5 $mm^2$. Mootori klemmikarbis oli tarvis ühendada mähised kolmnurkühendusse, et tagada sobiv faasipinge 220 V.

Sagedusmuunduri ja toitevõrgu vahele paigutas autor liinikaitselüliti. Tegemist on ABB C-tunnusjoonega 10 amprit nimivooluga kaitselülitiga, mille eesmärk antud juhul on peale juhistiku kaitse ka toimida lahklülitina.

Muundurit on võimalik juhtida läbi integreeritud paneeli (joonis 3.5) või väliseid ahelaid kasutades, millega saab kontrollida erinevaid makroprogramme. Kontrolleril on 5 digitaalsisendit ja üks analoogsisend, mille tarbeks on olemas ka vastavalt +24 V DC ja +10 V DC väljavõtud.

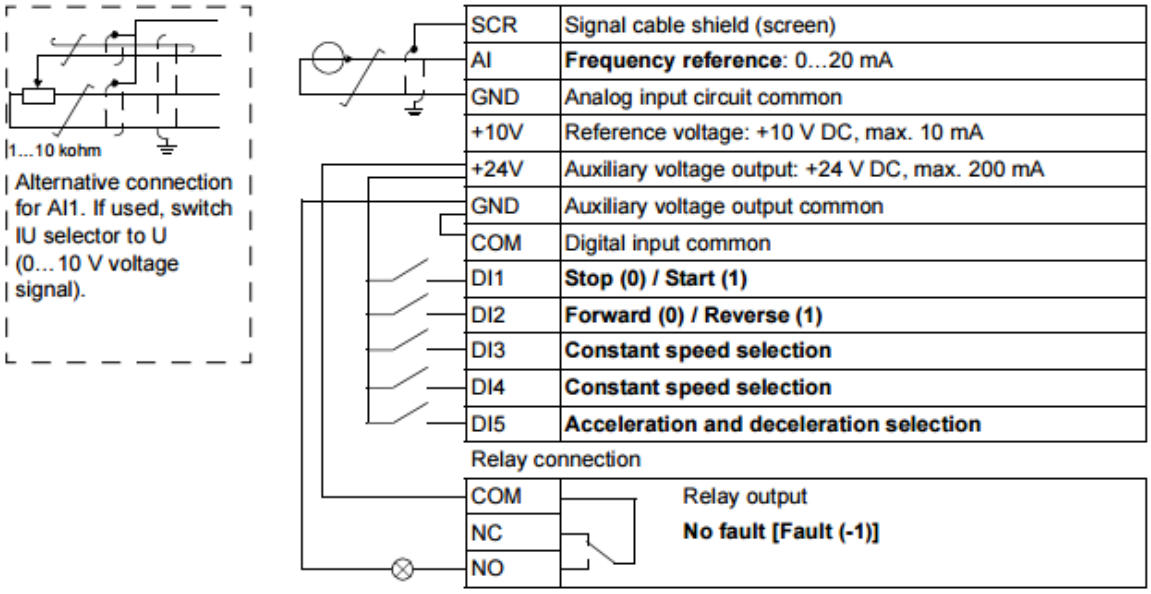
**Joonis 3.5.** Sagedusmuunduri integreeritud juhtimispaneel

Töös kasutatava ajami juhtimine toimub läbi väliste juhtahelate ning selle tarvis on vaja valida sobiv makroprogramm, mis defineerib sagedusmuunduri klemmliistul paiknevate klemmide funktsiooni. Antud töö puhul on otstarbekaim valida ABB soovituslik sisend/väljund klemmide ühendusskeem (joonis 3.6), sest juhtimisalgoritm pole väga kompleksne ning ABB poolne variant rahuldab kõiki vajadusi, et tagada ajami mugav juhtimine. Joonise vasakus osas on toodud analoogsisendi alternatiivne ühendusskeem, mis

leiab antud töös kasutust, sest ahelasse paigutuv potentsiomeeter töötab signaali pinge muutmise põhimõttel, mitte signaali voolutugevuse muutmise põhimõttel nagu joonise paremas osas näidatud on.

Ühendusklemmide tähiste selgitus:

SCR – analoogsisendi kaabli varjestus
AI – analoogsisend, võimalik sujuvalt mootori toitesagedust muuta
GND – analoogsisendi vooluringi maandus
+10 V DC – 10 volti toitepinge
+24 V DC – 24 volti toitepinge
GND – +24 VDC maandus
COM – digitaalsisendite maandus
DI1 – digitaalsisend 1, kui signaal puudub, mootor seisab, signaali olemasolu korral töötab
DI2 – digitaalsisend 2, kui signaal puudub, mootor pöörleb edaspidi, signaali olemasolu korral vastupidi
DI3 – digitaalsisend 3, signaali olemasolu korral pöörleb mootor eelsätestatud kiirusega nr. 1
DI4 – digitaalsisend 4, signaali olemasolu korral pöörleb mootor eelsätestatud kiirusega nr. 2
Kui nii DI3 kui DI4 kanalis on signaal, siis pöörleb mootor eelsätestatud kiirusega nr. 3
DI5 – digitaalsisend 5, signaali puudumisel kiirendab ja aeglustab mootor eelsätestatud parameetritega nr.1, signaali olemasolu korral aga eelsätestatud parameetritega nr. 2
COM – releeväljundi ühine kontakt
NC – avanev releekontakt
NO – sulguv releekontakt
Kui NO kontakt sulgub, siis on muundur tuvastanud häire ajami töös




**Joonis 3.6.** ABB soovituslik sisend/väljundklemmide ühendusskeem [11: 71]

# 4. AJAMI JUHTIMINE

## 4.1. Töötsüklite reguleerimine

Ajami juhtimine on üles ehitatud kahe töötsükli baasil, mida kirjeldab joonis 1.2, esimene neist kujutab aeglast vurritamist, teine kiiret. Töötsüklite pikkuse määramisel kaalus autor kolme võimalikku varianti:

1) Momendiandur – kas töömasina või mootori võllile kinnitada momendiandur, mis edastab infot koormusmomendi vähenemisest mee kärgedest eraldumise tõttu. Kui vähenemise kiirus on saavutanud teatud väärtuse (väheneb väga aeglaselt), lõpeb tsükkel.
2) Toitevoolude mõõtmine – mootori toiteahelasse paigutada ampermeeter, mis edastab infot toitevoolude vähenemisest mee kärgedest eraldumise tõttu. Kui toitevoolude vähenemise kiirus on teatud väärtuse (väheneb väga aeglaselt), lõpeb tsükkel.
3) Kindla ajalise pikkuse omistamine – toetudes eelnevale kogemusele ning katsetustele leida optimaalne aeg, mille möödudes on kärgedest piisavalt mett eraldunud, et võiks teist poolt vurritada või on kärjed sootuks lõpuni tühjaks vurritatud.

Valituks osutus kolmas variant, tänu oma lihtsusele ja töökindlusele. Esimese ja teise variandi kahjuks rääkis lisaks keerukamale ülesehitusele ka asjaolu, et koormusmomendi ja toitevoolude vähenemine toimub nii vähese inertsimomendi kahanemise puhul üsna minimaalsel määral. Samuti osutuksid nad suure tõenäosusega kulukamateks.

Valides töötsüklite vahel on määrav kärgede täituvus meega, mis tuleb eelneval vaatlusel vurritaja poolt hinnanguliselt paika panna. Töötsüklite pikkuste sätestamiseks on autori hinnangul otstarbekas kasutada aegreleesid.

## 4.2. Välised juhtahelad

### 4.2.1. Juhistik

Ajami juhtimine toimub läbi väliste juhtahelate kasutades sagedusmuunduri sisendite/väljundite klemmliistu, mille abil on autoril võimalik koostada endale sobivaim kasutajaliides. Samuti hoiab see ära sagedusmuunduri enda juhtpaneeli liigselt kiire amortiseerumise. Kõik ühendused on tehtud kiulise vaskjuhtmega, mille ristläbilõige on 0,75 $mm^2$ ja isolatsioonimaterjaliks PVC. Tagamaks kaabli kontaktide kvaliteetne ühendus klemmidega on kaabli otstesse paigaldatud kiudkaabli hülsid. Tulenevalt asjaolust, et sagedusmuunduri ja aegreleede klemmidele ei saa üle ühe kaabli kinnitada, oli tarvis kasutada klemmliiste. Antud juhul kasutas autor pistiktüüpi kahe-, kolme- ja viiekohalist klemmliistu vastavalt vajadusele.

### 4.2.1. Elektriskeem ja selle komponendid

Väliste juhtahelate kasutamiseks koostas töö autor elektriskeemi (joonis 4.1), mis sisaldab nelja lülitit, kahte aegreleed, potentsiomeetrit, märguandelampi ja kahte dioodi. Järgnevalt detailne loend skeemis kasutatavatest elementidest ja nende funktsioonidest:

P1 – potentsiomeeter 10 kΩ, võimaldab ajami kiirust sujuvalt muuta. Olgugi et, vajadus sujuva kiiruse reguleerimise järgi puudub, on siiski vajalik potentsiomeeter ühendada, sest muidu ajam läbi välise juhtahela käskluse andes ei käivitu.

S0 – avaneva kontaktiga avariilüliti, mille lülitamisel ajami juhtahelad katkestatakse 24 V toitepinge alt. Ennistumiseks tuleb nuppu pöörata.

S1 – aeglase vurritamise töötsükli aktiveeriv sulguva kontaktiga surunupp (OFF-(ON)), vajutamisel (ON) annab signaaliimpulsi aegrelee mähisele K1, misjärel juhitav kontakt K1.1 tõmbub kokku. Nupp ennistub (OFF) vedru abil koheselt pärast surve katkemist.

K1 – viitega ennistuv aeglast vurritamist reguleeriva aegrelee mähis, mille otstele on ajami sisselülitatud oleku ajal konstantselt rakendatud pinge 24 V. Saades läbi surunupu S1 signaaliimpulsi, hakkab mähis voolu juhtima ja kontakt K1.1 tõmbub. Vool katkeb vastavalt aegreleele sätestatud ajalise viivituse möödudes.

K1.1 – aeglast vurritamist reguleeriva aegrelee juhitav kontakt (NO), mis tõmbub juhul kui pingestatud mähis K1 saab läbi surunupu S1 vajutamise signaaliimpulsi. Lahutub vastavalt aegreleele sätestatud ajalise viivituse möödudes.

S2 – kiire vurritamise töötsükli aktiveeriv sulguva kontaktiga surunupp (OFF-(ON)), vajutamisel (ON) annab signaali aegrelee mähisele K2, misjärel juhitav kontakt K2.1 tõmbub kokku. Nupp ennistub (OFF) vedru abil koheselt pärast surve katkemist.

K2 – viitega ennistuv kiiret vurritamist reguleeriva aegrelee mähis, mille otstele on ajami sisselülitatud oleku ajal konstantselt rakendatud pinge 24 V. Saades läbi surunupu S2 signaaliimpulsi, hakkab mähis voolu juhtima ja kontakt K2.1 tõmbub. Vool katkeb vastavalt aegreleele sätestatud ajale.

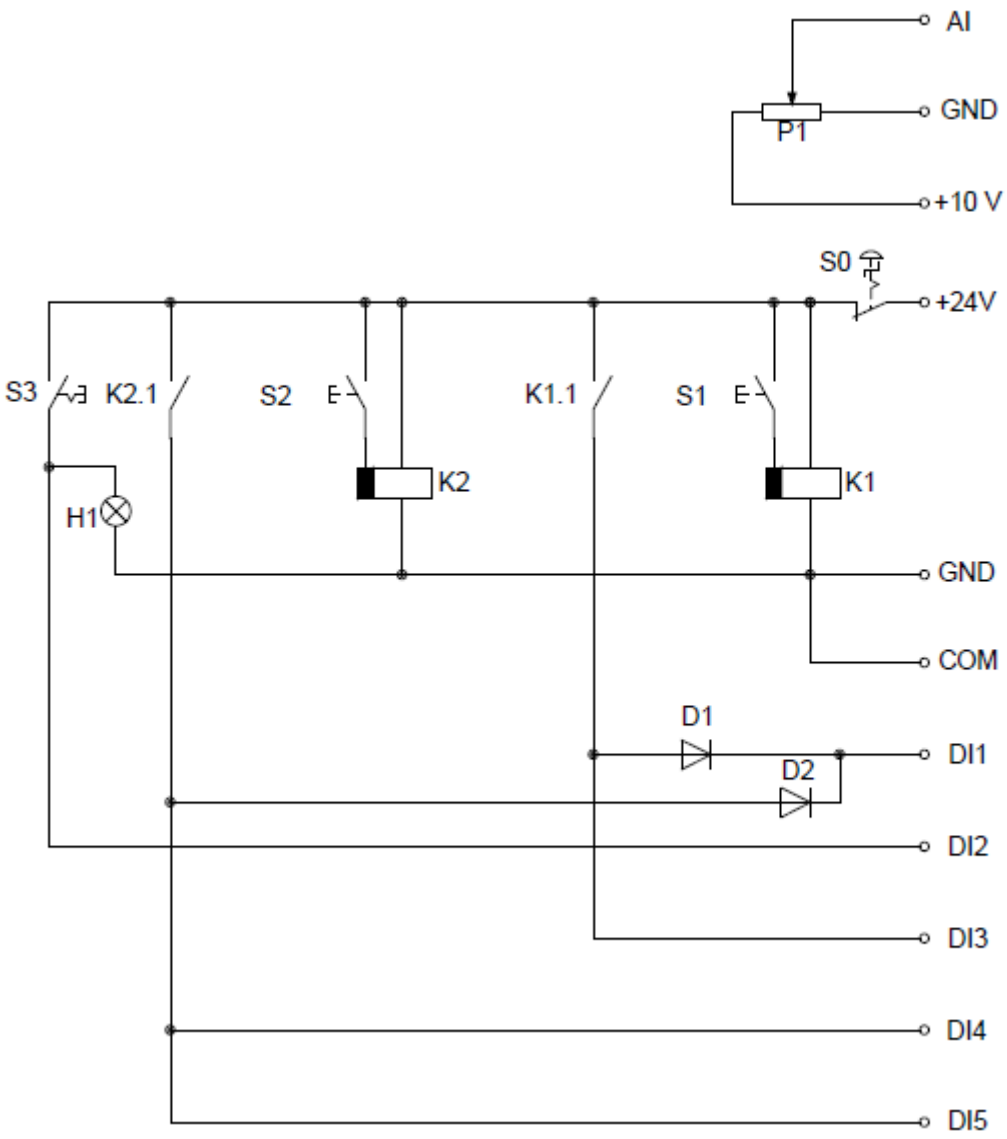
K2.1 – aeglast vurritamist reguleeriva aegrelee juhitav kontakt (NO), mis tõmbub juhul kui pingestatud mähis K2 saab läbi surunupu S2 vajutamise signaaliimpulsi. Lahutub vastavalt aegreleele sätestatud ajalise viivituse möödudes.

S3 – fikseeruva asendiga surunupp (ON-OFF), vajutamisel muudab vurri pöörlemissuuna vastupidiseks.

H1 – märguandelamp, mille süttides on ajami pöörlemissuund päripäeva, kustumisel aga vastupäeva.

D1 – diood, mis ei luba kiire vurritamise töötsükli korral voolul liikuda DI3 sisendisse.

D2 – diood, mis ei luba aeglase vurritamise töötsükli korral voolul liikuda DI4 ja DI5 sisendisse.




**Joonis 4.1.** Väliste juhtahelate elektriskeem

## 4.3. Töötsüklite parameetrite sätestamine

### 4.3.1. Muunduri häälestamine

Tagamaks võimalikult täpne ja efektiivne ajami juhtimine, tuleb esmalt sagedusmuundur reguleerida mootori parameetritele vastavaks. Läbi integreeritud juhtpaneeli tuleb sisestada mootori nimiparameetrid: liinipinge, faasivool, toitevõrgu sagedus, pöörlemiskiirus ja võimsus. Olles sisestanud need väärtused on sagedusmuunduri kasutajal juba võimalik mootorit läbi juhtpaneeli käivitada, sujuvalt kiirust reguleerida ja pöörlemissuunda muuta.

Peale seda tuleb valida sobiv juhtprogramm, milleks on ABB soovituslik variant. Väliseid juhtahelaid kasutades on vaja muunduris sätestada sisendite DI3, DI4 ja DI5 aktiveerumisel ja deaktiveerumisel rakenduvad juhtväärtused.

DI3 sisendi aktiveerumisel hakkab mootor pöörlema konstantsel kiirusel, mis on kasutaja poolt vastavasse sisendisse sätestatud. Antud juhul on DI3 kasutusel aeglase vurritamise töötsüklit reguleerivas ahelas, seega peab DI3 aktiveerumisel hakkama meevurr pöörlema kiirusega $n_1 = 70$ p/min ja mootor vastavalt ülekandesuhtele $k = 5$, $N_2 = kn_2 = 5 \cdot 70 = 350$ p/min. Pöörlemiskiirust on võimalik sätestada läbi muundurist mootorisse suunduva vahelduvvoolu sageduse. Teades, et nimisageduse korral pöörleb mootor nimikiirusega ja sageduse vähenemisel, väheneb pöörlemiskiirus temaga võrdeliselt on valem aeglasel vurritamisel mootori toitevoolu sageduse leidmiseks järgnev

$$\frac{f_2}{N_2} = \frac{f_1}{N_1} \rightarrow f_2 = \frac{f_1 N_2}{N_1} = \frac{50 \cdot 350}{1370} = 12{,}8\,, \qquad (4.1.)$$

kus $f_2$ on aeglasel vurritamisel mootori toitevoolu sagedus Hz;

$N_2$ – aeglasel vurritamisel mootori pöörlemiskiirus p/min;

$f_1$ – kiirel vurritamisel mootori toitevoolu sagedus Hz;

$N_1$ – kiirel vurritamisel mootori pöörlemiskiirus p/min.

Seega saab sätestada DI3 sisendi aktiveerumisel muunduri väljundsageduseks 12,8 Hz.

DI4 sisendi aktiveerumisel hakkab mootor pöörlema kiirusel, mis on kasutaja poolt vastavasse sisendisse sätestatud. Antud juhul on DI4 kasutusel kiire vurritamise töötsüklit reguleerivas ahelas, seega peab DI4 aktiveerumisel hakkama meevurr pöörlema kiirusega $n_1 = 275$ p/min ja mootor vastavalt $N_1 = 1370$ p/min. Seega DI4 sisendi sätteväärtuseks jääb 50 Hz.

DI5 sisendi aktiveerumisel kiirendab ja aeglustab mootor soovitud kiiruseni vastavalt kasutaja poolt sätestatud kiirendus- ja aeglustusrampidele nr.1, signaali puudumisel aga rampidele nr.2. Antud juhul, kui DI5 aktiveerub, on käigus kiire vurritamise tsükkel, deaktiveerudes aga aeglane. Tuginedes eelnevalt arvutustes kasutatud väärtustele jäävad kiirendus- ja aeglustusrampide pikkusteks $t_2 = 8$ s ja $t_1 = 4$ s.

### 4.3.2. Aegreleede häälestamine

Töötsüklite pikkusi reguleerivad kaks aegreleed, milleks autor valis Elko CRM-91H AC/DC 12-240 V (AC 50-60 Hz) multifunktsionaalsed aegreleed (joonis 4.2). Sellel on kaheksa lülitusfunktsiooni (Lisa… ) ja viivitusaega saab valida vahemikus 0.1 sekundit kuni 10 päeva. Aegreleed on paigutatud välistesse juhtahelatesse.

Tuginedes eelnevatele kogemustele valib autor aeglase vurritamise töötsükli pikkuseks $t_a = 30$ s ja kiire vurritamise puhul $t_k = 60$ s. Lõplik optimaalne töötsükli pikkus mõlemal juhul selgub katsetamiste käigus.

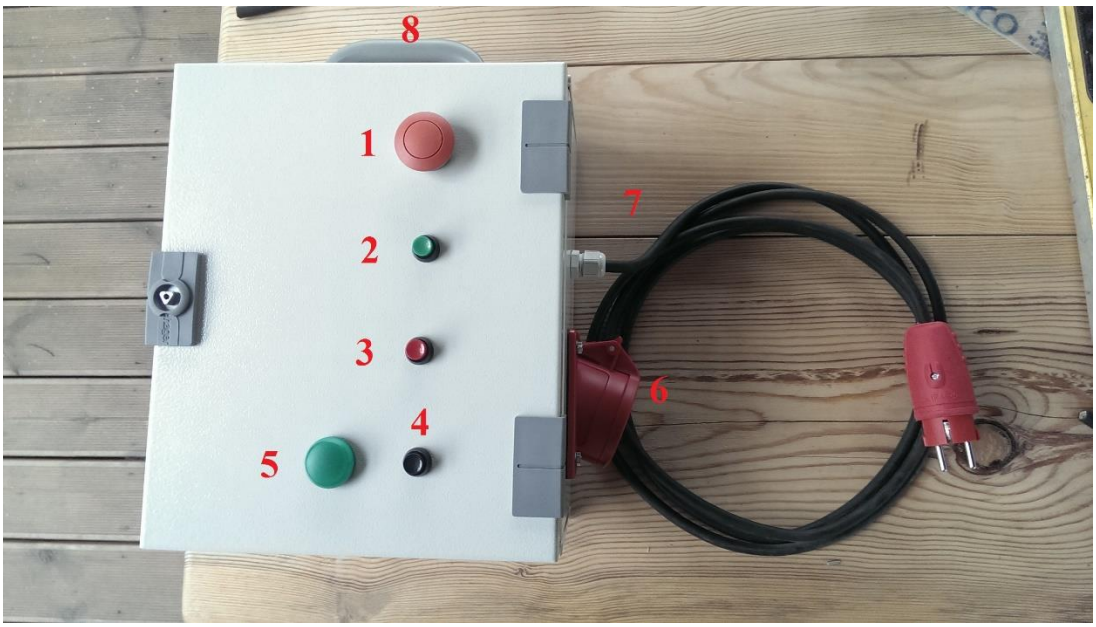
**Joonis 4.2.** Aegrelee CRM-91H

# 5. KOMPLEKTEERIMINE JA KATSETAMINE

## 5.1. Ajami kokkupanek

Kokkupanek algas rihmarataste kinnitamisega vastavate võllide otsa. Seejärel asetas autor suurele rihmarattale piisavalt pika sirge alumiiniumlati, mille abil sai reguleerida rihmarattad ühele tasandile ja märkida ära mootori kinnituspoltide tarbeks meevurri korpusesse puuritavad augud. Kui augud puuritud, sai kinnitada mootori korpuse külge, ratastele rihma peale panna ja reguleerida mootor sobivasse asendisse, et rihm oleks piisavalt pingul.

Elektriliste komponentide koondamiseks ja ühenduste koostamiseks oli tarvis kilpi, milleks sobis Hager FL102A mõõtudega 300x250x160 mm. Lähtudes vajadusest meevurri transportida ning sellest tulenevalt minimaalse massi ja gabariitide otstarbekusest ei olnud mõistlik kilpi paigutada vurri korpuse külge. Seetõttu muutus kilp portatiivseks kohvriks (joonis 5.1), mille kaande on süvistatud juhtnupud. Küljele on paigaldatud jõupistik, millesse saab ühendada mootorisse viiva toitekaabli, mis ladustamisel koos vurriga. Jõupistiku kõrvale paigutus läbiviik, mille kaudu on ajam ühendatud võrgutoitega. Kilbi ühte otsa on paigaldatud käepide mugavaks transportimiseks, ühtlasi saab selle ümber kerida võrguga ühenduva kaabli. Nii muunduri ja toitevõrgu kui ka muunduri ja mootori vahel on kiuliste vasksoontega hästi painduv kummikaabel.



**Joonis 5.1.** Juhtnuppudega elektrikilp, 1. avariilüliti (S0), 2. aeglane vurritamine (S1), 3. kiire vurritamine (S2), 4. pöörlemissuuna muutmine (S3), 5. indikaatorlamp (H1), 6. jõupistik mootori toitmiseks, 7. toitevõrguga ühenduv kummikaabel koos pistikuga, 8. käepide kilbi transportimiseks

Sagedusmuunduri, kahe aegrelee ja liinikaitselüliti paigaldamiseks oli kilbi põhja vaja kinnitada DIN-liist. Seejärel oli võimalik ühendada toiteahelad ja koostada välised juhtahelad koos kõigi neis sisalduvate elementidega. Lõplikult kokkupandud ajam asub joonisel 5.2.

**Joonis 5.2.** Lõplikult komplekteeritud ja töökorras automatiseeritud meevurr

## 5.2. Katsetamine

Tänu hilisele kevadele on loodus alles õide puhkemas ning mesilaste korje pole veel alata saanud. Seetõttu pole ka veel saadaval meega täitunud kärgesid, mida saaks meevurri testimisel kasutada. Pidi rahulduma vanade kärgedega, kus oli kannude põhjas ballastiks veel veidi eelmise hooaja mesilassööta. Kärjed kaalusid mõlemad u. 0,7 kg ehk siis üle kahe korra vähem ideaalsest täiskaalus meekärjest (2 kg).

Katsetamise käigus selgus, et juhtahelate elektriskeem on korrektne, elektrilised ühendused kvaliteetsed ning vurri mõlemad töötsüklid toimivad vastavalt sätestatud parameetritele. Katsetamise käigus mõõtis autor PeakTech 2970 optilise tahhomeetriga reaalsed

pöörlemiskiirused, mille käigus selgus, kiire töötsükli ajal oli töömasina pöörlemiskiiruseks 295 p/min (planeeritud-275 p/min) ja aeglase puhul 75 p/min (planeeritud-70 p/min). Selline erinevus tuleneb asjaolust, et arvutustes tegi autor valearvestuse lähtudes põhimõttest, et mõlema töötsükli ajal on mootor maksimaalselt koormatud. Reaalselt on asünkroonmootor alakoormatud, mille tõttu väheneb libistus ja rootori pöörlemiskiirus suureneb, lähenedes sünkroonkiirusele. Et reaalsed kiirused mahuvad siiski kirjanduses toodud piiridesse (aeglane – 60…80 p/min, kiire - 250…300 p/min) on tehtud vea mõju tööle tõenäoliselt marginaalne.

Töötsüklite pikkused saab lõplikult paika reguleerida alles siis kui mesilaste korje on aktiivsem ja kärjed hakkavad meega täituma.

## 5.3. Kulude aruanne

Projekti teostamiseks pidi autor seotama erinevaid elektrilisi komponente ja vajalikke kuluvahendeid, mille koondülevaade on esitatud tabelis 5.1. Tabelis ei kajastu mõned kuluvahendid (poldid, mutrid, seibid jne.), sest need olid autoril kodus olemas. Samuti ei kajastu tabelis asünkroonmootor ega rihmarattad, sest nende eest ei pidanud maksma.

**Tabel 5.1.** Projekti jaoks soetatud vahendid ja nende maksumus

| Komponent | Kogus (tk) | Hind (EUR) |
|---|---|---|
| Sagedusmuundur ACS 150 | 1 | 140 |
| Kiilhammasrihm | 1 | 10,0 |
| Aegrelee | 2 | 40,24 |
| Liinikaitselüliti | 1 | 4,35 |
| Hager metallkilp | 1 | 46,5 |
| Kummikaabel 3G1,5 $mm^2$ | 3 meetrit | 2,34 |
| Kummikaabel 4G1,5 $mm^2$ | 5 meetrit | 4,2 |
| Jõupistik 5-pooluseline | 1 | 2,7 |
| Kilbipesa 5-pooluseline | 1 | 3,6 |
| Montaažijuhe 0,75 $mm^2$ | 6 meetrit | 0,80 |

| | | |
|---|---|---|
| M22 adapter-raam | 2 | 2,27 |
| M22 kontaktiplokk | 1 | 2,0 |
| M22 seen-nupp | 1 | 6,9 |
| M22 märklamp | 1 | 2,7 |
| M22 LED ELEMENT | 1 | 4,05 |
| Läbiviik 16x1,5 | 1 | 0,43 |
| Otsahülss 1,5 $mm^2$ | 20 | 0,48 |
| Otsahülss 0,75 $mm^2$ | 30 | 0,72 |
| Käepide | 1 | 2,47 |
| Diood 1N5819 | 2 | 0,20 |
| Pistik 3-pooluseline | 1 | 1,95 |
| DIN-liist 250 mm | 1 | 1,90 |
| Klemmliist plug-in 3-ne | 5 | 2,95 |
| Klemmliist plug-in 5-ne | 5 | 4,40 |
| Polt M5 | 4 | 0,14 |
| Lüliti ON-OFF | 1 | 1,0 |
| Lüliti OFF-(ON) | 2 | 2,0 |
| Pistik 2,8x0,8 mm | 10 | 1,5 |
| | **Kokku:** | 292,79 |

# KOKKUVÕTE

Antud bakalaureusetöös on käsitletud käsiajamiga meevurri automatiseerimist. Selle saavutamiseks uuriti kirjandust, teostati vajalikud arvutused, valiti sobivad komponendid, komplekteeriti ajam ning esitati projektile tehtud kulutuste ülevaade.

Arvutustes selgus, et töös kasutatud käsiajamiga 2-kassettilise horidiaal-tüüpi meevurri käitamiseks, kui selles on kaks täiskaalus meekärge (2+2=4 kg) on tarvis kõige enam 90 vatist võimsust. Ülekandemehhanismi puhul osutus valituks hammaskiilrihmülekanne, mille eelisteks veel valikus olnud reduktor- ja kettülekande ees oli vähene müra, odavus ja puhtus. Reduktor oleks veel enam osutunud liiga suureks ja kulukaks. Tulenevalt ülekandemehhanismis tekkivatest kadudest on maksimaalne vajatav võimsus mootorilt töömasinale ~95 W.

Mootori ja muunduri poolest oli valikus asünkroonmootor koos sagedusmuunduriga ja universaalmootor türistorpingeregulaatoriga. Valik osutus esimese kombinatsiooni kasuks tulenevalt asjaolust, et asünkroonmootor oli juba olemas ja kokkupuude teisena nimetatud kombinatsiooni elementiga on autoril olnud minimaalne. Valitud komponentideks said 3-faasiline Brook Motorsi asünkroonmootor võimsusega 180 W ja ABB sagedusmuundur ACS150-01E-02A4-2 võimsusega 370 W.

Ajam on juhitav väliseid juhtahelaid kasutades. Kogu elektrisüsteem ja kontrollnupud on paigutatud teisaldatavasse ja vurrist eraldiseisvasse kohvrilaadsesse elektrikilpi, mis tagab hea mobiilsuse ja hoiab ära vurri gabariitide ja massi liigse suurenemise.

Kogu projekti raames soetatud komponentidest on tehtud ülevaade koos üksikute komponentide hindadega. Kogumaksumus on 292,79 eurot, kuid sinna hulka ei kuulu asünkroonmootor, rihmarattad ja mõned väiksemad komponendid.

Katsetamiste käigus selgus, et ajam töötab, seega võib töös püstitatud põhieesmärk automatiseerida käsiajamiga meevurr ja selle saavutamiseks püstitatud alaeesmärgid lugeda täidetuks. Samuti võib täidetuks lugeda lisaeesmärgid, milleks olid erinevate elektriliste komponentidega ja ajami konstrueerimise põhimõtetega tutvumine.

# KASUTATUD KIRJANDUS


1. Buckfasti mesilane. – *Eesti Mesilaste Tõuaretajate Selts.* http://www.estbee.eu/buckfasti-mesilane/ (07.06.2017).
2. Praktiline mesindus 1. osa. (2008) Tallinn: Eesti Mesinike Liit. 219 lk.
3. Tarud ja mesindusinventar. (2003). Koost/ Nõmmisto, I., Pihklik P. http://www.teadmus.ee/andmed/1607190738588/allalaadimine (07.06.2017).
4. Air resistance formula. – *Softschools.* http://www.softschools.com/formulas/physics/air_resistance_formula/85/ (07.06.2017).
5. Shape effects on drag. – *National Aeronautics and Space Administration.* https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/shaped.html (07.06.2017).
6. Mehaanikainseneri käsiraamat: Käsiraamat. (2012). /Toim. P. Kulu, E. Hendre. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus. 492 lk.
7. **Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.** (2008) Füüsika põhikursus. 1. kd. Tartu: Eesti Füüsika Selts. 556 lk.
8. **Lehtla, T.** (2007). Elektriajamid. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus. 201 lk.
9. Rihmülekanne. – *Tallinna Tehnikaülikooli Mehhatroonikainstituut.* http://www.mh.ttu.ee/gennadi/masinaelemendid/kodutood/ULESANNETE_NAITED/(11)_Rihmulekanne.pdf (07.06.2017).
10. ACS150 – micro drive. – *ABB.* http://new.abb.com/drives/low-voltage-ac/micro/acs150 (07.06.2017).
11. User's manual ACS150 drives. – *ABB.* (2016). https://library.e.abb.com/public/a0dce7e3b8ab42408f8f454d62e3a18a/EN_ACS150_Drives_UM_D_A4.pdf (07.06.2017).

HONEY EXTRACTOR AUTOMATISATION

## SUMMARY

The aim of this thesis was to automate a hand-crank honey extractor. In order to achive that goal literature was studied, calculations were made to determine required power for the extractor to work, proper components were chosen, the drive itself was built and a review of expenses on components was presented.

The results of calculations show that in order to get the honey extractor to work, the most power to be required is 90 W. Belt transmission was chosen to transmit power from electric motor to extractor's rotor. The reasons for this were that it was less noisier, cheaper and cleaner solution than its competitors reductor and chain transmission. Also the reductor would have been too big and expensive. Losses in transmission raise the required power to 95 W.

3-phase induction motor with voltage frequency converter (VFC) was chosen to power the extractor and to control its movements. The other option, universal motor with thyristor voltage regulator was cast out because the author wasn't very familiar with, they are not that widespread and aquiring the induction motor was without charge. Motor was Brook Motors induction motor 180 W and VFC was ABB-s product ACS150-01E-02A4-2 with power of 370 W.

The drive can be controlled with using outer controls instead of those on the VFC-s panel. All the electrical system and controls are located in a switchboard, which acts as briefcase that can be transported separately. This gives it good mobility and keeps the extractors weight and dimensions lower.

A review is presented of the components bought for the project. Total cost is 292,79 euros, but it doesn't include induction motor and some smaller components that the author already had. During the tests the drive was working properly, so the main aim, to automate hand-crank honey extractor, and subgoals in order to achive it, may count as accomplished. The extra goals, such as studing different electrical components and getting knowledge about the principles of constructing electrical drive, can also count as accomplished.

# LISAD

**Lisa A.1. Väikese rihmaratta tehniline joonis**

**Lisa A.2. Suure rihmaratta välimise osa tehniline joonis**

**Lisa A.3. Suure rihmaratta südamiku tehniline joonis**

**Lisa A.4. Suure rihmaratta koostejoonis**