



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO  
INSENERITEADUSKOND  
Virumaa kolledž

**MEREO MG1500 PH eelsoojendusahju jahutussüsteemi  
arendamine ja rakendamine tööprotsessis**

**Development and application of a cooling system for the MEREO  
MG1500 PH preheat oven in the work process**

MASINAEHITUS- JA ENERGIATEHNOLOOGIA PROTSESSIDE JUHTIMINE  
ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Dmitri Šipulin

Üliõpilaskood: 220792EDJR

Juhendaja: Vjatšeslav Kekšin,  
doktorant-nooremteadur

Kaasjuhendaja: Tatjana Baraškova,  
vanemlektor

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneriplomiti taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

# **LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS<sup>1</sup>**

Mina Dmitri Šipulin (sünnikuupäev: 25.08.1983)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „MEREE MG15 PH eelsoojendusahju jahutussüsteemi arendamine ja rakendamine tööprotsessis“, mille juhendaja on Vjatšeslav Kekšin ja kaasjuhataja Tatjana Baraškova,
  - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautori(d) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

# SISUKORD

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU .....	5
SISSEJUHATUS .....	6
1. MERE0 MG1500 PH EELSOOJENDUSAHI .....	8
1.1 Disain .....	8
1.2 Tehnilised andmed .....	9
1.3 Tööpõhimõte .....	9
1.4 Kütteelemendid .....	10
2. MERE0 MG1500 PH EELSOOJENDUSAHJU PEAMINE PUUDUS .....	13
2.1 Sundjahutuse vajadus .....	13
2.2 Lahendus – integreeritud sundjahutusmoodul .....	13
3. JAHUTUSMOODULI PROTOTÜÜP .....	15
4. SUNDJAHUTUSSÜSTEEMI ÜHENDAMINE TOITEALLIKAGA .....	17
4.1 MERE0 MG1500 PH eelsoojendusahju esialgne elektriskeem .....	17
4.2 Koormuse ümberarvutamine .....	19
4.3 MERE0 MG1500 PH eelsoojendusahju muudetud elektriskeem. ....	21
KOKKUVÕTE .....	24
SUMMARY .....	25
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	26

## LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

PCB	Trükkplaat (ingl. k. Panel Circuit Board)
QFP	Pindpaigaldatav integraallülituse korpuse tüüp (ingl. k. Quad Flat Package)
BGA	Pindpaigaldatav integraallülituse korpuse tüüp (ingl. k. Ball Grid Array)
NO	Tavaline avatud (ingl. k. Normal Opened)
NC	Tavaline suletud (ingl. k. Normal Closed)

## SISSEJUHATUS

Tänapäeva maailma võib julgelt nimetada digitaalseks. 20. sajandi teise poole "arvutirevolutsioon" kestab aktiivselt tänaseni. Protsessorid muutuvad väiksemaks ja võimsamaks, andmete töötlemine ja edastamine kiireneb ning nende kodeerimine töökindlam ja turvalisem. Tõenäoliselt pole tänapäeval ühtegi inimtegevuse valdkonda, mida arvuti ühel või teisel määral ei juhiks.

On ebatõenäoline, et Ameerika leiutaja Charles Ducas, kes 1925. aastal lõi esimesena isoleeritud pinnale elektrilise tee ja patenteeris selle kui "Prinditud traat" („Printed wire“), oleks võinud ette kujutada, kui laialt levinud tema leiutis saab. 60ndatel ilmusid integraallülitused („Integral circuit“), mis suudavad asendada terveid funktsionaalseid plokkke, millest saab kaasaegse mitmekihilise trükkplaadi aluseks. Pindkinnitustehnoloogia („Surface-mount technology“) tulekuga 80ndatel omandas trükiplaat sisuliselt lõpliku kuju, millega oleme harjunud. Edasi muutub plaat väiksemaks ja funktsionaalsemaks, kuid välimus ei muutu radikaalselt. [1]

Tootmisprotsessid on aga muutunud. Selle põhjuseks on eelkõige osade komponentide eripära ja pidevalt kasvavad nõuded nende funktsionaalsusele. Näiteks ilmus jootmine auru-gaasikambris, kasutades ülitõhusaid dielektrilisi soojusülekandevedelikke. See võimaldab suuri ja raskeid komponente ühtlaselt jootma.

Ilmusid ka alatäitmine („Underfill“) ja servade täitmine („Edging“) protsessid. Selle olemus seisneb spetsiaalse epoksü materjali kandmises juba joodetud komponentide alla või servadele, peamiselt need on QFP ja BGA tüüpi. See kaitseb komponente põrutuste ja vibratsiooni eest ning vähendab kahe erineva materjali (integraallüliti ja PCB) soojuspaisumise erinevusest põhjustatud pinget hapratele jooteühendustele. Enne selle lahuse rakendamist paremaks voolavuseks tuleks plaati kuumutada, enamasti 100 kraadi piires.

Selleks kasutatakse eelsoojendusahju. Üks funktsionaalsuse poolest sobivaimaid valikuid on -MERO MG1500 PH eelsoojendamisaahi.

Mereo Groupi asutas Soomes 1989. aastal insener Markku Jokela „PMJ automec Oy“ nime all. Kuid tänapäeval asub ettevõtte kontor ja tootmisüksus Eestis, Tallinnas. [2]

Mereo Group keskendub elektroonikatööstuse EOL („End Of the Line“) protsessidele. Need protsessid hõlmavad toiminguid pärast SMD (pinnale monteeritavate komponentide) tootmisliini.

Selles töös käsitletakse üksikasjalikult MERO MG1500 PH eelsoojendusahju struktuuri ja tööalgoritmi. Pöörame tähelepanu selle peamisele miinusele, igasuguse

jahutussüsteemi puudumisele ning proovime seda kõrvaldada, arendades ja integreerides sinna (ahjusse) sundjahutusmooduli, jaotades selleks osaliselt ümber seadme kehtivad faasikoormused.

Võtmesõnad: trükiplaat, jahutussüsteem, kütteelemendid, bakalaureusetöö.

# 1. MEREO MG1500 PH EELSOOJENDUSAHI

## 1.1 Disain

MEREO MG1500 PH - on eritellimusel valmistatud seade. Seetõttu on see omal moel ainulaadne. Seadme tootmisel võeti arvesse enamikku meie ettevõtte nõudmisi ja soove.



Joonis 1.1 MEREO MG1500 PH eelsoojendusahi (eestvaade)

Ahju tööprotsess on üsna staatiline (ainuke liikuv komponent on konveier) ja ei sisalda vibratsiooni, seega on see üsna kerge, kuna suurem osa korpusest koos raamiga on valmistatud alumiiniumprofiilidest ja -lehtedest. Terasest on valmistatud ainult paigaldustoed ("jalad"), samuti mõned siseraami, konveieri ja küttekambri elemendid.

Esipaneelil on paigaldatud puuetundliku ekraaniga arvutimonitor (2-in-1) süsteemi juhtimiseks. Selle kõrval, keskel, on käivitus- (roheline indikaatoriga) ja hädaseiskamisenupud. Küttekamber on peidetud peal, vastava märgistusega kaane taha. All, kahepoolse ukse taga, paigaldatud elektrikapp, see osa, mis vastutab juhtimise eest. Elektrivarustuse osa asub allosas taga.

Fikseeritud esiküljega üheosaline konveierisüsteem (tähendab, et seadmes on korraga ainult üks toode) asub umbes 90 cm kõrgusel põrandast ja läbib otse küttekambri. PCB liigutatakse mööda konveierit kahe alalisvoolumootori abil. Küttekamber on varustatud



kütteelementidega, mis on sümmeetriliselt grupeeritud ülemisele ja alumisele paneelile. Seadme peal asuv märgutuli näitab selle praegust tööolekut.

## 1.2 Tehnilised andmed

Tabel 1.1 MERE0 MG1500 PH spetsifikatsioon

Mõõtmed, P x L x K	1500 x 1000 x 1300 mm
Kaal	250 kg
Min PCB, P x L	100 x 50 mm
Max PCB, P x L	800 x 500 mm
Kütteelemendid, 230 VAC / 250 W	48 tk
Temperatuur	Kuni 100 °C

Lisaks loetletud tehnilistele andmetele tuleks märkida mitmeid valikulisi omadusi.

Esiteks on see konveieri laiuse automaatne reguleerimine. Seda teostab ka alalisvoolumootor ja see seadistatakse vastavalt programmis määratud andmetele.

Teiseks on see kütteelementide rühmitus. Need on rühmitatud 6 tüki kaupa 8 rühma, vastavalt 4 alumist ja 4 ülemist. Kõiki neid kaheksat rühma juhivad eraldi kontrollid. Ja kõik need rühmad aktiveeritakse sõltuvalt programmis määratud toote laiusest.

## 1.3 Tööpõhimõte

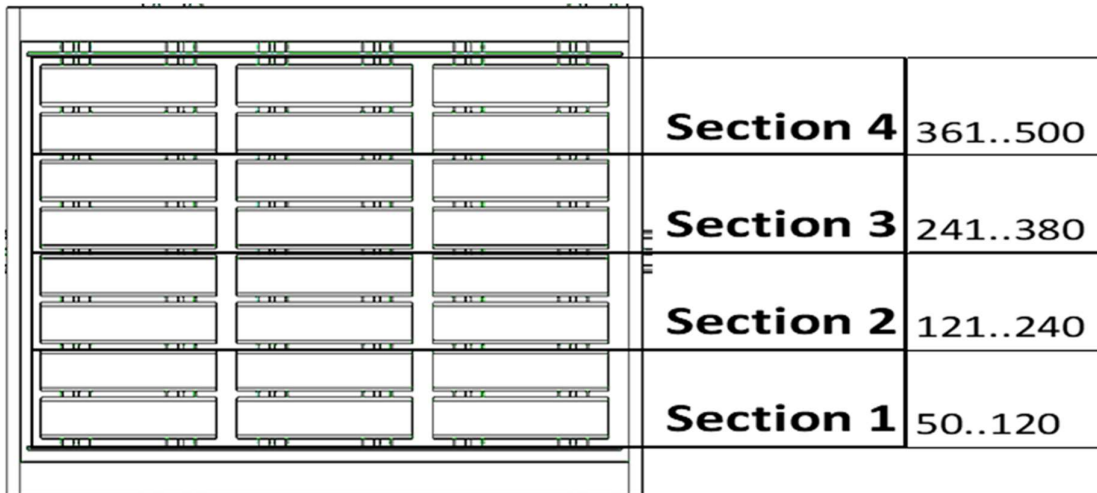
MERE0 MG1500 PH tööalgoritm on sarnase funktsionaalsusega seadmete jaoks üsna standardne. Seda saab kirjeldada mitmes etapis.

- Ohutusahela kontrollimine (kaaned peavad olema suletud, hädaseisunupud peavad olema vabastatud)
- Kontrollerite ja juhitavate seadmete ning arvuti vahelise ühenduse kontrollimine
- Mootorite initsialiseerimine (konveieri mootorid teevad „testi käive“)
- Andurite oleku (staatuse) kontrollimine

Kui kõik need sammud on tehtud siis süsteem on tööks valmis ja edasi tuleb

- Programmi laadimine; süsteemi oleku viimine vajalike parameetriteni

Eelsoojendusahju programm sisaldab 3 peamist parameetrit. See on konveieri laius (sellest oleneb kütteelementide aktiivsete rühmade arv (Joonis 1.2)), küttemperatuur (70–100 kraadi) ja plaadi kuumutustsoonis viibimise aeg (olenevalt toode paksusest, paigaldatud komponentide arvust ja eripärast).



Joonis 1.2 Küttesoonide aktiveerimise sõltuvus PCB laiusest (Mereo Group. Leaflet M-G PHO 1500)

Esimene tsoon („Section 1“ joonisel 1.2) või kaks kütteelementide rühma (üks allpool ja teine üleval) on alati aktiivsed. Teiste tsoonide kasutamine sõltub juba toote laiusest (Parem veerg joonisel 1.2).

Enamiku profiilide küttemperatuur on sama - 90 kraadi. Mõnel, pigem erandlikul juhul, võib seda olla veidi vähem või veidi rohkem.

PCB-i soojendamise aeg võib veidi erineda, kuid üldiselt on see ligikaudu 1-2 minutit.

Kaks viimast parameetrit sõltuvad otseselt "valatud" komponentide arvust, nende asukohast tootel ja toote enda paksusest.

Kui süsteemi olek on viidud profiilis määratud parameetriteni, peab mööduma stabiliseerimisaeg, see on 30 sekundit ooteaega valmisolekus. Pärast seda on ahi täielikult kasutusvalmis.

PCB-i transportimine (ahju sisenemine ja sealt väljumine) toimub SMEMA protokolliga kaudu, mis on selles tootmispiirkonnas üsna tavaline. Liikumist seadme sees mööda konveieri „jälgivad“ optilised andurid (sisend-, kütte- ja väljundtsoonides).

Küttekamber on pidevalt suletud. Temperatuur püsib stabiilsena, kuni ahi välja lülitatakse või mõni muu tööprofiil laaditakse.

Toodetud ühikute arvu, süsteemi hetkeseisu, andurite olekut ja kütteaia loenduri näitu saab jälgida monitori ekraanil reaalsajas.

## 1.4 Kütteelemendid

Küttekamber on soojusisolatsioonikarp, mille alumisel ja ülemisel paneelil on kütteelemendid, 8 rühma 6 tükki (4 rühma peal ja 4 all). Iga rühmaga on ühendatud

termopaar, et mõõta selle füüsilist temperatuuri, ja iga sellist rühma juhib oma kontrollid.

Kütteelemendiks valiti Elstein FSR/1 250W keraamiline infrapunane paneelküttekeha (Joonis 1.3).



Joonis 1.3 Elstein FSR/1 250W keraamiline infrapunane kütteelement [3]

FSR-tüüpi küttekehad on nõgusa kujuga. Tekkiv vahe paigalduspinnal ja elemendi enda vahel takistab soojust neeldumist juhtmestiku ruumis. [4]

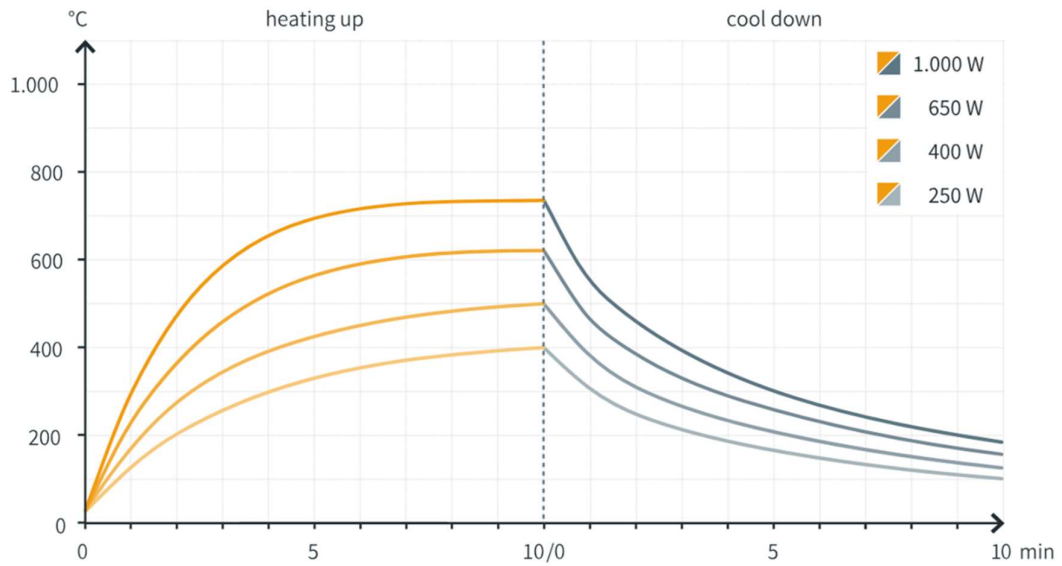
FSR/1 250W on selliste mõõtmetega madalaima võimsusega küttekeha (FSR-seeriast). Allpool (Tabel 1.2) on toodud selle tehnilised omadused.

Tabel 1.2 Keraamilise infrapunase kütteelemendi FSR/1 250W tehnilised omadused [4]

Mõõtmed, P x L	250 x 62,5 mm
Kaal	220 g
Nimipinge	230 VAC
Võimsus	250 W
Pinnavõimsus	64 kW/m <sup>2</sup>
Töötemperatuur	400 °C
Lubatud tipp temperatuur	720 °C

Temperatuuri reguleerimiseks kasutatakse integreeritud K-tüüpi termopaari (NiCr-Ni), kus „positiivne jalg“ (NiCr) koosneb 89–90 % niklist, 9–9,5 % kroomist, 0,5 % ränist ja rauast ning ülejäänud osa on süsinik, mangaan ja nioobium, ja „negatiivne jalg“ (Ni) koosneb 95–96 % niklist, 1–1,5 % ränist, 1–2,3 % alumiiniumist, 1–3,2 % mangaanist, 0,5 % koobaltist ning ülejäänud osa on raud, vask ja plii. Kasutustemperatuuri vahemik -40 - +1000 (klass 1 maksimaalse hälbega 0,40 %). K-tüüpi termopaar on oma mitmekülgse tõttu üks levinumaid. [4]

## Heater Temperature



Joonis 1.4 Elstein FSR/1 seeria temperatuuri graafikud [5]

250-vatise kütteelemendi graafik on madalaim. Teades ligikaudset küttemperatuuri (90-100 kraadi), on näha, et see saavutatakse ühe minutiga. Jahutusgraafik ei näita protsessi täielikult lõpuni, kuid selle olemuse põhjal võib eeldada, et see võtab aega ligikaudu 10-15 minutit.

## **2. MERE0 MG1500 PH EELSOOJENDUSAHJU PEAMINE PUUDUS**

### **2.1 Sundjahutuse vajadus**

Iga tootmisprotsess oma ideaalsel kujul on stabiilne ja pidev. Mis tähendab seadmete potentsiaalset valmisolekut 24/7 tööks. Eelsoojendatud ahi pole erand. Kuid see on teooria, pigem utopia. Iga seade, isegi korraliku töö ja õigeaegse hoolduse korral, läheb ikkagi rikki.

Ja enamasti tekivad need rikked tööprotsessi käigus. Hoolduspersonali põhiülesanne on nende kiire likvideerimine.

See tähendab viivitamatut väljalülitamist, mõnikord isegi hädaseiskamisenupu abil, ja süsteemi algoritmi või isegi selle struktuuri häirimist. Viimane punkt nõuab kiiret parandamist (komponentide seadistamist või vahetust).

Täielikult metallist (enamasti terasest) valmistatud konveier, selle juhikud ja kett paiknevad kuumutuskambri sees kogu tööprotsessi vältel 90–100 kraadi juures ja lähevad loomulikult ka väga kuumaks.

Sisemiste ohutuseeskirjade tõttu võib remonditöid teha ainult väljalülitatud ja jahtunud seadmega

MERE0 MG1500 PH eelsoojendusahi pole jällegi erand.

Jahutuse puudumine muudab remondiprotsessi ja koos sellega kogu tööprotsessi paindumatuks. Ootamiseks tuleb aega raisata – see on igas tootmises kõige vastuvõetamatum.

### **2.2 Lahendus – integreeritud sundjahutusmoodul**

Potentsiaalne lahendus on ilmselge – vajatakse sundjahutussüsteemi. Viimase rakendamiseks on mitu võimalust.

Pöörame tähelepanu sundjahutussüsteemi mooduli põhiomadustele.

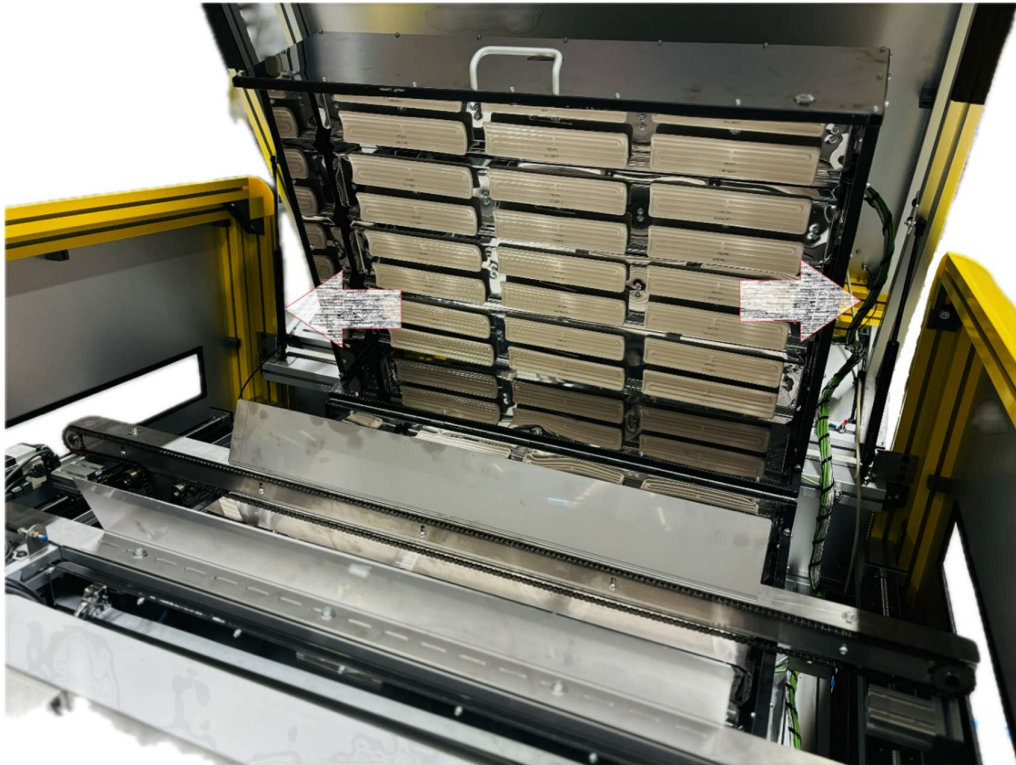
- Tööpõhimõte

Ahju töötemperatuur ei ole liiga kõrge (võrreldes põhijootmisega, kus see ulatub 300 kraadini) ja süsteemi töö ei ole konstantne (jahutus on vajalik ainult hädaseiskamise korral), seega saab kasutada tavalist õhuringi (ilma sekundaarse jahutuseta, näiteks veeringi abil). Peamised valikukriteeriumid on võimsus ja kuumakindlus.

- Paigaldamiskoht

Küttekambri ja külgeinte vahele jääb mõlemal pool (sisend- ja väljundsoonis) väike

ruum, laius ca 20 cm (Tähistatud nooltega joonisel 2.1). Samuti on paigaldusvõimalus (raami külge).



Joonis 2.1 MEREO MG1500 PH (avatud kambriga)

Arvestades kambri ehk jahutustsooni pikkust, oleks soovitatav paigaldada 2 vertikaalset moodulit, sisend- ja väljundtsooni. Moodulid tuleb paigaldada kaamera suhtes maksimaalse võimaliku nurga all.

- Toiteühendus

Kuna sundjahutusmoodulid on integreeritud, toimub nende ühendamise elektrivõrguga ahju toitesüsteemi kaudu. Selleks tuleb üksikasjalikult uurida kehtivat elektriskeemi ja teha selles asjakohaseid muudatusi.

- Töö algoritm

Sundjahutussüsteem peaks käivituma kohe pärast kütteelementide väljalülitamist ja kambri avamist. Need kaks tingimust peavad olema kohustuslikud. Süsteemi väljalülitamine peab toimuma automaatselt. Väljalülitusaeg määratakse katseliselt.

Kõike kokku võttes saame, et MEREO MG1500 PH eelsoojendusahju sundjahutussüsteem koosneb kahest automaatselt sünkroonselt töötavast moodulist, mis on paigaldatud sisend- ja väljundtsoonidesse.

### 3. JAHUTUSMOODULI PROTOTÜÜP

Jahutusmoodul koosneb mitmest paralleelselt ühendatud aksiaalsest ventilaatorist, mis on peidetud korpusesse, mis omakorda on kinnitatud ahju raami külge.

Konstruksioon ei tohiks olla väga raske, seetõttu valmistatakse see Bosch Rexroth 40\*40L 0N alumiiniumprofiilidest ja lehtedest, mille paksus ei ületa 2 mm.

Ventilaatorid peavad olema kuumakindlad, kerged ja suhteliselt võimsad. Ühe mooduli ventilaatorite arv määratakse nende tehniliste andmete alusel.

Jahutusseadmeks valiti Mechatronics Fan Groupi ventilaatori mudel UF12AM23-BTHR-F

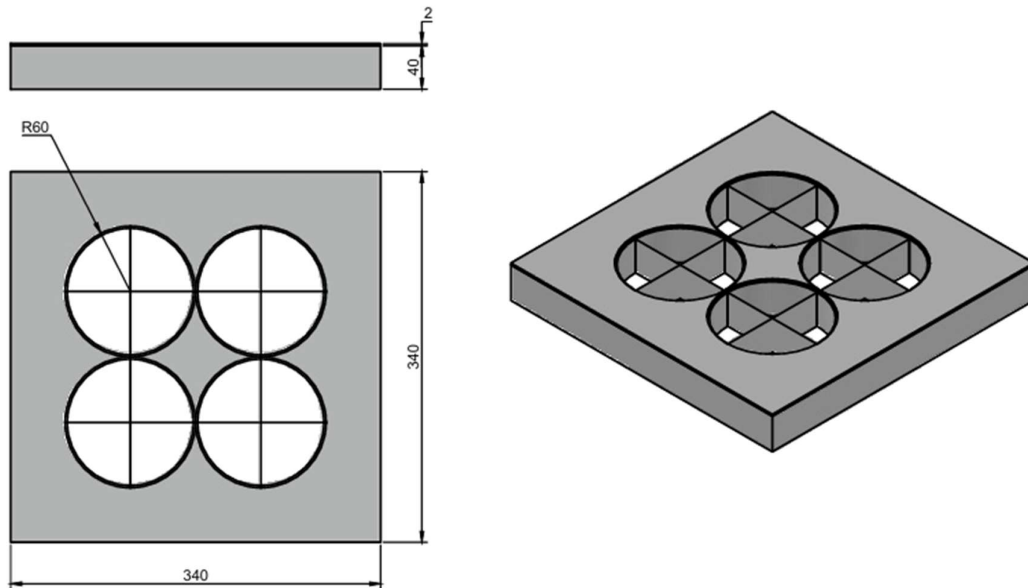
See mudel on kuumakindel, märgitud töötemperatuur on kuni 90 kraadini, selle korpus ja tiivik on valmistatud alumiiniumist, üsna kerge (550 g) ja oma suuruse kohta suhteliselt võimas. Allpool (Tabel 3.1) on toodud ventilaatori detailsed tehnilised omadused.

Tabel 3.1 Aksiaalse ventilaatori UF12AM23-BTHR-F tehnilised omadused [6]

Mõõtmed, P x K x S	120 x 120 x 38 mm
Kaal	550 g
Nimipinge	230 VAC
Sagedus	50 HZ
Nimivool	0,10 A
Käivitusvool	0,13 A
Pöörlemiskiirus	2700 RPM
Maksimaalne õhuvool	2,5 m <sup>3</sup> /min
Müratase	42 dB

Sellel ventilaatoril on ka labade tagurpidi pöörlemisega analoog ("välja puhumiseks"), kuid kuna jahutus toimub siis, kui ahi on avatud, vabas ruumis, pole seda funktsiooni vaja.

Võttes arvesse ahjus kasutatavaid temperatuuritingimusi, toodete keskmist laiust, küttekambri kaane tõstmise trajektoori, mooduli potentsiaalset paigalduskohta ja selle paigaldusnurka, kogu konstruktsiooni ligikaudset kaalu ja sarnase süsteemi analoogidega tutvumist teistes seadmetes (ASUS Groupi puhveri sisendsektiooni jahutustsoonis) otsustati iga mooduli jaoks kasutada 4 ventilaatorit.



Joonis 3.1 Sundjahutusmooduli prototüübi skemaatiline joonis

Jahutusmooduli kasti aluseks on raam, mis on valmistatud Bosch Rexroth 40\*40L ON profiilist. Ülaosale on kinnitatud alumiiniumplekk, mis on keskel 4 kohast perforeeritud (avad ventilaatorite jaoks). Elektriline osa (juhtmed) on seestpoolt korralikult profiilis spetsiaalsetes kanalites laotud (joonisel seda näha ei ole). Korpus ise jääb ühelt poolt avatuks, et mitte lisada konstruktsioonile raskust ja rikke korral pääseda ligi ventilaatoritele.

Teades, et küttekambri ja ahju korpuse vaheline kaugus on 200 mm (umbes 150 mm "vaba ruumi" ilma paigaldust arvestamata) ja mooduli kõrgus on 340 mm, saab kaldenurga ligikaudselt arvutada. See on konveieri suhtes ligikaudu 60 kraadi.

Ja teades, et ventilaatori mootori käivitusvool on 0,13 A, võib leida mõlemale moodulile omistatava summaarse tippvoolu. Kuna need on kõik paralleelselt ühendatud, piisab nende summeerimist. Kõigi moodulite maksimaalne vool kokku on 1,04 A. Seda väärtust läheb vaja jahutussüsteemi ühendamiseks toiteallikaga (ahjuga).





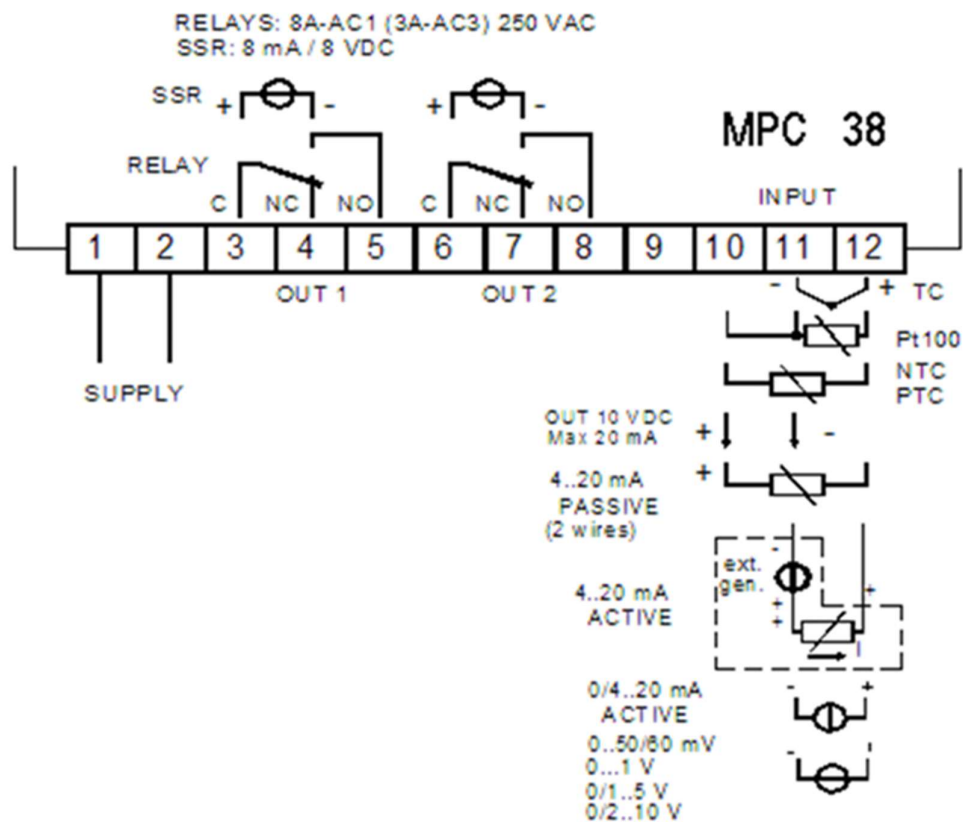
Edasi lähevad kõik koormused, välja arvatud üks, kuid sellest veidi hiljem, 3-pooluselisele minikontaktorile ABB B6-30-10-01, millel on kolm peamist ja üks isoleeritud abikontakt. Kõik paarid on „NO“ ("Tavaline avatud"), see tähendab, et kõik need käivitatakse sulgemiseks. Kontaktori juhtahela nimipinge on 24 VDC. Signaal juhtimismähisele tuleb seadme esiosas asuvalt kontrolleriilt. Starditingimus on suletud ohutusahel.

Nüüd pöörduakse tagasi üheksanda haru juurde, see läheb kõikidele protsessikontrolleritele. Diagramm näitab seda otseselt, tegelikult toimub ühendus terminali (jaotusploki) kaudu, kuid see ei muuda olemust.

Protsessikontrollereid on 8, igaüks juhib oma 6-st kütteelemendist koosnevat rühma.

Ülaltoodud joonisel on protsessikontroller ITM MPC-38N koos ekraani ja juhtpaneeliga, millega saab seadistusi käsitsi määrata või korrigeerida.

Et paremini mõista, kuidas see toimib, vaadatakse selle ühendusskeemi ja vastavalt ka selle tööpõhimõtet.



Joonis 4.2 ITM MPC 38N ühenduse skeem [7]

Kontaktid 1-2 – toiteallikaga ühendus (230 VAC).

Kontaktid 11-12 – sisendkontaktid (andmete vastuvõtmiseks), skeemil ühendatakse termopaariga (TC1 - TC8).

Kontaktid 3–5 ja 4-8 – väljundkontaktid (2 gruppi), kasutatakse ainult üks grupp pooljuhtrelee käivitamiseks.

Töövoo loogika on järgmine. Kontrolleri saab termopaarilt informatsiooni tegeliku temperatuuri kohta, võrreldes seda vajalikuga (programmiga määratud), avaneb, läbides liidese relee, pooljuhtrelee, mis tänu sisseehitatud termistorile, hakkab aktiivselt (vajadusel) kütteelemendile voolu andma. Samal ajal jätkab kontrolleri tsoonide pinna temperatuuri kontrollimist tavapärase ajaühiku järel. Kui see saavutab seadepunkti, stabiliseerub voolutoide temperatuuri säilitamise olekusse.

## 4.2 Koormuse ümberarvutamine

Enne sundjahutussüsteemi integreerimist tuleb ohutuse ja mugavuse huvides vooluahelat veidi muuta. Enne seda tuleb teha kontrollarvutused. Idee on järgmine: jaotada aktiivset koormust (soojendid) ümber kaheks faasiks, jättes kolmandasse faasi juhtimise (8 protsessikontrollerit), jahutuse (2 moodulit) ja mootorite (automaatse laiuse reguleerimise AC mootor ja 2 mööda konveierit liikumise DC mootorit) ahelad.

Tippkoormusel toodab kütteseade kõige rohkem soojust. Küttekeha nimivoolu  $I_n$  saab arvutada valemi 4.1 abil

$$I_n = \frac{P_n}{U_n}, \text{ kus} \quad (4.1)$$

$P_n$  ja  $U_n$  on nimivõimsus ja nimivool vastavalt. Need väärtused saab võtta tehniliste omaduste tabelist.

$$I_n = \frac{250}{230} = 1,09 \text{ A}$$

Kuid kütteseadmel on omamoodi inert, see ei hakka kohe soojenema ja seetõttu on selle käivitamisel vool alati suurem kui nimivool. Ja mida suurem on erinevus tegelike ja nõutavate temperatuuri väärtuste vahel, seda suurem on käivitusvool. Kuid erinevalt induktiivkoormustest (mootoritest) pole käivitusvool siiski väga suur. Piisavaks peetakse 10-15% nimiväärtusest reserv.

Nüüd on võimalik arvutada kahe faasi tippvoolu  $I_f$ , kuna need on samad (vt valem 4.2).

$$I_f = 1,15 \cdot n \cdot k \cdot I_n, \text{ kus} \quad (4.2)$$

$k$  – kütteelementide arv ühes grupis;

$n$  – kütteelementide gruppide arv ühel harul ehk faasil.

$$I_f = 1,15 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 1,09 = 30,08 \text{ A.}$$

Kuid siin peame meeles pidama, et see on arvutatud vool, võttes arvesse kütteseadmete täiskoormust. Eelsoojendusahju temperatuurid (profiilides) on piiratud 100 kraadiga, nii et tegelikult on see vool tunduvalt väiksem. Arvestades voolu peaaegu lineaarset sõltuvust küttemperatuurist, võime eeldada, et tegelikkuses on see 7 korda väiksem, umbes 4,5 A.

Kolmanda faasi koormus erineb kahest eelnevast, seetõttu koguvool tuleb ka erinev.

Automaatse laiuse reguleerimise AC servomootori OMRON R88M-1M40030T-BS2 käivitusvoolu väärtust saab leida selle tehnilist dokumentatsioonist ning selle väärtuseks on 9,1 A. [8]

Kuigi mootor on kolmefaasiline, on see ühe faasiga ühendatud servokontrolleri OMRON R88D-1SN04H-ECT) ja liinifiltri (R88AFI1S105SE) kaudu.

AC/DC konverter OMRON S8VK-G12024 varustab kogu alalispingeahelat, sh kaks mööda konveieri transportimiseks DCK31 seeria Nideq 404.864 DC mootorit. Kuigi käivitusvool 32 A on võimalik, piiravad muunduri toitevoolu 6 A sisendkaitsmed.

Kuna protsessikontrollerid on eranditult juhtelemendid (termopaaride temperatuuriandmete töötlemine, pooljuhtreleede avamine) ja nende energiatarve on väga madal (4 VA), siis saab neid koormuste arvutamisel ignoreerida.

Selle haruga ühendame kaks sundjahutusmoodulit.

Mõlema mooduli käivitusvoolu  $I_{Mk}$  saab arvutada valemi 4.3 abil:

$$I_{Mk} = 2 \cdot n \cdot I_k, \text{ kus} \quad (4.3)$$

$n$  – paralleelselt ühendatud ventilaatorite arv ühes moodulis;

$I_k$  – ühe ventilaatori käivitusvool (andmed saab võtta Tabelist 3.1).

Sundjahutussüsteemi summaarne käivitusvool on 1,12 A (0,56 mooduli kohta).

Üks peamisi seadme ühendamise nõudeid koos kolmefaasilise võrguga on faasikaitse 32 A. (Joonis 4.3). Uus faasikoormuste taas ühendamine vastab nendele tingimustele.



Joonis 4.3 MEREO MG1500 PH nimekilp

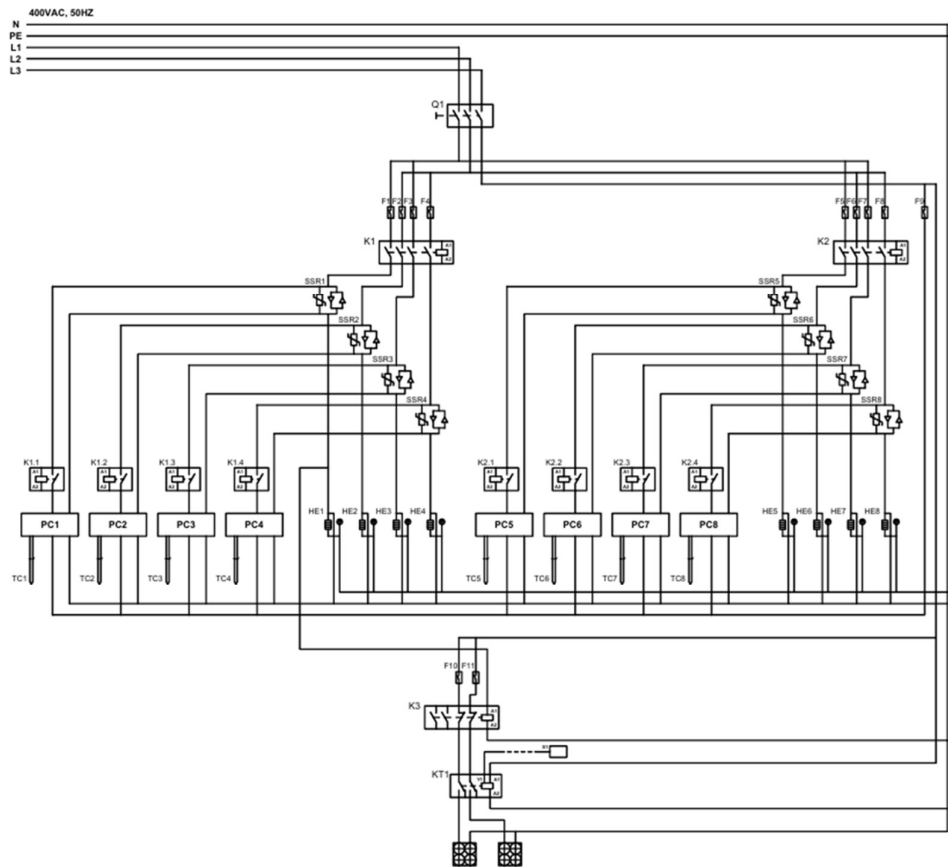
### **4.3 MEREO MG1500 PH eelsoojendusahju muudetud elektriskeem.**

Peamine erinevus on kütteelementide ümberjaotamine 2 faasi ja ühendus vaba kolmanda sundjahutussüsteemiga (vt joonis 4.4).

Suurema osa ahela tööpõhimõtet on juba eespool kirjeldatud, seega tasub selgitada ainult seda osa, mida eelmises skeemis ei olnud.

Iga haru algusesse (iga mooduli jaoks) paigaldatakse 1 A kaitse (F10 ja F11). Jälle kasutakse Hager-i toode, vaid sel juhul 1 amprise MCN 101 kaitsja lühise katkestusvõimega kuni 6 kA.

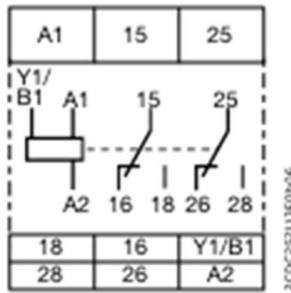
Edasi paigaldame 4-pooluselise minikontaktorit ABB B6-22-00-80, millel kaks paarid on „NO“ („Tavaline avatud“) ja kaks – „NC“ („Tavaline suletud“). Ühendame koormusliinid „NC“ kontaktidega, juhtivasignaalsiks, sel juhul see on 230 VAC, kasutame esimese küttesooni toite, või täpsemalt selle puudumine. Loogika on selline, kui kütteprotsess toimub, sundjahutussüsteem on välja lülitatud. Lähtetingimuseks on esimese küttekehade rühma toitevarustamise katkestamine (see rühm on alati aktiivne, iga profiili puhul).



Joonis 4.4 MERO MG1500 PH "kütteelementide osa" muudetud elektriskeem [9]

Moodulite otse ühendamiseks ja automaatseks aktiveerimiseks paneme ahelasse multifunktsionaalse elektroonilise ajarelee ABB CT-MFC.21 (Joonis 4.5). Siin kasutame ümberlülitamiseks juba "NO" kontakte. Relee on tõeliselt multifunktsionaalne ning selle ühendamisel ja juhtimisel on suur varieeruvus, töörežiimidest rääkimata.

### CT-MFC.21



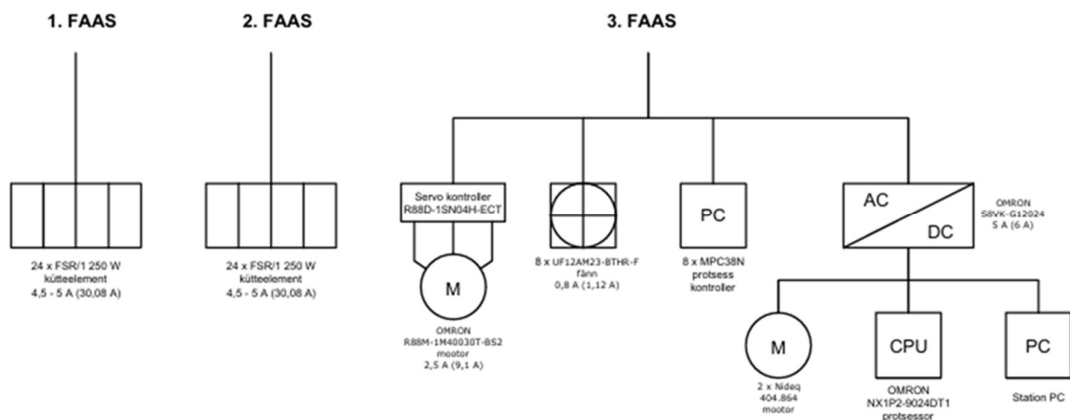
A1-A2	Supply: 12-240 V AC/DC
A1-Y1/B1	Control input
15-16/18	1st c/o contact
25-26/28	2nd c/o contact

Joonis 4.5 ABB CT-MFC.21 ajarelee ühendusskeem [10]

Relee juhtimiseks kasutame küttekambri kaane avamise induksioonianduri 12 VDC signaali. Starditingimus on küttekambri kaane ülemises positsioonis. Loogika on selline. Sundjahutussüsteem käivitub alles siis, kui soojendamine on välja lülitatud ja kamber avatud. Esimene tingimus oli täidetud eelmises kommutatsioonis, teine tingimus on täidetud selles. Niipea, kui ülemise asendi andur hakkab kambri katet „nägema“, aktiveeritakse relee, käivitades seeläbi jahutusmoodulid.

Nende tööaeg tuleb määrata katseliselt.

Allpool (Joonis 4.6) on muudetud diagramm koormuse jaotusest faaside vahel nimi- ja käivitusvoolu väärtustega.



Joonis 4.6 MEREO MG1500 PH faasi koormused

## KOKKUVÕTE

Töö põhiideeks oli MERE0 MG1500 PH eelsoojendusahju sundjahutussüsteemi väljatöötamine ja selle integreerimine tööprotsessi. Selleks oli vaja uurida seadme ehitust, tööpõhimõtteid ning tutvuda põhjalikult selle kohta saadaoleva dokumentatsiooniga, eelkõige elektriskeemidega.

Lähtepunktiks võib võtta osaliselt katseliselt saadud ja mõningate arvutusega kinnitatud variandi. Nendeks said kaks sünkroonselt töötavat moodulit, millest igaüks koosneb neljast paralleelselt ühendatud kuumakindlast ventilaatorist, mis on paigaldatud seadme sisend- ja väljundsoonidesse küttekambri suhtes 60-kraadise nurga all.

Nagu praktika näitab, pole sellistel täiustustel piire. Aja jooksul muutub mooduli struktuur ja välimus, samuti selle võimsus tõenäoliselt vastavalt ahju võimalustele ja protsessi vajadustele. Aga alati tuleb kuskilt alustada.

Koormuste ümberjaotamine, arvestades kütteelementide tegelikku kasutust (15% maksimaalsest võimalikust), on tingitud pigem mugavamast projekteerimisloogikast ja alles seejärel masina turvalisest kasutamisest. Nüüd on kahel faasil rangelt takistuslik koormus ja need vastutavad ainuisikuliselt soojendamise eest. Kolmas faas jäetakse kõigele muule, peamiselt induktiivkoormustele (mootorid, ventilaatorid) ja sellega on ka ühendatud kogu alalisvooluahel (koos arvuti, kontrolleri ja anduritega).

MERE0 MG1500 PH eelsoojendusahi on valmistatud eritellimusel ja seetõttu sisuliselt on eksperimentaalne seade, mis tähendab, et selle disain võib muutuda. Näiteks üks muudatus, konveieri keti kanduri tihvti pikendamine, on juba peaaegu ellu viidud. Aga kuna see muudatus on puhtalt mehaaniline ja ei mõjuta kuidagi võimsuskoormuste jaotust, siis ma seda oma töös ei arvestanud.

Tehtud töö muutus minu jaoks tegelikult väikeseks projektiks. See võimaldas mul meelde tuletada ja praktikasse rakendada veidi unustatud teadmisi elektrotehnika, automaatika, mehaanika ja üldse füüsika vallas. Samuti ka tutvuda ka mõne elektriseadmega, näiteks servokontrolleri ja ajareleega. Kasuks tuli ka töökogemus, teadmine, kuidas sarnaseid lahendusi muudes, sarnastes masinates rakendati. Kogu töö graafiline osa tehti AutoCADis.

Kokkuvõtteks võib öelda, et tehtud töö ei olnud asjata. Prototüübi versioon vaadati üle ja edastati kinnitamiseks.



## **SUMMARY**

Development and application of a cooling system for the MERE0 MG1500 PH preheat oven in the work process is written by Dmitri Šipulin.

The main idea of the work was the development of the forced cooling system of the MERE0 MG1500 PH preheating oven and its integration into the work process. To do this, it was necessary to study the construction of the device, its working principles, and thoroughly familiarize yourself with the available documentation, especially the electrical diagrams.

The starting point can be a variant obtained partially experimentally and confirmed by some calculations. They became two synchronously working modules, each of which consists of four heat-resistant fans connected in parallel, which are installed in the input and output zones of the device at an angle of 60 degrees to the heating chamber.

As practice shows, there are no limits to such improvements. Over time, the structure and appearance of the module, as well as its output power, will be probably changed according to the capabilities of the oven and the needs of the process. But you always have to start somewhere.

The redistribution of phase loads, taking into account the actual use of heating elements (15% of the maximum possible), is due to a more convenient design logic and only then to the safe use of the machine. Now the two phases have a strictly resistive load and are solely responsible for heating. The third phase is left for everything else, mainly inductive loads (motors, fans) and the entire DC circuit is also connected to it (with computer, controller and sensors).

The MERE0 MG1500 PH preheat oven is custom made and therefore essentially an experimental unit, meaning its design is subject to change. For example, one change, the lengthening of the conveyor chain carrier pin, has already been almost implemented. But since this change is purely mechanical and does not affect the distribution of power loads in any way, I did not consider it in my work.

The work done actually turned into a small project for me. It allowed me to recall and put into practice some forgotten knowledge in the field of electrical engineering, automation, mechanics and physics in general. Also familiarize yourself with some electrical devices, such as a servo controller and time relay. Work experience, knowledge of how similar solutions were implemented in other, similar machines also came in handy. All the graphic part of the work was done in AutoCAD.

In conclusion, it can be said that the work done was not in vain. The prototype version was reviewed and submitted for approval.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Admin. The History of Printed Circuit Board PCB 1880 – Present. [Online] [The History of Printed Circuit Board PCB \(1880 - Present\) \(how2electronics.com\)](https://www.how2electronics.com/history-of-printed-circuit-board-pcb-1880-present/) (03.08.2023).
2. Mereo Group OÜ [Online] [Mereo Group | More than 30 years in automation industry \(mereo-group.com\)](https://www.mereo-group.com/) (03.08.2023).
3. Heatline e-pood [Online] <https://www.heatline.ee/toode/keraamiline-infrapuna-kiirgur> (29.05.2024).
4. Elstein [Online] [FSR | Elstein Infrarotstrahler](https://www.fsr-elstein.com/) (03.08.2023).
5. SAB cable [Online] [Thermocouple type K \(NiCr-Ni\) - types, applications, temperature range \(sab-cable.com\)](https://www.sab-cable.com/) (03.08.2023).
6. Mechatronics Fan Group [Online] [UF12AM Series AC Axial Fan - Mechatronics, Inc.](https://www.uf12am.com/) (03.08.2023).
7. ITM [Online] [MPC38-N – ITM – Italmec Elettronica \(italmec-elettronica.it\)](https://www.italmec-elettronica.it/) (03.08.2023).
8. OMRON [Online] [i189e r88m-1 1s-seriesservo motor datasheet en.pdf \(omron.eu\)](https://www.omron.eu) (03.08.2023).
9. Mereo Group OÜ „Oven Electrical Diagram“ (2023).
10. „Catalog 2022 Electronic Relays and Controls - Chapter Time relays“ [Online] [Catalog 2022 Electronic Relays and Controls - Chapter Time relays \(abb.com\)](https://www.abb.com/catalogs/2022/electronic-relays-and-controls-chapter-time-relays) Revision I (25.11.2021).