



Anna-Triin Ježova

INDUKTSIOONKARASTUSMASINA LISASÜSTEEMIDE PROJEKTEERIMINE

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut
Juhendaja: Madis Moor

Tallinn 2026

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Anna-Triin Ježova

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Induktsioonkarastusmasina lisasüsteemide projekteerimine

- 1) reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;
- 2) reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

Autorideklaratsioon

Mina, Anna-Triin Ježova

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt. Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendaja Madis Moor

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

(allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

(kuupäevad digiallkirjades)

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. TEOREETILINE TAUST	6
1.1. Induktsioonkarastuse põhimõte	6
1.1.1. Induktor ja mähise geomeetria	6
1.1.2. Magnetvälja sagedus ja mõju karastussügavusele	7
1.1.3. Jahutusfaas	7
1.2. Turuanalüüs	8
1.2.1. Tüüpilised konstruktsioonilised lahendused ja tehnilised näitajad	9
1.2.2. Pöördlaua süsteemid	9
1.2.3. Jahutussüsteemid	10
1.2.4. Juhtimissüsteemid ja modulaarsus	10
1.3. Ettevõttest — Peretec OÜ	10
1.4. Projekti planeerimine	12
1.4.1. Riskianalüüs	13
2. MASINA PROJEKTEERIMINE	15
2.1. Induktsioonkarastusmasin	15
2.2. Süsteemi elemendid	16
2.2.1. Töödeldava detaili paigutus süsteemis	16
2.2.2. Pöördliikumine	18
2.2.3. Vertikaalliikumine	20
2.2.4. Jahutussüsteem	22
2.2.5. Elektroonilised komponendid	23
2.2.6. Raam	24
2.2.7. Koostamine	26
3. MAJANDUSLIK ANALÜÜS	28
3.1. Tööjõukulu ja palgafond	28
3.2. Materjalikulud	29
3.3. Prototüübi omahind ja tasuvusanalüüs	30
KOKKUVÕTE	32
SUMMARY	33
KASUTATUD KIRJANDUS	34
LISAD	35
Lisa 1. Turuanalüüs	35
Lisa 2. Ostukulude tabel	38
Lisa 3. Koostujoonis	43
Lisa 4. Keevisjoonis	44

Lisa 5. Detaili joonis	45
Lisa 6. Detaili joonis 2.....	46
Lisa 7. Detaili joonis 3.....	47

SISSEJUHATUS

Induktsioonkarastus on laialdaselt kasutatav metallide pinnatöötlusmeetod, mille abil parandatakse detailide kulumiskindlust ja väsimustugevust, säilitades samal ajal materjali südamiküsitlus. Meetodi eeliseks on lokaalne ja kiiresti juhitav kuumutamine, mis võimaldab saavutada kontrollitud karastuskihi sügavuse ning vähendada detaili deformatsioone võrreldes mahuliste kuumtöötlusprotsessidega. Seetõttu kasutatakse induktsioonkarastust laialdaselt masinaehituses võllide, telgede ja teiste suure mehaanilise koormusega detailide töötlemisel.

Käesolev lõputöö on koostatud koostöös ettevõttega Peretec OÜ, kus tekkis praktiline vajadus laiendada olemasoleva induktsioonkarastusmasina funktsionaalsust. Ettevõttes on kasutusel induktor ja karastusgeneraator, kuid puudusid lisasüsteemid, mis võimaldaksid detaili kontrollitud pöörlemist, vertikaalset liikumist ja juhitavat jahutust. Seni on induktsioonkarastusteenust osaliselt tellitud sisse väljastpoolt, mis on piiranud tootmise paindlikkust ja pikendanud tarneaegu. Seetõttu on ettevõtte seisukohast oluline arendada lahendus, mis võimaldaks karastusprotsessi teostada ettevõttesiseselt ja vastavalt konkreetsetele tootmisvajadustele.

Induktsioonkarastusprotsessi kvaliteet sõltub otseselt detaili ja induktori omavahelisest asendist, liikumiskiirusest ning jahutuse intensiivsusest. Detaili ühtlase kuumenemise saavutamiseks kasutatakse pöördliikumist, skaneeriva karastuse korral aga kontrollitud vertikaalset liikumist. Jahutuse parameetrid mõjutavad otseselt karastuskihi struktuuri ja kõvadust, mistõttu peavad mehaanilised ja abisüsteemid moodustama tervikliku ja jäiga funktsionaalse lahenduse. [1]

Käesoleva lõputöö eesmärk on projekteerida induktsioonkarastusmasina lisasüsteemid, mis võimaldavad olemasolevat seadet kasutada tööstuslikult efektiivsel ja korrataval viisil. Töö keskendub detaili pöörlemist tagava pöördliikumise süsteemi, vertikaalse liikumise mehhanismi, jahutussüsteemi ning kandekonstruktsiooni projekteerimisele. Konstruktsioonilised ja komponentide valikud põhjendatakse mehaaniliste arvutustega, lähtudes üldtunnustatud masinaehituslikest põhimõtetest.

Lõputöö koosneb teoreetilise tausta käsitlemisest, turuanalüüsist ja lähteülesande määratlemisest, masina mehhaaniliste alamsüsteemide projekteerimisest ning majandusanalüüsist. Töö tulemusena valmib tehniliselt põhjendatud ja praktiliselt teostatav lahendus, mis toetab Peretec OÜ tootmisvõimekuse kasvu ning vähendab sõltuvust välistest karastusteenustest.

1. TEOREETILINE TAUST

Käesolev peatükk loob teoreetilise aluse induktsioonkarastusmasina lisaüsteemide projekteerimiseks. Peatükis käsitletakse induktsioonkarastuse füüsikalist tööpõhimõtet, protsessi mõjutavaid põhiparameetreid ning materjalide käitumist kuumutamise ja jahutamise käigus. Teoreetilise käsitluse eesmärk on selgitada, millistest füüsikalistest ja metallurgilistest seaduspärasustest tulenevad mehhaaniliste ja funktsionaalsete lahenduste valikud käesolevas töös. Peatükis esitatud teadmised moodustavad aluse edasistele konstruktsioonilistele otsustele, sealhulgas detaili liikumiskiiruse, pöörlemise ja jahutuse intensiivsuse määramisele.

1.1. Induktsioonkarastuse põhimõte

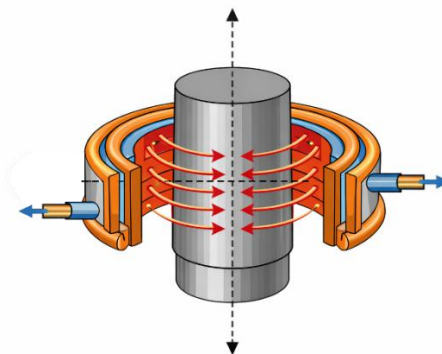
Induktsioonkarastuse tööpõhimõte põhineb elektromagnetilisel induktsioonil, mille käigus vahelduvvooluga toidetud induktor tekitab ajas muutuva magnetvälja. See magnetväli indutseerib töödeldava detaili pinnakihtides pöörivoolud, mille energiakaod muunduvad soojuseks. Kuumutamine toimub lokaalselt detaili pinnal, samal ajal kui südamik jääb oluliselt jahedamaks. Selline soojusjaotus võimaldab saavutada kõva pinnakihi ja sitke südamiku kombinatsiooni, mis on induktsioonkarastuse peamine eesmärk. Karastatavad terased on enamasti süsiniku- või legeerterased vahemikus 0,35–0,70% C. [2]

1.1.1. Induktor ja mähise geomeetria

Induktor on induktsioonkarastusprotsessi keskne element, kuna selle geomeetria ja paigutus määravad magnetvälja jaotuse ning seeläbi kuumenemise ühtluse. Tavapärastelt on induktor valmistatud veejahutusega vasktorust, mille kuju on kohandatud töödeldava detaili geomeetriale. Induktori siseläbimõõt, mähise samm, keerdude arv ja kaugus detaili pinnast mõjutavad otseselt kuumutusvõimsuse jaotust ning karastatava ala laiust. Väiksem vahekaugus detaili ja induktori vahel suurendab magnetvälja intensiivsust, kuid seab kõrgemad nõuded joondustäpsusele ja jahutusele. [3]

Induktori konstruktsioon peab tagama piisava jahutuse, kuna kuigi kuumutamine toimub detailis, soojeneb ka induktori vasktoru. Tööstuslikes rakendustes hoitakse induktori töötemperatuur tavaliselt alla 100–150 °C, et vältida materjali väsimist ja lekete teket. Seetõttu on induktori jahutuslahendused ja nende töökindlus oluline osa kogu süsteemi projekteerimisel.

Projekteeritava masina induktor on 100mm sisemõõduga ning kolme niidiga. Disaini koostamisel tuleb jälgida, et induktori spiraali keskjoon oleks koaksiaalne töödeldava detaili keskjoonega ja et induktor ei satuks mehaanilise kontaktini pöörleva detailiga.



Joonis 1. Induktori ja detaili geomeetiline seos

1.1.2. Magnetvälja sagedus ja mõju karastussügavusele

Induktsioonkuumutuse sügavus on määratud elektromagnetvälja levikuga töödeldava detaili pinnakihtides, mida iseloomustab nahksügavuse efekt. Elektromagnetvälja poolt indutseeritud pöörisvoolud koonduvad materjali pinnale ning nende leviku ulatus sõltub eeskätt magnetvälja sagedusest ning materjali elektrilistest ja magnetilistest omadustest. Üldiselt kehtib seos, et suurema sageduse korral on kuumutamine kontsentreeritud õhemasse pinnakihti, samas kui madalama sageduse kasutamisel tungib magnetväli sügavamale materjali, võimaldades saavutada suurema karastussügavuse. [3]

Induktsioonkarastuse praktikas kasutatakse magnetvälja sagedusi laias vahemikus, ligikaudu 1–400 kHz, sõltuvalt soovitud karastuskihi paksusest ja detaili geomeetriast. Pinnakarastuse puhul eelistatakse kõrgemaid sagedusi, mis võimaldavad intensiivset ja lokaliseeritud kuumutamist, samas kui sügavama karastuskihi saavutamiseks rakendatakse madalamaid sagedusi. Seetõttu on sageduse valik otseselt seotud nii töödeldava materjali omaduste kui ka karastatava tsooni mõõtmetega. [4]

Magnetvälja sagedus mõjutab lisaks kuumutussügavusele ka kogu karastusprotsessi kineetikat, sealhulgas kuumutusaega ja detaili liikumiskiirust induktori suhtes. Seetõttu tuleb induktsioonkarastusmasina mehhaaniliste liikumissüsteemide projekteerimisel arvestada kasutatava sagedusvahemikuga, et tagada ühtlane kuumenemine ning soovitud karastuskihi kvaliteet.

1.1.3. Jahutusfaas

Pärast induktsioonkuumutust järgneb karastusprotsessis kiire jahutus, mille eesmärk on muuta austeniitne struktuur martensiidiks. Jahutuse kiirus ja ühtlus mõjutavad otseselt karastuskihi kõvadust, mikrostruktuuri ja jääkpingete taset. Ebapiisava jahutuse korral võib tekkida bainiitne või perliitne struktuur, samas kui liiga intensiivne ja ebaühtlane jahutus võib põhjustada pragunemist või liigseid termilisi pingeid. [4]

Induktsioonkarastuses kasutatakse tavaliselt vee või veepõhiste emulsioonide pihustusjahutust, mis suunatakse detailile vahetult pärast induktoritsoonist väljumist. Jahutussüsteemi projekteerimisel tuleb arvestada jahutusvedeliku rõhku, vooluhulka ja düüside paigutust, et tagada sümmeetriline ja korratav jahutus. Jahutuse parameetrid on tihedalt seotud ka detaili liikumisega, kuna pöörd- ja vertikaallikumine mõjutavad otseselt jahutusaja pikkust ja soojuse eemaldamise intensiivsust. [1]

Selles töös kavandatav süsteem kasutab vett ja vajab vooluhulga püsivuse tagamist. Induktsioonkarastamise kiirus ja lokaliseeritus tagavad väikse termilise deformatsiooni. Pärast kiiret jahutust tekib martensiit, mille kõvadus jääb peamiselt vahemikku 37–58 HRC.

1.2. Turuanalüüs

Käesoleva peatüki eesmärk on anda ülevaade induktsioonkarastusseadmete ja -lahenduste hetkeseisust tööstuses ning analüüsida, millised tehnilised ja funktsionaalsed lahendused on levinud. Turuanalüüsi tulemuste põhjal tehakse järeldused, mis on aluseks käesolevas töös projekteeritavate lisasüsteemide valikule. Analüüs keskendub eeskätt mehhaanilistele lahendustele, detaili liikumise viisidele ning jahutussüsteemidele, kuna need mõjutavad otseselt karastusprotsessi kvaliteeti ja korratavust.

Tööstuslikud induktsioonkarastusseadmed jagunevad üldjoontes kahte põhirühmi: universaalsed karastussüsteemid ning konkreetsele detailitüübile optimeeritud eriseadmed. Universaalsed süsteemid võimaldavad töödelda erineva geomeetriaga detaile, kasutades vahetatavaid induktoreid ja reguleeritavaid liikumissüsteeme. Erilahendused on seevastu projekteeritud ühe või piiratud hulga detailide jaoks ning pakuvad kõrgemat tootlikkust ja automatiseerituse taset.

Rahvusvahelist induktsioonkarastusmasinate turgu iseloomustab kõrge tehniline küpsus ja kasvav automatiseerituse tase. Peamised tootjad, kelle seadmeid kasutatakse võrdlusalusena, on EFD Induction (ENRX), eldec GmbH, GH Induction ja Inductoheat (Inductotherm Group). Turuanalüüsi käigus võrreldi nende seadmete pöördlaua ja jahutussüsteemide tehnilisi parameetreid, et määrata arendatava süsteemi sihttasemel nõuded. [5] [6] [7] [8]

Turuanalüüsi käigus kogutud detailne võrdlev ülevaade induktsioonkarastussüsteemide tehnilistest parameetritest on esitatud töö lisades (Lisa 1).

Tabel 1. Turuanalüüsi koondtabel

Tootja	Masina tüüp	Detaili liikumine	Jahutussüsteem	Juhtimine
EFD Induction	CNC – keskus	Pöörd + skaneeriv	Suletud ring, PLC kontroll	CNC / PLC
Eldec Induction	CNC – keskus	Pöörd + skaneeriv	Integreeritud, kontrollitud	PLC / CNC
GH Induction	Poolautomaatne	Vertikaalne skaneerimine	Väline	PLC
Inductoheat	Modulaarne	Skaneeriv	Integreeritud	PLC / CNC

1.2.1. Tüüpilised konstruktsioonilised lahendused ja tehnilised näitajad

Turul pakutavad induktsioonkarastussüsteemid on üldjuhul ehitatud jäigale terasraamile, mis tagab induktori ja detaili omavahelise asendi püsivuse kogu töötsükli vältel. Mehhaaniliste liikumissüsteemide puhul kasutatakse sageli reduktormootoreid koos spindel- või rihmülekannetega, mis võimaldavad saavutada madalaid ja stabiilseid liikumiskiirusi. Pöördliikumise tüüpilised kiirused jäävad vahemikku 1–60 p/min, sõltuvalt detaili mõõtmetest ja kuumutusrežiimist.

Jahutussüsteemid põhinevad valdavalt pihustusjahutusel, kus vesi või veepõhine jahutusvedelik suunatakse detailile vahetult pärast induktoritsoonist väljumist. Düüside arv, paigutus ja vooluhulk määratakse vastavalt detaili geomeetrialet ning soovitud jahutuskiirusele. Tööstuslikes süsteemides kasutatakse peamiselt autonoomseid pumbasüsteeme sõltuvalt seadme võimsusest ja tööintensiivsusest.

Automatiseerituse tase varieerub poolmanuaalsetest seadmetest kuni täisautomaatsete tootmisliinideni. Väikese ja keskmise tootmismahuga ettevõtetes on levinud modulaarse ülesehitusega lahendused, kus mehhaanilised ja juhtsüsteemid on kohandatavad vastavalt konkreetsele tootmisvajadusele. Selline lähenemine võimaldab vähendada investeeringukuludid ning säilitada süsteemi paindlikkuse.

1.2.2. Pöördlaua süsteemid

Kõik analüüsitud tootjad kasutavad servoajamiga täppispositsioneerimist, mille liikumise täpsus jääb vahemikku $\pm 5\text{--}10 \mu\text{m}$. EFD Induction HardLine-seeria ja eldec MIND-seeria võimaldavad detailide töötlemist nii vertikaal- kui horisontaalteljel, toetades erineva geomeetriaga toorikuid. Maksimaalsed detailimõõtmed ulatuvad kuni 3000 mm pikkuseni ja 2000 kg massini (GH Induction TVG-seeria).

Pöörd-süsteemide liikumise juhtimine toimub CNC- või PLC-põhiselt. Maksimaalne lineaarne skaneerimiskiirus on kuni 200 mm/s (Inductoheat INDUCTOSCAN), mis on sobiv kõrgpinge- ja väiksekarastussügavusega töödeks. Kõik süsteemid on konstrueeritud modulaarsetena, võimaldades konfiguratsioonist vastavalt detaili kuju ja suurusele.

1.2.3. Jahutussüsteemid

Kõik võrdluses olevad seadmed kasutavad suletud veeringlusega süsteeme, kus jahutus toimub plaat- või torusoojusevahetite kaudu. Jahutusahelaid on tavaliselt kaks – eraldi karastusvedelikule ja generaatorile.

Jahutusvedeliku temperatuuri stabiilsus on kriitiline, kuna see mõjutab martensiidi moodustumise ühtlust. Tüüpilised väärtused: vooluhulga kontroll $\pm 2\%$, temperatuuri stabiilsus $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vooluhulka juhitakse PLC kaudu, kus parameetrid on programmeeritavad vastavalt detaili soojusmahule.

1.2.4. Juhtimissüsteemid ja modulaarsus

Kõik tootjad kasutavad Siemens (EU põhine) või Allen-Bradley (USA põhine) baasil juhtimissüsteeme, mille liidesed võimaldavad integreerimist teiste automaatikaseadmetega. Süsteemid on modulaarsed – pöördlaud, jahutus, mähisehoidik ja toiteplokk on iseseisvad moodulid, mis lihtsustab hooldust ja laiendamist.

Võrdlus näitas, et arendatava süsteemi eesmärk võiks olla sama sarnase täpsusklassiga, eraldi jahutusahelaga ja avatud arhitektuuriga juhtimissüsteem.

Tabelist järeldeb:

- jahutussüsteemi vooluhulk peab olema reguleeritav ja stabiilne,
- trapetskruvil töötav Z-telg sobiks kuluefektiivseks ehituseks (kõrget täpsust nõudvad CNC-lahendused on oluliselt kallimad).

1.3. Ettevõttest – Peretec OÜ

Peretec OÜ on 2009. aastal asutatud Eesti tootmisettevõtte, mille põhitegevus on spetsiaaltellimusel tööstusseadmete ja mehhaaniliste süsteemide projekteerimine ning valmistamine. Ettevõtte tegevus hõlmab masinaehituse täistsükli alates konstruktsioonilisest projekteerimisest kuni seadmete koostamise, seadistamise ja kasutuselevõtni. Selline terviklik lähenemine võimaldab ettevõttel pakkuda klientidele kohandatud lahendusi, mis vastavad konkreetsetele tehnilistele ja tootmislikele nõuetele. [9]



Joonis 2. Peretec logo [10]

Ettevõtte tootmisvõimekus hõlmab mehhaanilist töötlemist, keevitust, koostet ning automaatika- ja elektrisüsteemide integreerimist. Projekte viiakse läbi tihedas koostöös tootmisega, mis võimaldab konstruktsioonilisi lahendusi hinnata mitte ainult teoreetilisest, vaid ka praktilisest ja majanduslikust vaatenurgast. Selline töökorraldus eeldab, et projekteeritavad seadmed on töökindlad, hooldatavad ning sobituvad olemasolevasse tootmiskeskonda.

Induktsioonkarastuse vajadus Peretec OÜ tootmises on seotud ettevõtte valmistatavate detailide ja seadmete töötingimustega. Mitmed komponendid, eriti pöörlevad ja koormatud osad, nõuavad kõrget pinnakõvadust ja kulumiskindlust. Seni on induktsioonkarastusteenust osaliselt tellitud sisse alltöövõtjatelt, mis on pikendanud tootmisaegu ning piiranud tootmisprotsessi paindlikkust. Lisaks on selline lahendus raskendanud väikeseeriatootmist ja prototüüpide kiiret katsetamist.

Ettevõttes on olemas induktsioonkarastuse põhiseade koos induktori ja generaatoriga, kuid puudusid mehhaanilised ja funktsionaalsed lisasüsteemid, mis võimaldaksid karastusprotsessi täpset ja korratavat teostamist. Sellest tulenevalt tekkis praktiline vajadus arendada olemasolevale seadmele lisalahendus, mis võimaldaks detaili kontrollitud pöörlemist, vertikaalset liikumist ning efektiivset jahutust. Projekti elluviimine ettevõttesiseselt võimaldab Peretec OÜ-l suurendada oma tootmisautonoomiat, vähendada sõltuvust välistest teenusepakujatest ning laiendada pakutavate teenuste valikut.



Joonis 3. Peretec induktsioonkarastus masin

Ettevõtte täpsemad tootmisvajadused, millele uus induktsioonkarastusmasin peab vastama, sõltuvad karastatavate detailide mõõtmetest, geomeetriast ja kasutusotstarbest. Selle töö käigus kavandatav lahendus peab tagama, et võimalik oleks karastada detaile pikkusega 650 mm, diameetriga 70 mm ning massiga kuni 25 kg. Samuti on oluline süstemaatiline kvaliteedikontroll ning protsessi parameetrite korratavus, mis annab ettevõttele võimaluse pakkuda oma klientidele stabiilse kvaliteediga lõppkomponente.

Käesolev lõputöö on koostatud koostöös Peretec OÜ-ga ning põhineb ettevõtte tegelikel tootmisvajadustel ja olemasoleval seadmepargil. Projekteeritav lahendus on suunatud praktilisele kasutusele tootmiskeskonnas ning selle eesmärk ei ole üksnes teoreetilise kontseptsiooni loomine, vaid tööstuslikult rakendatava süsteemi väljatöötamine.

1.4. Projekti planeerimine

Käesoleva lõputöö lähtepunktiks on Peretec OÜ tootmiskeskonnas olemasolev induktsioonkarastusseade, mis sisaldab induktorit ja kõrgsagedusgeneraatorit, kuid millel puuduvad mehhaanilised lisasüsteemid detaili liikumise ja jahutuse tagamiseks. Projekteeritav lahendus peab sobituma olemasoleva seadme konstruktsiooniliste ja ruumiliste piirangutega ning võimaldama karastusprotsessi teostamist ilma põhiseadet ümber ehitamata.

Töödeldavad detailid on valdavalt silindrilise kujuga ning nende mõõtmed ja mass jäävad vahemikku, mis võimaldab kasutada mehhaanilisi pöörd- ja vertikaalliikumise lahendusi. Detailide maksimaalne mass hetkeseisul on olnud 25 kg ning maksimaalne läbimõõt 70 mm. Karastatavate alade pikkus ja asukoht detailil võivad varieeruda, mistõttu peab süsteem võimaldama paindlikku seadistamist nii liikumiskiiruste kui ka asendite osas. Valdav maksimaalne detaili pikkus on olnud 650 mm.

Karastusprotsessi kvaliteedi tagamiseks peab projekteeritav süsteem võimaldama detaili ühtlast pöörlemist ümber oma telje. Pöördliikumise kiirus peab olema reguleeritav ning sobima erinevate detailide ja kuumutusrežiimidega. Samuti peab süsteem võimaldama detaili kontrollitud vertikaalset liikumist induktori suhtes, et teostada skaneerivat karastust. Vertikaalliikumise kiirus ja liikumistee peavad olema täpselt juhitud ning korratavad.

Jahutussüsteemi lähteandmeteks on hoone veetrassist saadav jahutusvesi, mille töö rõhk on ligikaudu 6 bar. Jahutussüsteem peab võimaldama piisavat ja sümmeetrilist pihustusjahutust vahetult pärast induktoritsoonist väljumist, et tagada martensiitse mikrostruktuuri teke. Jahutuslahendus peab olema töökindel, lihtsa ehitusega ning sobiv kasutamiseks tootmiskeskonnas, kus hooldusvajadus peab olema minimaalne.

Kandekonstruktsioon peab tagama mehhaaniliste alamsüsteemide jäiga ja stabiilse paigutuse. Raam peab taluma nii staatilisi kui ka dünaamilisi koormusi, mis tulenevad detaili massist, pöördliikumisest ja vertikaalsest liikumisest. Konstruktsioon peab säilitama induktori ja detaili omavahelise asendi kogu töötssükli vältel ning välistama märgatavad läbipainded või vibratsioonid, mis võiksid mõjutada karastusprotsessi kvaliteeti.

Lisaks mehhaanilistele nõuetele tuleb arvestada süsteemi ohutust ja hooldatavust. Kõik liikuvad osad peavad olema paigutatud ja kaitstud viisil, mis vähendab operaatoreid kokkupuudet kuumade pindade ja liikuvate mehhanismidega. Konstruktsioon peab võimaldama induktori, jahutussüsteemi ja liikumismehhanismide ligipääsetavust hoolduse ja seadistamise eesmärgil.

Käesolevas töös keskendutakse eelkõige mehhaaniliste ja funktsionaalsete lisasüsteemide projekteerimisele. Elektri- ja automaatikasüsteemid käsitletakse ulatuses, mis on vajalik mehhaaniliste lahenduste toimimise mõistmiseks ja süsteemi terviklikkuse tagamiseks.

1.4.1. Riskianalüüs

Projekteeritava induktioonkarastusmasina lisasüsteemide puhul on peamised riskid seotud mehhaanilise jäikuse, liikumissüsteemide täpsuse ja jahutuse efektiivsusega. Ebapiisav konstruktsiooniline jäikus või ebatäpne liikumine võib põhjustada detaili ja induktori asendi muutumist, mis omakorda mõjutab kuumenemise ühtlust ja karastuskihi kvaliteeti. Antud riski

vähendatakse jäiga kandekonstruksiooni ning tööstuslikult levinud liikumislahenduste kasutamisega.

Teiseks oluliseks riskiks on jahutussüsteemi ebaühtlane või ebapiisav töö, mis võib viia soovimatu mikrostruktuuri tekkeni või suurendada pragunemisohtu. Riski maandamiseks kasutatakse sümmeetrilist pihustusjahutust ja reguleeritavat veevoolu, mis võimaldab jahutuse kohandamist vastavalt protsessi vajadustele.

Ajamite ülekoormuse ja kulumise riski vähendatakse sobiva momendi- ja võimsusvaruga komponentide valiku ning reguleeritavate tööparameetrite abil. Kokkuvõttes on riskid maandatud konservatiivsete projekteerimisvalikute ja modulaarse ülesehitusega, mis võimaldab süsteemi vajadusel kohandada ilma põhikonstruktsiooni muutmata.

2. MASINA PROJEKTEERIMINE

Käesolevas peatükis käsitletakse induktsioonkarastusmasina lisaüsteemide mehaanilist projekteerimist, mille eesmärk on täiendada ettevõttes juba kasutusel oleva karastusseadme funktsionaalsust. Peretec OÜ-l on olemas töötav induktsioonkarastusmasin koos induktsioonigeneraatori ja induktoriga, kuid puudub automaatne detaili liigutusmehhanism ning pöörlemisüsteem, mis tagaks karastuse ühtlase kvaliteedi ja protsessi korduvuse. Seetõttu keskendub see peatükk konstruktsiooniliste alamsüsteemide väljatöötamisele, mis integreeruvad olemasoleva masina külge ja võimaldavad viia karastusprotsessi uuele tööstuslikule tasemele.

Projekteeritavate alamsüsteemide eesmärk on luua mehaaniline ja elektromehaaniline keskkond, mis võimaldab detaili täpset positsioneerimist induktori suhtes, sujuvat liikumist läbi kuumutustsooni ning ühtlast pöörlemist karastamise ajal. Lisaks peab süsteem tagama jahutusvedeliku kontrollitud suunamise detailile, mis on kriitiline metallurgiliselt korrektse karastuskihi saavutamiseks. Kõik need funktsioonid tuleb siduda üheks jäigaks ja töökindlaks konstruktsiooniks, mis lisatakse olemasoleva karastusmasinale.

Peatükk annab ülevaate projekteerimise lähtekohtadest, kirjeldab detaili mõõtmeid ja nendest tulenevaid nõudeid alamsüsteemidele ning selgitab mehhaaniliste ja elektrooniliste süsteemide ülesehitust. Kuna olemasoleval masinal on kindlad füüsilised ja geomeetrilised piirangud, tuleb kõik lisamoodulid projekteerida nii, et need sobituksid olemasoleva induktori, generaatori ning masina töökõrgustega, säilitades samal ajal ergonoomika, töökindluse ja hooldatavuse.

2.1. Induktsioonkarastusmasin

Käesoleva lõputöö raames projekteeritavad mehhaanilised lisaüsteemid põhinevad Peretec OÜ tootmiskeskonnas juba olemasoleval induktsioonkarastusmasinal. Olemasolev seade sisaldab kõrgsagedusgeneraatorit ja induktorit, mis võimaldavad detaili lokaalse kuumutamise induktsioonmeetodil, kuid puuduvad süsteemid detaili kontrollitud liikumise ja jahutuse tagamiseks. Seetõttu käsitletakse induktorit käesolevas töös fikseeritud lähtelemendina, mille geomeetria ja asend määravad kogu lisaüsteemi projekteerimise loogika.

Induktor on valmistatud veejahutusega vasktorust ning selle geomeetria on sobitatud silindriliste detailide karastamiseks. Induktori sisemine läbimõõt on 100 mm, mis seab otsese piirangu töödeldavate detailide maksimaalsele läbimõõdule ning mõjutab ka detaili ja induktori vahelise vahekauguse valikut. Induktori keerdude arv on 3, mis on tüüpiline lahendus pindmise ja keskmise sügavusega karastuse saavutamiseks ning võimaldab ühtlast magnetvälja jaotust töödeldava ala ulatuses.

Induktori asukoht tootmispinnal on fikseeritud ning selle tööpiirkond paikneb ligikaudu 1100 mm kõrgusel põrandapinnast. See mõõt määrab projekteeritava mehhaanilise süsteemi vertikaalse geomeetria, sealhulgas detaili laua algasendi, liikumistee ning kandekonstruksiooni kõrguse. Kuna induktori asendit ei ole kavandatud muuta, tuleb kõik pöörd- ja vertikaalliikumise lahendused projekteerida nii, et detail liiguks täpselt induktori tööpiirkonda ning säilitaks seal korrektse joondatuse kogu karastusprotsessi vältel.

Induktori olemasolu mõjutab otseselt ka jahutussüsteemi paiknemist. Jahutus peab toimuma vahetult pärast kuumutust, mistõttu tuleb pihustuslahendus integreerida induktori lähedusse ilma, et see häiriks elektromagnetvälja või piiraks induktori hooldatavust. Samuti tuleb arvestada, et induktori jahutussüsteem ja detaili jahutus on eraldiseisvad, kuid ruumiliselt lähestikku paiknevad süsteemid.

2.2. Süsteemi elemendid

Käesolevas peatükis kirjeldatakse projekteeritava induktsioonkarastusmasina lisasüsteemide põhielemente ning nende omavahelist funktsionaalset seost. Peatüki eesmärk on anda terviklik ülevaade mehhaanilistest, jahutus- ja juhtimislahendustest, mis koos võimaldavad detaili korrektset paigutust, kontrollitud liikumist ning karastusprotsessi korratavat teostamist. Süsteemi elemendid on projekteeritud lähtudes olemasolevast induktorist ning eelnevalt määratletud lähteandmetest ja tehnilistest nõuetest.

Projekteerimise aluseks on põhimõte, et kõik alamsüsteemid peavad toimima koordineeritult ning säilitama detaili ja induktori vahelise geomeetrilise seose kogu töötsükli vältel. Seetõttu käsitletakse esmalt detaili paigutust süsteemis, mis määrab liikumistelgede asukoha ja ulatuse. Seejärel kirjeldatakse pöörd- ja vertikaalliikumise lahendusi, jahutussüsteemi ülesehitust, elektrooniliste komponentide rolli ning kandekonstruksiooni ehk raami, mis seob kõik alamsüsteemid üheks tervikuks.

2.2.1. Töödeldava detaili paigutus süsteemis

Töödeldava detaili paigutus süsteemis on projekteerimise keskne lähtekoht, kuna sellest sõltuvad nii liikumissüsteemide geomeetria kui ka karastusprotsessi kvaliteet. Detail peab paiknema induktori suhtes koaksiaalselt, et magnetvälja jaotumine oleks sümmeetriline ning kuumenemine ühtlane kogu übermõõdu ulatuses. Detaili telje kõrvalekalle induktori teljest võib põhjustada lokaalset üle- või alakuumenemist, mis mõjutab karastuskihi paksust ja kõvadust.

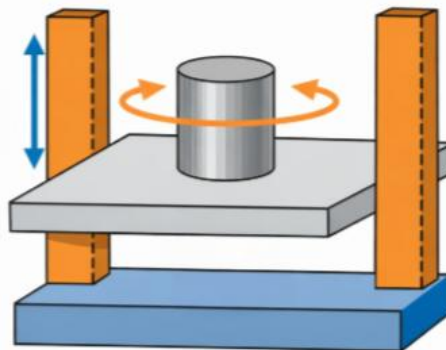
Detail kinnitatakse pöördlauale, mis tagab selle pöörlemise ümber vertikaaltelje. Pöördlaua asend määratakse selliselt, et detaili karastatav ala asub induktori tööpiirkonnas. Arvestades

induktori sisemist läbimõõtu 100 mm, tuleb detaili maksimaalne välisläbimõõt valida nii, et säiliks piisav vahekaugus induktori ja detaili vahel. Tööstuspraktikas jääb see vahekaugus tavaliselt vahemikku 2–10 mm, sõltuvalt induktori kujust ja soovitud energiatihedusest.

Detaili vertikaalne asend määratakse induktori kõrguse järgi, mis on ligikaudu 1100 mm põrandapinnast. See mõõt määrab pöördlaua algasendi ning vertikaalliikumise käigu pikkuse. Süsteem peab võimaldama detaili liikumist nii induktori alla kui ka sellest eemale, et toetada erinevaid karastusrežiime, sealhulgas skaneerivat karastust.

Detaili asend süsteemis fikseeritakse detailipõhiselt valmistatavate alusjalgade abil, mis tagavad detaili stabiilse kinnituse ja korrektse asendi pöördtelje suhtes. Pikemate ja saledamate detailide puhul on vajalik täiendav toetus, et vältida läbipainumist ja telgsuse kõrvalekallet karastusprotsessi ajal. Selline lisatoetus, kus detail kinnitatakse ülemisest otsast tsentri abil, kuulub edasise arendustöö hulka ning võimaldab tagada detaili pöördtelje ja induktori telje kattuvuse kogu töötsükli vältel.

Paigutuse projekteerimisel tuleb arvestada ka detaili massiga, mis mõjutab otseselt pöörd- ja vertikaalajamite dimensioneerimist. Detaili massi ja raskuskeskme asukoht määravad koormusjõud, mis kanduvad pöördlauale, juhikutele ja kandekonstruktsioonile. Mehaanikainseneri käsiraamatu järgi tuleb selliste süsteemide projekteerimisel käsitleda nii staatilisi kui ka dünaamilisi koormusi, rakendades sobivaid varutegureid.



Joonis 4. Detaili liikumise skeem

Detaili paigutus süsteemis loob aluse järgmistele alamsüsteemidele (Joonis 4). Pöördliikumine tagab übermõõdu ühtlase kuumenemise, vertikaalliikumine võimaldab karastatava ala positioneerimist ja skaneerimist ning jahutussüsteem rakendub vahetult pärast kuumutust. Kõik need süsteemid on ruumiliselt ja funktsionaalselt seotud detaili algse paigutusega.

2.2.2. Pöördliikumine

Pöördliikumise rakendamine induktsioonkarastusprotsessis on vajalik detaili ühtlase kuumenemise tagamiseks ümber kogu ümbermõõdu. Induktori tekitatud magnetväli ei ole ruumis täielikult homogeenne ning detaili pöörlemine võimaldab keskmistada soojusvoogu, mille tulemusel kujuneb ühtlane karastuskihi paksus ja stabiilne kõvadusprofiil. Seetõttu on detaili pöörlemine tööstuslikes induktsioonkarastussüsteemides standardlahendus.

Detail kinnitatakse pöördlauale, mille telg on joondatud koaksiaalselt induktori teljega. Pöörlemine toimub ümber vertikaaltelje ning pöörlemiskiirus peab olema madal ja stabiilne. Induktsioonkarastuses kasutatavad pöörlemiskiirused jäävad tavapäraselt vahemikku 1–60 p/min, sõltuvalt detaili mõõtmetest ja kuumutusrežiimist.

Valitud ELK 3EL080M6C–B14 mootori ja NMRV063 reduktori ($i = 80$) kombinatsioon võimaldab saavutada induktsioonkarastuseks sobiva madala ja stabiilse pöörlemiskiiruse. Reduktori suur ülekandearv tagab piisava pöördemomendi varu ning sujuva liikumise ka väikestel kiirustel. Sagedusmuunduri kasutamine võimaldab pöörlemiskiirust reguleerida laias vahemikus, kohandades protsessi erinevate detailide mõõtmete ja karastusrežiimidega.

Asünkroonmootori sünkroonkiirus:

$$n_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 * 50}{6} = 1000 \text{ p/min} \quad (1)$$

Kus, f – sagedus, Hz;

p – pooluste arv.

Asünkroonmootoril on libisemine s , seega tegelik nimikiirus, kui tüüpiline libisemine koormuse all on 2%:

$$n_m = n_s(1 - s) = 1000 * (1 - 0,02) = 980 \text{ p/min} \quad (2)$$

Reduktori väljundpöörded:

$$n_{out} = \frac{n_m}{i} = \frac{980}{80} = 12,25 \text{ p/min} \quad (3)$$

Kus, i – reduktori ülekandearv.

Kui mootorit juhitakse sagedusmuunduriga, saab pöörlemiskiirust ligikaudselt skaleerida sagedusega:

$$n_m(f) \approx n_m(50) \cdot \frac{f}{50} \quad (4)$$

ja seega:

$$n_{out}(f) \approx \frac{n_m(50) \cdot (f/50)}{i} \quad (5)$$

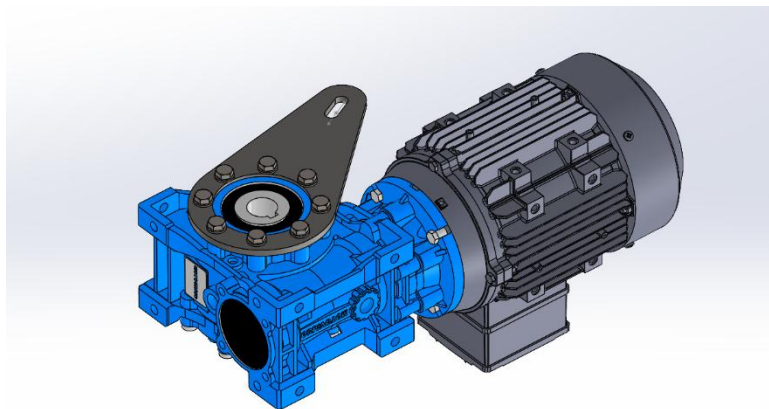
Pöörlemiskiiruse kirjeldamiseks kasutatakse nurkkiirust:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 * \pi * 12,25}{60} = 1,28 \text{ rad/s} \quad (6)$$

Tiguülekanne võimaldab saavutada sujuva ja vibratsioonivaba pöörlemise, mis on induktsioonkarastuse kvaliteedi seisukohalt oluline. Reduktori ja pöördtelje vahel on kasutatud jäikühendust, mis välistab nurklõtku ning tagab täpse ja korratava pöörlemise. Kuna süsteemi pöörlemiskiirused on madalad ja löökoormused väikesed, on jäikühendus konstruktsiooniliselt põhjendatud ning lihtsam kui elastsete sidurite kasutamine. Pöördtelje radiaalne ja aksiaalne toetus on lahendatud veerelaagritega, mille dimensioneerimisel on lähtutud maksimaalsest koormusest ja rakendatud sobivat varutegurit.

Induktsioonkarastuse seisukohalt on pöörlemiskiirus otseselt seotud karastuskihi ühtlusega. Tavapärased pöörlemiskiiruse vahemikud on:

- väiksemate detailide puhul 10–60 p/min;
- massiivsemate detailide puhul 1–20 p/min;
- väga pindmiste kihtide puhul kuni 120 p/min.



Joonis 5. Mootorreduktor

Kokkuvõttes tagab valitud pöördliikumise lahendus detaili stabiilse ja ühtlase pöörlemise induktori suhtes. Kasutatud ajamikomponentide valik vastab induktsioonkarastuse protsessi tehnilistele nõuetele ning loob töökindla ja lihtsalt integreeritava alamsüsteemi kogu masina toimimise seisukohalt.

2.2.3. Vertikaalliikumine

Vertikaalliikumine on vajalik skaneeriva induktsioonkarastuse teostamiseks, kus detail peab liikuma kontrollitud ja ühtlase kiirusega läbi induktori tööpiirkonna. Vertikaaltelje abil juhitakse kuumutusaega ja soojuse levikut detaili telgsuunas, mistõttu peab liikumine olema stabiilne, korratav ja piisava jäikusega, et vältida detaili asendi muutumist induktori suhtes.

Projekteeritud süsteemis on vertikaalliikumine realiseeritud trapetskeermega Tr30×6, mis muundab pöörleva liikumise lineaarseks nihkeks. Trapetskeermega kasutamine on põhjendatud selle suure kandevõime, konstruktsioonilise lihtsuse ja töökindlusega tööstuslikes tingimustes. Võrreldes kuulkruviga on trapetskeere vähem tundlik mustuse, pritsmete ja temperatuurimuutuste suhtes ning ei vaja kõrget positsioneerimistäpsust, mis induktsioonkarastuse protsessis ei ole kriitiline.

Trapetskeere on käitatud ELK 3EL080M6C-B3 elektrimootoriga, mille pöördemoment ja töörežiim sobivad aeglaseks ja püsivaks tõsteliikumiseks. Mootori ja trapetskeermega vahele on lisatud rihmülekanne, kasutades Maedleri hammasrihma. Rihmülekanne kasutamine võimaldab ajami paigutuse paindlikkust, vähendab vibratsiooni ning summutab koormuspunkte, mis tekivad liikumise käivitamisel ja seiskamisel. Lisaks lihtsustab rihmülekanne hooldust ja võimaldab vajadusel ülekandearvu muutmist ilma põhikonstruktsiooni ümber ehitamata.

Selle mootori pöörlemiskiiruse määramisel lähtuti samast metoodikast nagu eelnevalt käsitletud ajami puhul. Mootori sünkroonkiirus 50 Hz toitesageduse ja kuue pooluse korral on 1000 p/min. Arvestades asünkroonmootorile iseloomulikku ligikaudu 2% libisemist, on mootori tegelik nimipöörlemiskiirus ligikaudu 980 p/min.

Hammasrihm:

$$i_b = \frac{n_m}{n_{kruvi}} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{177}{52} = 3,4 \quad (7)$$

Kus, i_b – rihma ülekandearv;

n_{kruvi} – võlli pöörlemiskiirus, p/mm);

z – rihmarata hammaste arv (1. mootoril, 2. võllil);

d – rihmaratta läbimõõt, mm (1. mootoril, 2. võllil).

Seega kruvi pöörlemiskiirus:

$$n_{kruvi} = \frac{n_m}{i_b} = \frac{980}{3,4} = 288,23 \text{ p/min} \quad (8)$$

Lineaarkiirus trapetskruvil:

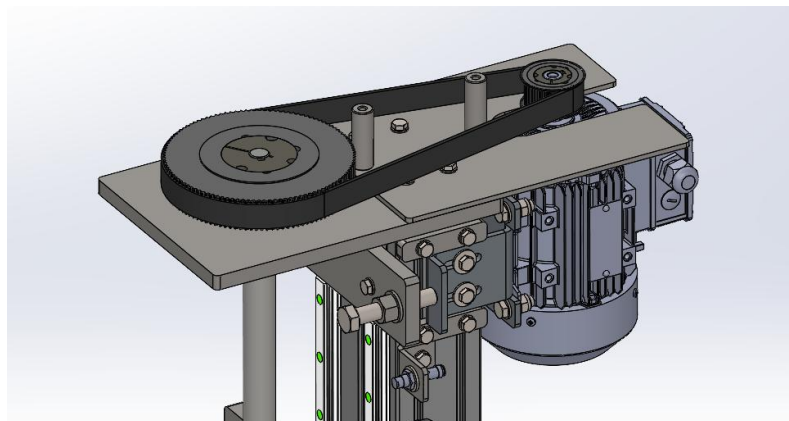
$$v = \frac{n_{kruvi} * b}{i_b * 60} = \frac{980 * 6}{3,4 * 60} = 28,8 \text{ mm/s} \quad (9)$$

Kus, b – trapetskruvi samm, mm.

Kiirus skaleerub sammuti ligikaudu sagedusega:

$$v(f) \approx v(50) \cdot \frac{f}{50} \quad (10)$$

Trapetskeerme külgjõudude ja paindemomentide vastuvõtmiseks on vertikaaltelg juhitud kahe HIWIN HGR20R lineaarjuhtsiini ja nelja HGW20 liugploki abil. Kahe paralleelse juhtsiini kasutamine suurendab süsteemi jäikust ja välistab liikuva platvormi pöördumise, mis on eriti oluline detaili ja induktori koaksiaalsuse säilitamiseks. Neli liugploki jaotavad koormuse ühtlaselt ning võimaldavad võtta vastu nii staatilisi kui ka dünaamilisi jõude koos sobiva varuteguriga.



Joonis 6. Rihmülekande asetis

Kokkuvõttes moodustavad trapetskeere, rihmülekanne, elektrimootor ja lineaarjuhikud töökindla ja tööstuslikult sobiva vertikaalliikumise süsteemi, mis tagab detaili stabiilse

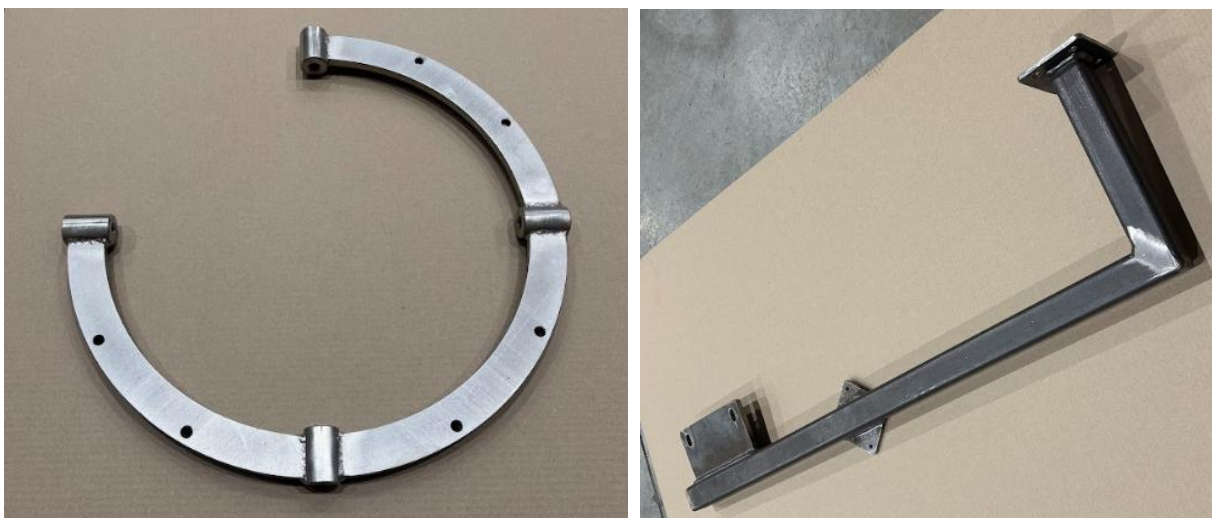
positsioneerimise induktori suhtes ning võimaldab karastusprotsessi täpset ja korratavat teostamist.

Projekteeritavas süsteemis kasutatud kaks elektrimootorit on valitud teatud ulatuses üledimensioneerituna. Valiku aluseks ei olnud üksnes teoreetiline miinimumnõue, vaid ka ettevõttesiseselt olemasolevate standardkomponentide kasutamine. Mootorid võeti Peretec OÜ laoseisust, mis võimaldas vähendada uute komponentide soetamise vajadust ning optimeerida olemasolevate varude kasutust. Üledimensioneerimine tagab ühtlasi suurema töökindluse, parema taluvuse dünaamilistele koormustele ning jätab süsteemile piisava varu võimalike tulevaste arenduste ja koormuste suurenemise jaoks.

2.2.4. Jahutussüsteem

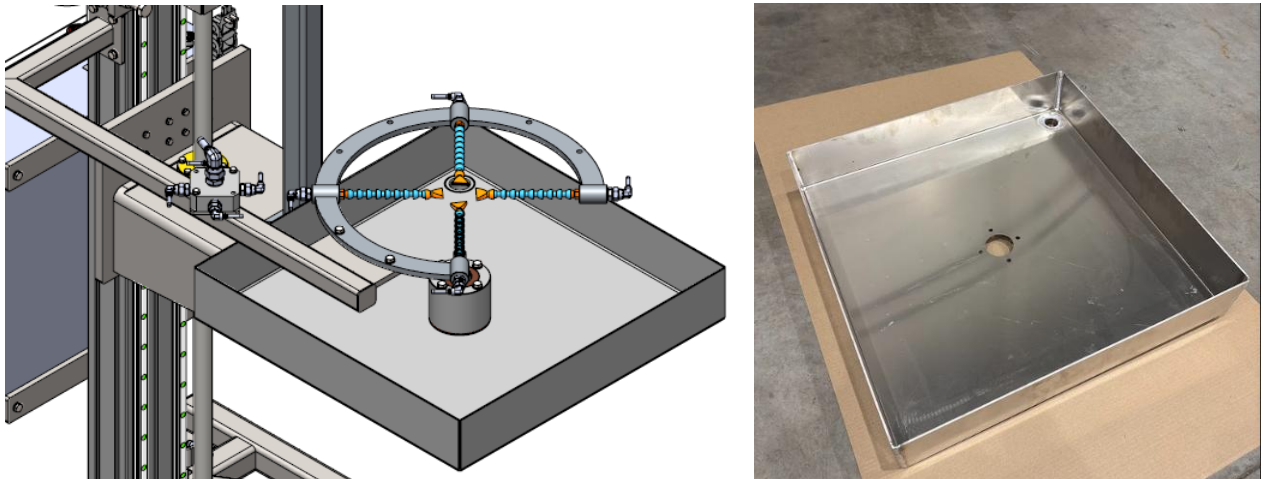
Jahutussüsteemi ülesanne induktsioonkarastusprotsessis on eemaldada kuumutatud detaililt soojus piisava kiirusega, et tagada martensiitse mikrostruktuuri teke ning stabiilne pinnakõvadus. Jahutusjärgne soojuse eemaldamise kiirus mõjutab otseselt karastuskihi sügavust ja kõvaduse jaotust, mistõttu peab jahutus olema ühtlane ja korratav.

Projekteeritud süsteemis kasutatakse jahutusvedelikuna hoone veetrassist tulevat külma vett, mille rõhk on ligikaudu 6 bar. Eraldiseisva pumba puudumine lihtsustab konstruktsiooni ja vähendab hooldusvajadust, eeldusel et trassirõhk on piisav vajaliku vooluhulga saavutamiseks. Jahutusvee vooluhulka reguleeritakse käsitsi juhitava ventiiliga, mis võimaldab operaatoril kohandada jahutuse intensiivsust vastavalt detaili mõõtmetele ja kuumutusrežiimile. Jahutusvesi suunatakse detailile pihustusjahutusena nelja Modular system for lubrication FH.1_4 otsiku kaudu.



Joonis 7. Jahutussüsteemi keevitatud elemendid

Detaililt äravoolav jahutusvesi kogutakse pöördlaua alla paigaldatud jahutusvanni. Vann on valmistatud kergest profiilkonstruktsioonist, kuna sellel puudub kandev funktsioon ning oluline on madal mass ja lihtne käsitsetavus. Profiilide mõõdud on valitud nii, et konstruktsioon taluks pidevat veekoormust ja vibratsiooni ilma märgatava deformatsioonita. Vanni kuju ja paigutus suunavad vee kontrollitult äravoolu ning välistavad selle sattumise liikumissüsteemide ja elektriliste komponentide lähedusse.



Joonis 8. Jahutussüsteem (vasakul) ja jahutusvann peale keevitust (paremal)

Jahutusvee voolikud ning nendega paralleelselt kulgevad elektri- ja andurikaablid on paigutatud IGUS E2 kaabliketti, mis juhib need koos vertikaaltelje liikumisega kindlal trajektooriga. Keti kasutamine vähendab voolikute paindekoormusi ja välistab nende takerdumise liikuvate mehhaaniliste osade vahele, parandades süsteemi tööohutust ja töökindlust.

Kokkuvõttes on projekteeritud jahutussüsteem konstruktsiooniliselt lihtne, tööstuslikult põhjendatud ning vastab induktsioonkarastusprotsessi jahutuskiiruse ja töökindluse nõuetele.

2.2.5. Elektroonilised komponendid

Induktsioonkarastusmasina elektrooniline süsteem tagab liikumistelgede juhtimise, ohutuse ning protsessi stabiilsuse, olles integreeritud olemasoleva induktsioonkarastusseadmega. Käesoleva töö raames ei olnud autor otseselt vastutav elektrisüsteemi projekteerimise ega detailse skeemitöö eest, kuid osales aktiivselt mehaanika ja automaatika vahelises kooskõlastamises, et tagada süsteemide omavaheline sobivus ja funktsionaalne terviklikkus.

Masina peatoide on lahendatud kolmefaasilise 400 V vahelduvvoolu kaudu, mis tuuakse juhtkappi tööstusliku pistikühenduse kaudu. Peatoiteahel sisaldab pealüliti ja kaitselüliteid, mille ülesanne on tagada elektriline ohutus ning võimaldada masina täielik pingevaba seisund hooldus- ja seadistustöödeks. Kõik metallkonstruktsioonid ja katepaneelid on ühendatud

kaitsemaandusega, mis vastab tööstusmasinatele kehtivatele elektriohutusnõuetele (IEC 60204-1).

Juhtahelate ja andurite toiteks kasutatakse eraldi 24 V alalisvoolu süsteemi, mille keskseks elemendiks on DIN-liistule paigaldatud toiteplokk. See lahendus eraldab madalpingelised signaaliahelad jõuahelatest ning parandab kogu süsteemi töökindlust. 24 V toiteahel varustab nuppe, turvareleed, piirilüliteid ja induktiivandureid.

Liikumistelgede juhtimine toimub kahe sagedusmuunduri abil. Üks muundur juhib pöördliikumise mootorit ja teine vertikaaltelje mootorit. Sagedusmuundurid võimaldavad sujuvat käivitamist ja seiskamist, pöörlemiskiiruse reguleerimist ning ohutusfunktsioonide, nagu *Safe Torque Off* (STO), rakendamist. STO-funktsioon katkestab mootori pöördemomendi ohutusahela aktiveerimisel ilma toite täieliku väljalülitamiseta, mis on oluline nõue kaasaegsetes masinates.

Masina ohutus on lahendatud eraldi turvarelee abil, mis koondab hädaseiskamisnuppude, uksekontaktide ja muude ohutussignaali info. Turvarelee katkestab ohuolukorras liikumistelgede juhtsignaalid ning takistab masina taaskäivitamist enne rikke teadlikku lähtestamist. See lahendus vastab masinadirektiivi ja CE-märgistuse nõuetele.

Operaatori ja masina vaheline liides on lahendatud füüsiliste juhtnuppude kaudu, mis võimaldavad pöördliikumise käivitamist ja seiskamist, vertikaalliikumise suuna valikut ning hädaseiskamist. Asendite kontrollimiseks kasutatakse induktiivandureid, mis määravad Z-telje ülemise ja alumise piirasendi ning edastavad vastavad signaalid juhtsüsteemile.

Kokkuvõtvalt moodustab elektrooniline süsteem modulaarse ja tööstuslikult standardiseeritud lahenduse, mis toetab mehaaniliste lisasüsteemide töökindlat kasutamist olemasolevas induktsioonkarastusmasinas. Lõputöö fookus oli mehaaniliste alamsüsteemide projekteerimisel, kuid tihe koostöö automaatikaosakonnaga tagas selle, et kõik kavandatud mehhaanilised lahendused oleksid elektriliselt juhitavad, ohutud ja praktikas rakendatavad.

2.2.6. Raam

Projekteeritava induktsioonkarastusmasina lisasüsteemide raam moodustab kogu seadme mehhaanilise aluse, mille ülesanne on tagada pöördlaua, vertikaaltelje ja induktori vaheline täpne ja püsiv ruumiline asend. Raam peab vastu võtma nii staatilised koormused, mis tulenevad detaili ja liikumissüsteemide massist, kui ka dünaamilised koormused, mis tekivad pöörd- ja vertikaalliikumise käigus. Samuti tuleb arvestada vibratsioonide ja lokaalse soojusmõjuga, mis kaasnevad induktsioonkarastusprotsessiga.

Raami geomeetria on kavandatud vastavalt olemasoleva seadme paigaldusruumile ettevõttes Peretec OÜ. Konstruktsioon peab mahtuma etteantud tööruumi mõõtmetesse (paigaldusala

ligikaudu 700 × 1500 × 1700 mm), mis seab piirangud raami kõrgusele ja gabariitidele. Sellest tulenevalt on raam projekteeritud kompaktselt, kuid piisava jäikusega hübriidkonstruktsioonina, kus on kombineeritud teras- ja alumiiniumprofiile.

Raami põhikandvad elemendid ja jalad on valmistatud konstruktsiooniterasest S355, mis on valitud selle kõrge tugevuse, hea keevitatavuse ja laialdase kasutuse tõttu masinaehituses. Teraskonstruktsioon tagab vajaliku jäikuse ja stabiilsuse koormuste ja dünaamiliste mõjude vastuvõtmisel. Terasraam on keevitatud monoliitseks struktuuriks, et välistada lõtkud ja tagada koormuste ühtlane ülekandumine põrandale.



Joonis 9. Keevitatud jalad

Raami seadistusdetailides ja lisamoodulite kinnitamisel on kasutatud MiniTec alumiiniumprofiilsüsteemi. MiniTec profiilide kasutamine on põhjendatud nende modulaarse ehituse, hea mõõtetäpsuse ja lihtsa paigaldatavusega. Alumiiniumprofiilid võimaldavad lisaseadmete, katete ja juhikute paigutamist ilma täiendava keevituse või mehaanilise töötlemiseta, mis vähendab valmistusaega ja suurendab konstruktsiooni paindlikkust. Lisaks ei vaja alumiiniumprofiilid korrosioonikaitseks eraldi pinnatöötlust, kuna looduslik oksiidikiht tagab piisava kaitse tööstuskeskkonnas.

Konstruktsioonis on kasutatud nii keevis- kui ka poltliiteid vastavalt nende funktsioonile. Keevisliiteid rakendatakse terasraami kandvates sõlmedes, kus on vajalik maksimaalne jäikus ja püsivus. Poltliiteid kasutatakse eeskätt MiniTec profiilide ühendustes ning moodulite kinnitamisel, kus on oluline demonteeritavus, seadistatavus ja hooldatavus.

Kokkuvõttes moodustab terasest keevitatud põhiraami ja MiniTec alumiiniumprofiilide kombinatsioon jäiga, modulaarse ja tootmiskeskonda sobiva konstruktsiooni, mis tagab

liikumissüsteemide täpse joondamise, lihtsa hooldatavuse ning sobitumise olemasoleva induktsioonkarastusmasina paigaldusruumi ja töötingimustega.

2.2.7. Koostamine

Induktsioonkarastusmasina lisasüsteemide koostamine toimub etapiviisiliselt, lähtudes modulaarse ülesehituse põhimõttest. Koostamisprotsessi eesmärk on tagada konstruktsiooni jäikus, liikumissüsteemide täpsus ning alamsüsteemide korrektne koostoime. Enne lõplikku kokkupanekut valmistatakse ja kontrollitakse kõik põhikomponendid eraldi.

Koostamine algab põhiraami valmistamisega. Raami kandvad osad on valmistatud laserlõigatud ja osaliselt painutatud terasdetailidest, mis keevitatakse vastavalt koostajuhistele jäigaks alusraamiks. Keevituse järel kontrollitakse konstruktsiooni geomeetriat ning vajadusel teostatakse ühenduspindade järeltöötlus. Keevitatud teraskomponendid, mis jäävad töökeskkonnas nähtavale või on korrosiooniohus, kaetakse värvkattega, et tagada pindade kaitse ja parem hooldatavus.

Valminud terasraamile paigaldatakse MiniTec alumiiniumprofiilidest ülemised konstruktsioonelemendid, mis kinnitatakse poltliidetega. See võimaldab täpset seadistamist ning moodulite hilisemat demonteerimist hoolduse või muudatuste korral. Profiilide külge paigaldatakse vertikaaltelje, juhikute ja lisaseadmete kinnitusdetailid.

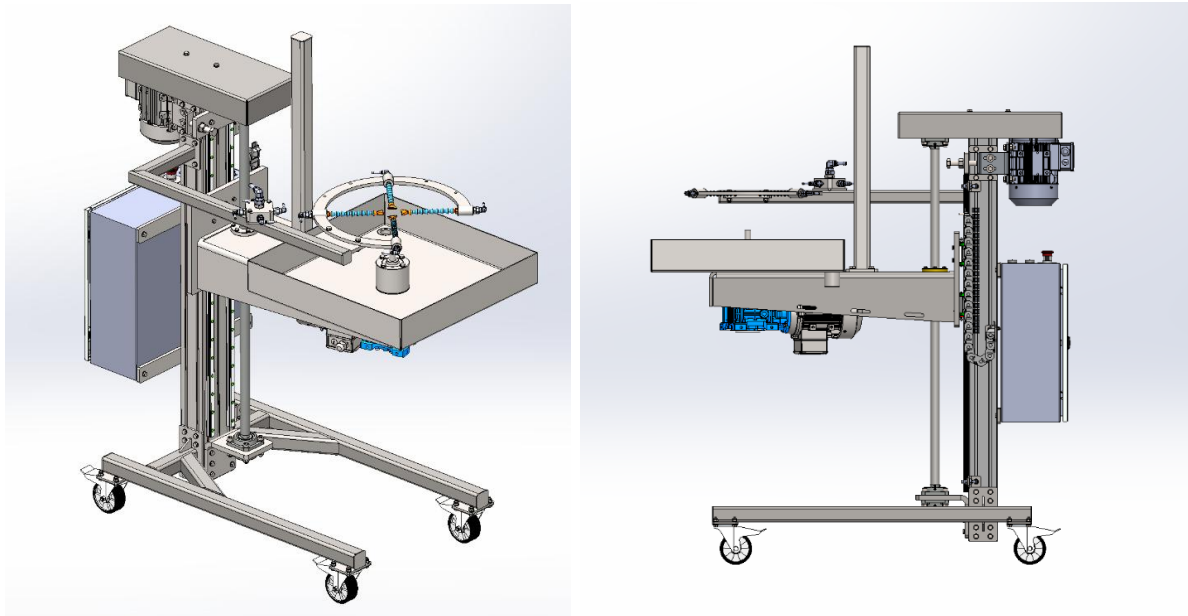
Järgmisena paigaldatakse vertikaalliikumise alamsüsteem. Raamile kinnitatakse kaks HIWIN HGR20R lineaarjuhtiini koos nelja HGW20 liugploki, mille joendus kontrollitakse kogu liikumistee ulatuses. Seejärel paigaldatakse trapetskeere Tr30×6 ning sellele vastav mutter ja laagrilahendus. Vertikaaltelje ajam monteeritakse, kinnitades ELK 3EL080M6C-B3 mootori raamile ning ühendades selle trapetskeermega rihmülekanne kaudu. Rihma pingutus ja joendus seadistatakse vastavalt tootja soovitudele.

Pöördliikumise alamsüsteemi koostamisel paigaldatakse pöördlaua võll ja laagrid ning joondatakse need induktori ja vertikaaltelje suhtes. Seejärel kinnitatakse NMRV063 reduktor koos ELK 3EL080M6C-B14 mootoriga ning luuakse jäikühendus reduktori ja pöördtelje vahel. Pöördlaua tasapind kontrollitakse, et tagada detaili korrektne asend karastusprotsessi ajal.

Jahutussüsteemi koostamisel paigaldatakse pihustusotsikud, torustik ja jahutusvann. Toruühendused tehakse kiirliitmike abil ning süsteemi lekkevabadust kontrollitakse rõhutestiga. Jahutusvee voolikud ning elektri- ja andurikaablid juhitakse läbi IGUS E2 kaabliketi, et tagada nende kontrollitud liikumine ja vältida takerdumist.

Elektrooniliste komponentide paigaldus toimub paralleelselt mehhaanilise koostamisega vastavalt elektriskeemile. Pärast juhtmestiku paigaldamist kontrollitakse ühendused ning viiakse

läbi esmased funktsionaalsed testid. Koostamisprotsess lõpeb süsteemi katsetamisega tühikäigul ja koormuse all, mille käigus hinnatakse liikumiste sujuvust, jahutussüsteemi toimimist ja ohutusahelate tööd.



Joonis 10. Masina üldkonstruktsioon

Pärast mehaaniliste ja elektriliste alamsüsteemide koostamist ning tühikoormusel toimuvate funktsionaalsete testide läbiviimist on ette nähtud arendustöö etapp. Selle käigus hinnatakse süsteemi käitumist reaalsele tööprotsessile võimalikult lähedastes tingimustes ning tuvastatakse võimalikud konstruktsioonilised ja tehnilised puudused. Arendustöö eesmärk on teha vajalikud täiendused ja parandused enne masina lõplikku kasutuselevõttu, et tagada töökindel, ohutu ja korratav karastusprotsess.

3. MAJANDUSLIK ANALÜÜS

3.1. Tööjõukulu ja palgafond

Projekteeritava induktsioonkarastusmasina lissüsteemide arendamisel moodustab olulise osa kogukulust tööjõukulu. Tööjõukulu hõlmab kõiki projekteerimise, valmistamise, koostamise, paigalduse ning arendustööga seotud töötunde, mis on jaotatud ettevõtte erinevate osakondade vahel. Käesolevas töös on tööjõukulu koondatud palgafondi alla, mis kajastab realistlikult ettevõttesisese projekti elluviimise ressursikulu.

Tabel 2. Palgafond

Osakond	Tunnid, h	Tunnitasu, €	Kulu, €
Inseneeria	83,9	31,5	2642,85
Mehaanika	24,15	28	676,2
Keevitus	5,23	28	146,44
Paigaldus	25,28	25	632
Hange	3,2	28	89,6
Arendus	16	31,5	504
Kokku	157,76	Kokku	4691,09

Tööjõukulude arvestus põhineb tegelikel töötundidel ning osakondadele vastavatel tunnihindadel. Oluline on märkida, et iga osakonna tunnihinna sisse on juba arvestatud kaudkulud, sealhulgas kontori- ja töökoja ülalpidamiskulud, elektrienergia, seadmete amortisatsioon ning muud ettevõtte püsikulud. Inseneritöö tunnihinna puhul on lisaks tööjõukulule arvestatud ka projekteerimistarkvara litsentsitasud ning muud insenertehnilised töövahendid, mis on vajalikud masina konstruktsiooni, arvutuste ja dokumentatsiooni koostamiseks. Seega ei ole tööjõukulu tabelis eraldi välja toodud üldhalduskulusid, kuna need on kajastatud tunnihindade koefitsientides.

Mehaanika ja keevituse alla kuuluvad majasisese tootmisega seotud tööd, sealhulgas detailide valmistamine, järeltöötlus ning konstruktsioonielementide keevitamine vastavalt koostejärjekorrale. Paigalduse osakond hõlmab masina mehhaaniliste ja elektriliste alamsüsteemide lõppkokkupanekut, joondamist ning esmaseid seadistustöid. Hanke tööajad kajastavad ostutoodete ja teenuste tellimisele ning logistilisele koordineerimisele kulunud aega.

Lisaks on tööjõukulu tabelisse lisatud arendustöö, mis on arvestatud statistilise eeldusena. Kuigi projekti käesolevas etapis ei ole kõiki arendustöid veel teostatud, hõlmab see rida eeldatavat aega, mis kulub masina testimisele, protsessi seadistamisele ning võimalike konstruktsiooniliste või funktsionaalsete muudatuste läbiviimisele pärast esmast tööstusprotsessi kasutuselevõttu.

Sellise kulu lisamine võimaldab hinnata projekti kogumaksumust realistlikumalt ning arvestada seadme kasutuselevõttuga kaasnevaid lisatöid.

Tööjõukulu kogusummaks kujuneb 4691,09 €, mis vastab 157,76 töötunnile (Tabel 2). Antud summa moodustab märkimisväärse osa prototüübi omahinnast ning peegeldab projekti töömahukust, eriti projekteerimise ja süsteemi integreerimise etappides.

3.2. Materjalikulud

Suure osa moodustavad induktsioonkarastusmasina lissüsteemide kogukulust materjali- ja ostukulud. Antud kulugrupp hõlmab nii ostetud standardkomponente, väljast tellitud teenuseid kui ka tootmiseks vajalikke toormaterjale. Kulude koondamisel on lähtutud tegelikest hinnapakkumistest, ostuarvetest ning projekti käigus koostatud ostutabelitest, mis on seejärel rühmitatud funktsionaalseteks kulugruppideks. Projekti ostukulude arvestuse aluseks olev detailne komponentide ja materjalide loetelu koos maksumustega on esitatud lisades (Lisa 2).

Tabel 3. Materjalikulude koondtabel

Kulugrupp	Kulu, €
Automaatika	943,73
Mehaanika	2958,86
Lasertöötlus	618,79
Raami materjal	538,05
Jahutussüsteem	365,27
Värvimine	150
Kokku	5574,7

Automaatika kulugrupp sisaldab kõiki elektri- ja juhtsüsteemiga seotud komponente, sealhulgas sagedusmuundureid, juhtkappi kuuluvaid seadmeid, andureid, kaabeldust ning ohutuskomponente. Nende komponentide valik on tehtud vastavalt tööstusstandarditele ning kooskõlas masina funktsionaalsete ja ohutusnõuetega. Automaatika kogukulu antud projekti raames on 943,73 €.

Mehaanika kulugrupp hõlmab standardseid mehhaanilisi ostutooteid, nagu reduktorid, mootorid, laagrid, juhikud, rihmad ja kinnitusdetailid. Need komponendid moodustavad masina liikumissüsteemide põhiosa ning nende valikul on lähtutud koormusarvutustest, töökindlusest ja komponentide saadavusest. Mehaanika kulude summa on 2958,86 €, mis moodustab suurima osa ostukuludest.

Lasertöötuse alla kuuluvad väljast tellitud teenused, sealhulgas teras- ja alumiiniumdetailide laserlõikus ning osaline painutustöö. Lasertöötus tagab detailide mõõtmelise täpsuse ja vähendab majasisese töötuse mahtu. Antud teenuste kogukulu on 618,79 €.

Raami materjali kulugrupp sisaldab konstruktsiooniterast ja alumiiniumprofiile, millest valmistatakse masina kandev ja modulaarne raam. Materjalivalik on tehtud vastavalt tugevus- ja jäikusnõuetele ning materjalide hea töödeldavuse tõttu. Raami materjalikulu on 538,05 €.

Jahutussüsteemi kulud hõlmavad pihustusotsikuid, torustikku, liitmikke, kogumisvanni elemente ning muid jahutusega seotud komponente. Jahutussüsteem on projekteeritud kasutama ettevõtte olemasolevat veetrassi, mis võimaldas vältida eraldiseisva pumbasüsteemi kasutamist ning vähendada kulusid. Jahutussüsteemi kulude kogusumma on 365,27 €.

Värvimise kulugrupp hõlmab konstruktsiooni korrosioonikaitseks ja visuaalseks viimistlemiseks vajalikku pinnatöötlust. Värvimine on teostatud pärast keevitustööde lõppu ning enne lõplikku koostamist. Antud kulugrupi summa on 150 €.

Kõigi materjali- ja ostukulude kogusumma on seega 5574,70 € (Tabel 3). Koos tööjõukuludega moodustavad need kulud prototüübi omahinna aluse, mille põhjal saab hinnata projekti majanduslikku otstarbekust ning tasuvust ettevõtte seisukohast.

3.3. Prototüübi omahind ja tasuvusanalüüs

Projekteeritava induktsioonkarastusmasina lisasüsteemide prototüübi omahind kujuneb tööjõukulude ning materjali- ja ostukulude summana. Tööjõukulu hõlmab kõiki projekteerimise, valmistamise, koostamise, paigalduse ja arendustööga seotud töötunde, mille kogusummaks on 4691,09 €. Materjali- ja ostukulud, mis sisaldavad automaatikat, mehaanikat, lasertöötlust, raami materjale, jahutussüsteemi ja pinnatöötlust, moodustavad kokku 5574,70 €.

Seega on projekteeritava lisasüsteemide prototüübi omahind:

$$C_{\text{prototüüp}} = C_{\text{tööjõud}} + C_{\text{materjalid}} = 4691,0 + 5574,70 = 10265,79 \text{ (€)} \quad (11)$$

Antud summa kajastab realistlikult ettevõttesisest investeringut, kuna tööjõukulude tunnihinnad sisaldavad juba kaudkulusid (kontori- ja töökoja ülalpidamine, elekter, seadmed) ning inseneritöö puhul ka projekteerimistarkvara litsentsitasusid.

Tasuvusanalüüsi seisukohalt on oluline võrrelda prototüübi omahinda senise olukorraga, kus induktsioonkarastusteenus telliti sisse. Eelneva aasta jooksul on ettevõtte sisse ostnud induktsioonkarastusteenust ligikaudu 1250 € väärtuses. Lisaks otsesele kulule jäi mitmeid töid

tegemata, kuna teenuse sisseostmine pikendas tarneaegu ning vähendas ettevõtte paindlikkust tootmisplaani koostamisel.

Uue lisasüsteemiga saab Peretec OÜ induktsioonkarastust teostada majasiseselt, mis võimaldab:

- vältida välisteenuse sisseostu,
- lühendada tootmistsükleid,
- võtta vastu töid, mis varem jäid tegemata,
- pakkuda karastusteenust ka teistele klientidele.

Kui arvestada ainult otsese kokkuhoiuga välisteenuse arvelt, on lihtsustatud tasuvusaja hinnang:

$$T = \frac{C_{\text{prototüüp}}}{K_{\text{aastane}}} = \frac{10265,79}{1250} \approx 8 \text{ aastat} \quad (12)$$

Praktilises kasutuses on tegelik tasuvusaeg siiski lühem, kuna arvestamata on jäänud:

- lisatulu teenuste pakkumisest,
- saamata jäänud tööde realiseerimine,
- tootmise parem planeeritavus ja efektiivsus,
- väiksem sõltuvus välistest tarnijatest.

Seega ei ole projekteeritud lisasüsteemide eesmärk üksnes otsene kulude kokkuhoid, vaid eelkõige ettevõtte tehnoloogilise võimekuse tõstmine ja tootmisprotsesside laiendamine. Sellest tulenevalt võib prototüübi investeeringut pidada strateegiliselt põhjendatuks ning majanduslikult otstarbekaks.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli projekteerida induktsioonkarastusmasina lisa-süsteemid ettevõtte Peretec OÜ olemasolevale seadmele, lähtudes ettevõtte tootmisvajadustest ning tehnilistest ja ruumilistest piirangutest. Töö keskendus mehhaaniliste alamsüsteemide kavandamisele ja tehnilisele põhjendamisele, et luua toimiv ja tootmiskeskonda sobiv lahendus detaili positsioneerimiseks, liigutamiseks ja jahutamiseks induktsioonkarastusprotsessi ajal.

Töö käigus käsitleti induktsioonkarastuse teoreetilisi aluseid ning analüüsiti kuumutamise ja jahutamise mõju materjali omadustele. Teoreetiline taust võimaldas määratleda projekteeritava süsteemi funktsionaalsed nõuded ning siduda need konkreetsete konstruktsiooniliste lahendustega. Lisaks analüüsiti turul kasutatavaid lahendusi, et hinnata kavandatud süsteemi vastavust tööstuslikule praktikale.

Praktilises osas projekteeriti pöörd- ja vertikaalliikumise süsteemid, jahutussüsteem ning raamkonstruktsioon. Pöördliikumine on kavandatud detaili ühtlase kuumenemise tagamiseks, vertikaalliikumine skaneeriva karastuse teostamiseks ning jahutussüsteem vajaliku jahutuskiiruse saavutamiseks. Raami konstruktsioon on lahendatud keevitatud terasraami, MiniTec ja alumiiniumprofiilide kombinatsioonina, mis tagab vajaliku jäikuse ja modulaarse ülesehituse. Konstruktsioonilised valikud on põhjendatud insenertehniliste arvutuste ja kehtivate projekteerimispõhimõtete alusel.

Elektrooniliste komponentide osas tehti koostööd ettevõtte automaatikaosakonnaga, et tagada mehhaaniliste alamsüsteemide sobivus olemasoleva juht- ja toitesüsteemiga. Lõputöö autor ei vastutanud elektriprojekteerimise eest, kuid arvestas mehhaanilise konstruktsiooni kavandamisel elektroonika paigutuse ja toimimisega.

Käesoleva lõputöö tulemusena valmis tehniliselt läbi töötatud ja insenertehniliselt põhjendatud lahendus induktsioonkarastusmasina lisa-süsteemidele. Süsteem on projekteeritud nii, et see oleks tootmises rakendatav, kuid lõputöö esitamise hetkeks ei ole seadet veel füüsiliselt koostatud ega kasutusse võetud, kuna projekt asub ettevõttes hetkel teostusjärjekorras. Käesolev töö moodustab aluse süsteemi edasiseks realiseerimiseks ja kasutuselevõtuks tulevikus.

Kokkuvõttes täitis lõputöö püstitatud eesmärgid ning andis autorile praktilise kogemuse mehhaaniliste süsteemide projekteerimisel reaalses tööstuslikus kontekstis, sidudes teoreetilised teadmised ja insenerlikud arvutused konkreetse tootmislahenduse kavandamiseks.

SUMMARY

The objective of this thesis was to design auxiliary systems for an induction hardening machine based on an existing unit at Peretec OÜ, taking into account the company's production needs as well as technical and spatial constraints. The focus of the work was on the mechanical design and technical justification of the subsystems required to ensure accurate positioning, controlled motion, and effective cooling of the workpiece during the induction hardening process.

The theoretical part of the thesis addressed the fundamental principles of induction hardening, including the effects of heating and cooling on material properties. This background provided the basis for defining the functional requirements of the designed system and for justifying the selected engineering solutions. In addition, commercially used industrial solutions were reviewed to evaluate the conformity of the proposed design with established industrial practice.

In the practical part of the work, the rotary motion system, vertical motion system, cooling system, and supporting frame structure were designed. The rotary motion system was intended to ensure uniform circumferential heating of the workpiece, while the vertical motion system enables scanning-type hardening. The cooling system was designed to provide sufficient cooling intensity to achieve a martensitic surface structure. The frame structure combines a welded steel base with modular MiniTec aluminum profiles, providing the required stiffness while maintaining modularity and ease of assembly. All major design choices were supported by engineering calculations and standard mechanical design principles.

With regard to electrical components, close cooperation was carried out with the company's automation department to ensure compatibility between the mechanical subsystems and the existing control and power infrastructure. Although the author was not directly responsible for the electrical design, the mechanical layout was developed with consideration for the placement and operation of electrical components.

As a result of this thesis, a technically well-founded and production-ready design solution for induction hardening machine auxiliary systems was developed. At the time of submission, the system has not yet been physically assembled or commissioned, as the project is currently in the implementation planning phase within the company. The presented design therefore serves as a basis for future realization and commissioning of the system.

In conclusion, the objectives of the thesis were achieved, and the work provided the author with valuable practical experience in mechanical system design within a real industrial environment, effectively combining theoretical knowledge with applied engineering practice.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] R. Kelly, „Kocurek,“ 2025. [Võrgumaterjal]. Available: <https://kocurek.com/news/induction-hardening-understanding-the-basics/>. [Kasutatud detsember 2025].
- [2] „Hardening,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.gh-ia.com/processes/hardening>. [Kasutatud detsember 2025].
- [3] „The Induction Heating Guide,“ 2013. [Võrgumaterjal]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gh-ia.com/Images_Content/Site1/Files/ProductInformation/Brochures/gh-ia-induction-heating-guide.pdf. [Kasutatud detsember 2025].
- [4] „UIHM Heat Treatment of Steels,“ 2013. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.uihm.com/en/Induction-Heating-Tech-Article/Heat-Treatment-of-Steels-8.html>. [Kasutatud detsember 2025].
- [5] „ENRX,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.enrx.com/en/Induction-Products/Induction-heating-equipment/Hardline>. [Kasutatud detsember 2025].
- [6] „Eldec,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.eldec.net/en/products/induction-hardening-machines>. [Kasutatud detsember 2025].
- [7] „GH Induction Atmospheres,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.gh-ia.com/machines/heat-treating/vertical-induction-hardening>. [Kasutatud detsember 2025].
- [8] „Inductoheat Europe,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://inductoheat.eu/products/inductoscan/?lang=en>. [Kasutatud detsember 2025].
- [9] „Peretec info,“ Peretec OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://peretec.eu/et>. [Kasutatud detsember 2025].
- [10] K. Hummel, „Induction Hardening: Understanding the Basics,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.heattreattoday.com/equipment/heat-treating-equipment/induction-heating-equipment/induction-heating-equipment-technical-content/induction-hardening-understanding-the-basics/>. [Kasutatud detsember 2025].

LISAD

Lisa 1. Turuanalüüs

Kriitiline Süsteem / Parameeter	EFD Induction / ENRX (HardLine seeria)	eldec Induction (MIND seeria)	GH Induction (TVG seeria)	Inductoh eat (INDUCT OSCAN)	Teie Arendamise Kriitiline Eesmärk
I. Pöordliikumissüsteem (Positioneerimine)					
1. Tööluse Tüüp	Vertikaalne, Horisontaalne, Pöördlauad (Rotary Table).	Modulaarsed süsteemid (S-XL), sobib lühikestele ja pikkadele (shaft) osadele.	Vertikaalne (kuni 3000 mm pikkus, 2000 kg kaal).	Vertikaalne skaneerimine (scanning), Indexing Table.	Peab toetama skaneerimist ja staatilist positioneerimist.
2. Liikumise Täpsus/Kontroll	CNC-kontrollid (robot-tüüpi süsteemid), Total Indicated Run-Out (TIR) minimeerimine.	Maksimaalne ja järjepidev täpsus. Tugev fookus korduvusel.	CNC-juhtimine, kiirus kuni 8000 mm/min .	CNC/PLC kontroll, kõrge korratavus.	Eesmärk: $\pm 0.05-0.10$ mm korduvustäpsus optimaalse LCC-ga (parim hinna/kvaliteedi suhe).
3. Spetsiaalne Funktsionaalsus	Kahe repiiteriga süsteemid, väntvõlli karastussüsteemid.	SDF® (Simultaneous Dual Frequency) karastus (keerulistele)	Telgede nihutamine suure läbimõõduga osadele, käigukasti	Kahe peaga (Double Station) töödeldakse samaaegse	Eesmärk: Arendada liikumise sünkroniseerimine unikaalse mähisege

Kriitiline Süsteem / Parameeter	EFD Induction / ENRX (HardLine seeria)	eldec Induction (MIND seeria)	GH Induction (TVG seeria)	Inductoh eat (INDUCT OSCAN)	Teie Arendamise Kriitiline Eesmärk
		geomeetria te).	hammast e karastus.	It tootlikkuse suurendamiseks.	meetriaga või pakkuda paremat jäikust mahukate osade puhul.
II. Jahutussüsteem (Quench Management)					
4. Jahutussüsteemi Tüüp	Integr. jahutussüsteem (ventiilid, pumbad, paagid).	Integreeritud jahutussüsteem (osa modulaarsusest).	Eraldi generaatori jahutussüsteem ja karastusv edeliku jahutussüsteem (sageli COTS-põhine).	Integreeritud, vee/polüm eeri süsteemid.	Eesmärk: Tagada eraldi ahelad generaatorile ja karastusainele (must-have).
5. Karastusaine Kontroll	Programmeeritav karastussüsteem. Kontrollib vooluhulka ja karastusaine temperatuuri.	Kõrge täpsus tagamiseks moonutuste vähenemiseks.	Karastusv edeliku vooluhulk ja temperatuur on täpselt seadistatavad .	PLC/CNC kontroll.	Eesmärk: ± 0,5 °C stabiilsus, koos integreeritud filtreerimise ja segamise funktsioonidega (parem hooldus).

Kriitiline Süsteem / Parameeter	EFD Induction / ENRX (HardLine seeria)	eldec Induction (MIND seeria)	GH Induction (TVG seeria)	Inductoh eat (INDUCT OSCAN)	Teie Arendamise Kriitiline Eesmärk
III. Juhtimine ja Integratsioon					
6. Juhtimisplatvorm	CNC kontrollid, robotkäsitsemise tugi.	PLC (Profinet/Profibus interface <i>valikuline</i>).	PLC/CNC süsteem, tihti Siemens /Allen-Bradley baasil.	PLC/CNC kontroll.	Eesmärk: Pakkuda avatud arhitektuuri ga juhtimist (nt EtherCAT), mis võimaldab kliendil lihtsamalt integreerida olemasoleva tehaseautomaatikaga.
7. Modulaarsus	Modulaarne ülesehitus (HardLine), mis võimaldab kohandamist.	MIND (Modular Induction) , kliendi spetsifikatsioonidele konfigureeritav.	Modulaarsus tarvikute ja lisaseadmetega (nt rullikud, toetused).	Saadaval erinevad variandid.	Eesmärk: Modulaarsus toote (jahutus + pöörlemine) paigaldamisel ja hooldusel.

Lisa 2. Ostukulude tabel

Tootekood	Kirjeldus	Tootja	Ühik	Ostuhind KM-ta	Ostuhind KM-ta kokku
Automaatika komponendid					
3273332	Jaotusklemm PTFIX 6mm ² /6x2.5mm ² , sinine, (lisada DIN adapter 3274054), Phoenix	Phoenix	1	2,87	2,87
674640	Ind.andur E2B, M12, Sn=8mm, Unshielded, PNP-NC, korpus 51mm, pistik M12 4-pin, Omron	Omron	2	16,05	32,1
XB4BD912R10K	Potentiometer 10K + Head Ø22 + mounting base	Schneider	2	51,07	102,14
ZB4BA335	Surunupp ZB4, MUST valge ->, madal, metall, IP66,	Schneider	2	4,30	8,6
3AXD50000716579	Sagedusmuundur ABB ACS180 0.55kW 3.7A 230V C2 EMC filter, RS-485, IP20, R0. 174/209x70x143mm, ABB	ABB	2	142,22	284,44
3274056	DIN-liistu adapter PTFIX-NS35A madalale	Phoenix	20	0,51	10,2
425-6	Kilbipesa kaldu 32A 5P 6H 400VAC IP44 (80x97)	PCE	1	3,75	3,75
374870	Toiteplokk S8VK-G, 24VDC 10A 240W, 100- 240VAC/90-350VDC, Omron	Omron	1	116,34	116,34
XB4BS8445	Hädastopp-lüliti punane(keeratav ZB4BS844),	Schneider	1	22,02	22,02
ZB4BZ009	Adapter ZB4, metall, 3 moodulit	Schneider	5	1,97	9,85
ZBE101	Kontaktiplokk ZBE, 1NO, (XB4-le, XB5-le)	Schneider	5	2,05	10,25
ZBE102	Kontaktiplokk ZBE, 1NC, (XB4-le, XB5-le)	Schneider	2	2,05	4,1
ZBVB1	Lambipesa+LED ZBV, VALGE, 24VAC/DC,	Schneider	1	4,01	4,01
ZB4BA2	Surunupp ZB4, MUST, madal, metall, IP66	Schneider	1	3,57	3,57
ZB4BA3	Surunupp ZB4, ROHELINE, madal, metall, IP66	Schneider	1	3,57	3,57

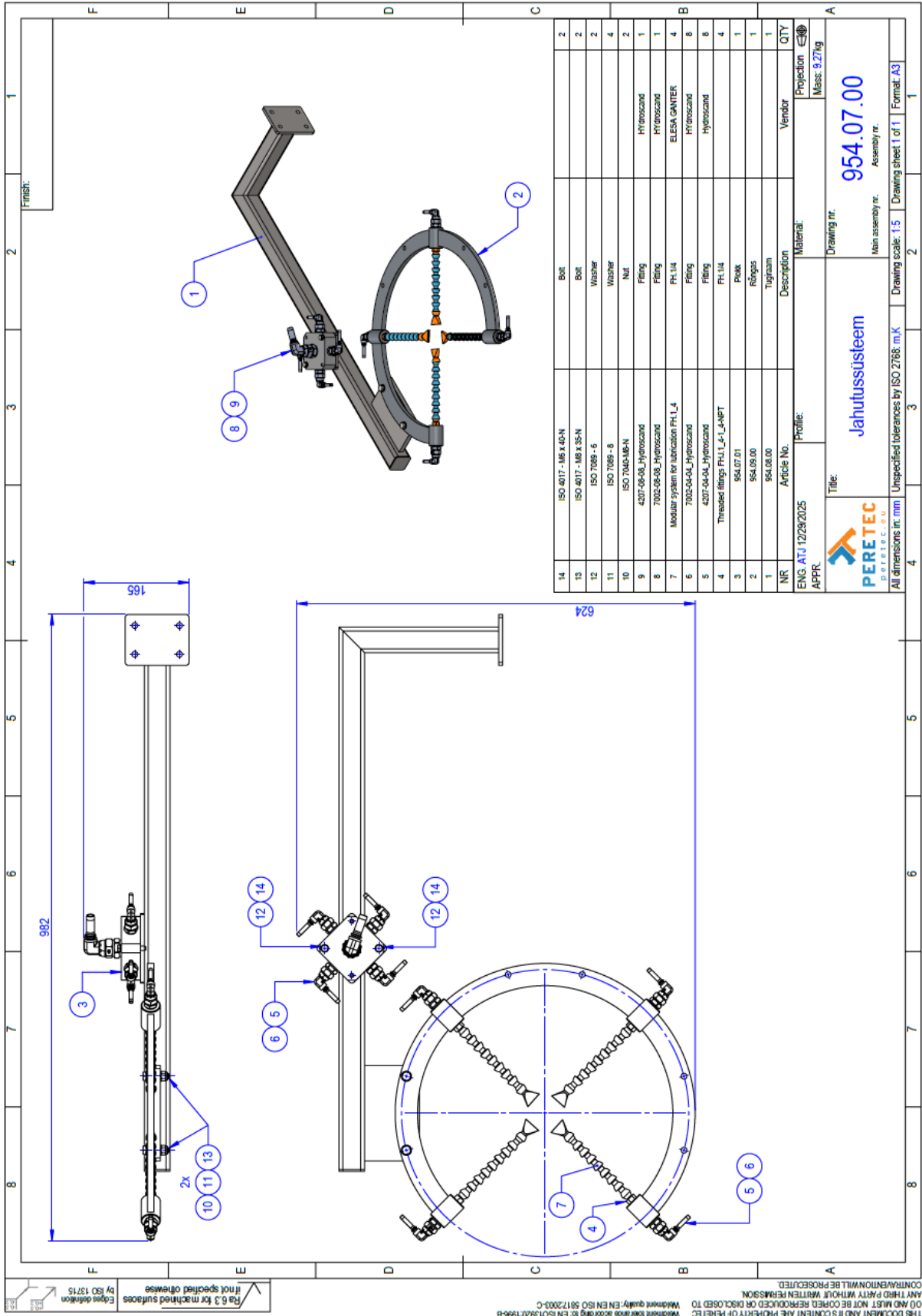
Tootekood	Kirjeldus	Tootja	Ühik	Ostuhind KM-ta	Ostuhind KM-ta kokku
708536	Minirelee + pesa 6.2mm G2RV, 1CO, 6A, 24VDC	Omron	2	8,57	17,14
MAS0505021R5	Metallkilp 500x500x210 IP66 mont. plaadiga	Hoffman	1	85,83	85,83
AFA03R5	Kaablisestus plaat 1 avaga 442x128, 1xMC..	Hoffman	1	9,66	9,66
MBA1C37G11	Multiläbiviik MC35/37 IP67, 1x 17-32mm, 2x 12- 18mm, 30x 8-14mm, 4x 6-10mm tüüblitega	Morek	1	5,63	5,63
6178205	Kilbikarbik LK4/N 60x40x2000mm (KxLxP), hall	OBO	1	8,15	8,15
303UC	Pistikupesa 3-ne (EURO), maanduseta, JUSSI, IP20	ABB	4	12,07	48,28
GA032C	Koormuslüliti GA, 3P, 32A, uksele (lisada GAX61)	Lovato	1	9,77	9,77
GAX61	Käepide uksele 0-1 P/K IP65, 5mm, GA...A/GA...C	Lovato	1	3,27	3,27
GAX7150	Pikendusvarras 5mm 150mm, GAX61/GA...A	Lovato	1	2,24	2,24
1091669	Jaotusklemm PTFIX 6mm ² /6x2.5mm ² , koro,	Phoenix	1	2,92	2,92
3273332	Jaotusklemm PTFIX 6mm ² /6x2.5mm ² , sinine	Phoenix	1	2,87	2,87
3273198	Jaotusklemm PTFIX 6mm ² /6x2.5mm ² , hall	Phoenix	2	3,14	6,28
3SK1111-2AB30	SIRIUS SAFETY RELAY STD RELAY 3NO+1NC	Siemens	1	123,88	123,88
				Kokku	943,73
Mehaanika komponendid					
4,044E+10	PE 500 LEHT NAT 10x1010x2020mm	ETRA	1	21,74	21,74
11001	Kinnitusvahendid	Saue Rauakaubad	1	60	60
22.1204-0	Clamping clip	IGUS	20	2,50	50

Tootekood	Kirjeldus	Tootja	Ühik	Ostuhind KM-ta	Ostuhind KM-ta kokku
E2.21.025.035.0 + 14025.12PZ.A1	Energy chain 0.566m	IGUS	1	178,60	178,6
21.1351-2	Nut	MINITEC	44	2,50	110
77752100	Wheel	Mädler	4	28,08	112,32
68531230	Bush	Mädler	1	4,80	4,8
17355400	Belt	Mädler	1	20,80	20,8
17277434	Pulley	Mädler	1	15,50	15,5
62250519	Taper Bush	Mädler	1	8,50	8,5
62250119	Taper Bush	Mädler	1	3,80	3,8
17277494	Pulley	Mädler	1	100,50	100,5
3EL080M6C-B3	AC motor	ELK	1	689,00	689
NMRV063 7.5 80-B14	Gearbox	ELK	1	364,50	364,5
3EL080M6C - B14	Motor	ELK	1	348,60	348,6
64477130	RH NUT	Mädler	1	105,50	105,5
HMS5 V	Shaft seal	SKF	1	20,50	20,5
6206-2Z	Bearing	SKF	1	30,50	30,5
3206 A-2Z	Bearing	SKF	1	27,80	27,8
HGR20R1000H	RAIL	HIWIN	2	235,00	470
62699020	Bearing Block	Mädler	3	5,30	15,9
HGW20CCZ0H	BLOCK	HIWIN	4	50,00	200
				Kokku	2958,86
Lasertöötlus					
954.01.01	Flants 2 mm vask	Ferresto	1	36,45	36,45
954.01.02	Kate 3 mm S355 (Painutamine)	Ferresto	1	25,33	25,33
954.01.03	CE Plaat 2 mm AW5005 15- 20MY_anodeeritu, Graveer	Ferresto	1	47,28	47,28
954.02.02	Plaat 15 mm S355	Ferresto	1	19,83	19,83

Tootekood	Kirjeldus	Tootja	Ühik	Ostuhind KM-ta	Ostuhind KM-ta kokku
954.02.04	Vinkel 15 mm S355 (Painutamine)	Ferresto	1	21,64	21,64
954.02.07	Kinnitusplaat 6 mm AISI304 (Painutamine)	Ferresto	1	29,37	29,37
954.02.08	Plaat 15 mm S355	Ferresto	1	9,87	9,87
954.02.09	Plaat 5 mm S355	Ferresto	1	6,81	6,81
954.02.11	Vinkel 5 mm S355 (Painutamine)	Ferresto	2	7,81	15,62
954.02.12	Plaat 10 mm S355	Ferresto	2	9,04	18,08
954.02.13	Plaat 10 mm S355	Ferresto	4	4,72	18,88
954.02.14	Plaat 5 mm S355	Ferresto	2	7,07	14,14
954.02.15	Vinkel 5 mm S355 (Painutamine)	Ferresto	1	10,13	10,13
954.03.01	Kate 10 mm S355 (Painutamine)	Ferresto	1	67,82	67,82
954.03.02	Plaat 20 mm S355	Ferresto	1	31,64	31,64
954.05.02	Plaat 6 mm S355	Ferresto	2	4,91	9,82
954.05.03	Plaat 6 mm S355	Ferresto	4	4,29	17,16
954.05.04	Plaat 3 mm S355	Ferresto	4	3,50	14
954.05.05	Plaat 6 mm S355	Ferresto	4	1,90	7,6
954.08.01	Plaat 6 mm S355	Ferresto	1	4,18	4,18
954.08.03	Plaat 10 mm S355	Ferresto	1	6,12	6,12
954.08.04	Plaat 3 mm S355	Ferresto	1	3,47	3,47
954.08.05	Plaat 6 mm S355	Ferresto	1	4,17	4,17
954.09.02	Plaat 10 mm AISI304	Ferresto	3	17,18	51,54
954.10.01	Vann 3 mm AW5754 (Painutamine)	Ferresto	1	68,46	68,46
954.12.02	Plaat 1 mm AW5754	Ferresto	6	2,50	15
954.11.01	Käigukasti flants 6 mm S355	Ferresto	1	5,50	5,5
954.13.01	Plaat 10 mm AISI304	Ferresto	1	21,84	21,84
954.13.03	Plaat 3 mm AISI304	Ferresto	1	17,04	17,04
				Kokku	618,79
Raami materjal					

Tootekood	Kirjeldus	Tootja	Ühik	Ostuhind KM-ta	Ostuhind KM-ta kokku
954.08.02	Nelikanttoru 40x40x3 S355	Exmet	1	26,8	26,8
954.13.02	Nelikanttoru 50x50x4 S355	Exmet	1	32,54	32,54
20.1148/0	Profile 90x135	MINITEC	1	221,21	221,21
954.02.06	TR30X6 64099130	Mädler	1	207,5	207,5
954.02.10	Round 20 h9 S355	Exmet	1	2	2
954.03.03	Round 30 h9 S355	Exmet	1	4	4
954.06.01	Round 100 h9 Alu	Alumeco	1	12	12
954.06.02	Round 35 h9 42CrMo4	Enimor MET	1	10	10
954.06.02	Round 30 h9 S355	Exmet	4	4	16
954.10.02	Round 50 h9 Alu	Alumeco	1	6	6
				Kokku	538,05
Jahutussüsteemi komponendid					
4207-08-08_Hydroscand	Fitting	Hydroscand	1	1,43	1,43
7002-08-08_Hydroscand	Fitting	Hydroscand	1	2,68	2,68
FH.1_4	Modular system for lubrication	ELESA GANTER	4	68,45	273,8
FHJ.1_4-1_4-NPT	Threaded fittings	ELESA GANTER	4	10,26	41,04
7002-04-04_Hydroscand	Fitting	Hydroscand	8	2,43	19,44
4207-04-04_Hydroscand	Fitting	Hydroscand	8	3,36	26,88
				Kokku	365,27
Värvimine					
954 komp	RAL 7035	Lipson Invest OÜ	1	150	150
				Kokku	150
				Kõik kokku	5574,7

Lisa 3. Koostujoonis



Ra 6.3 for machined surfaces
 Edges chamfered
 if not specified otherwise
 by ISO 13715

THIS DOCUMENT AND ITS CONTENT ARE PROPERTY OF PERITEC
 AND MUST NOT BE COPIED, REPRODUCED OR DISCLOSED TO
 A THIRD PARTY WITHOUT WRITTEN PERMISSION.
 Maduski kvaliteetis atviekis EN ISO 9001:2015
 Maduski kvaliteetis atviekis EN ISO 9001:2015

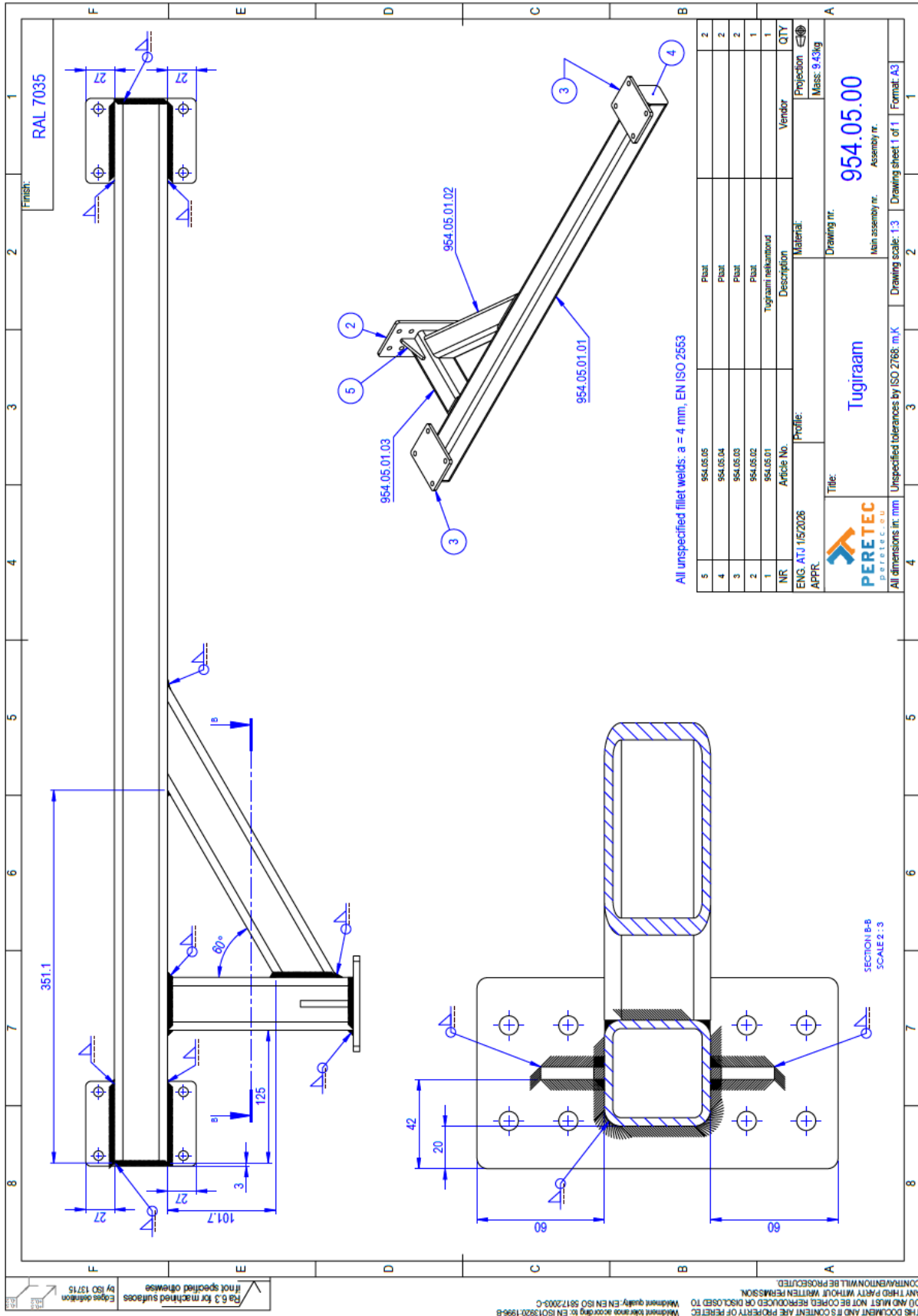


Jahutusüsteem
 Main assembly nr.

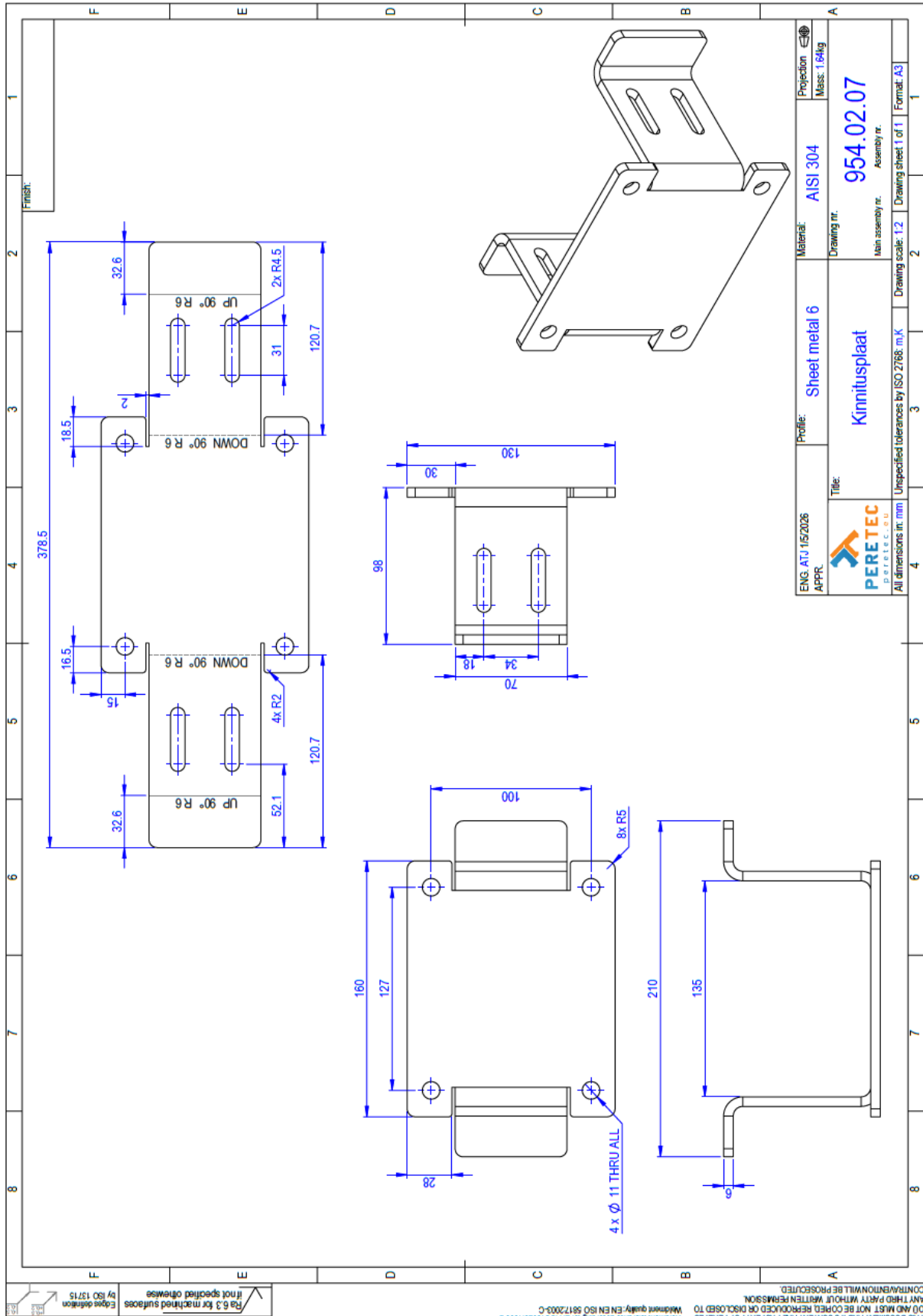
954.07.00
 Assembly nr.

Title: Jahutusüsteem
 Drawing nr. 954.07.00
 Mass: 9.27kg
 Projection
 All dimensions in: mm
 Unspecified tolerances by ISO 2768: m.K
 Drawing scale: 1:5
 Drawing sheet 1 of 1
 Format: A3

Lisa 4. Keevisjoonis



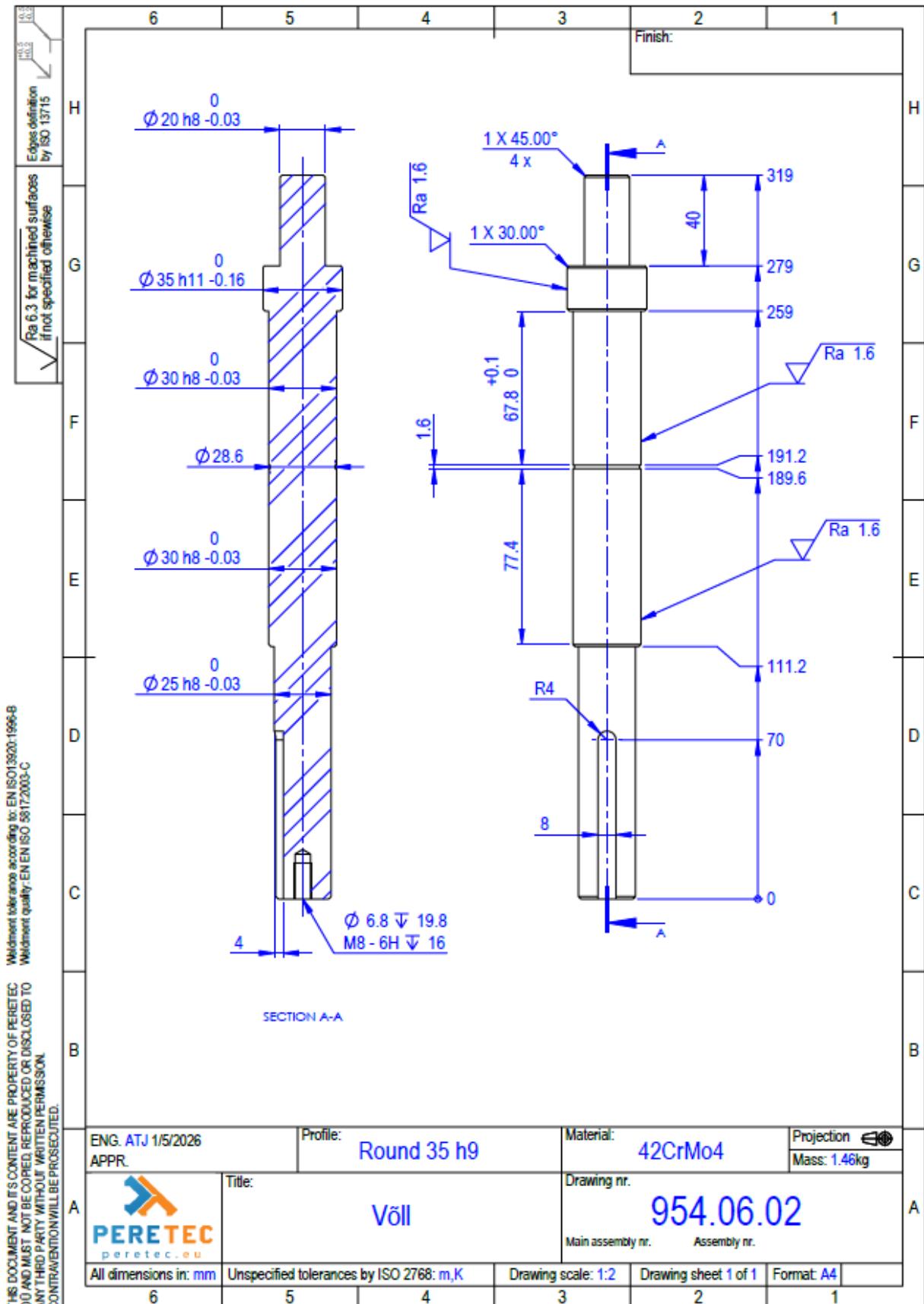
Lisa 5. Detaili joonis



THIS DOCUMENT AND ITS CONTENT ARE PROPERTY OF PERETEC. ANY PART NOT BE COVERED, REPRODUCED OR DISCLOSED TO A THIRD PARTY WITHOUT WRITTEN PERMISSION. Maximum quality - EN ISO 5817:2003-C. Maximum tolerances according to: EN ISO 1302:1996/B

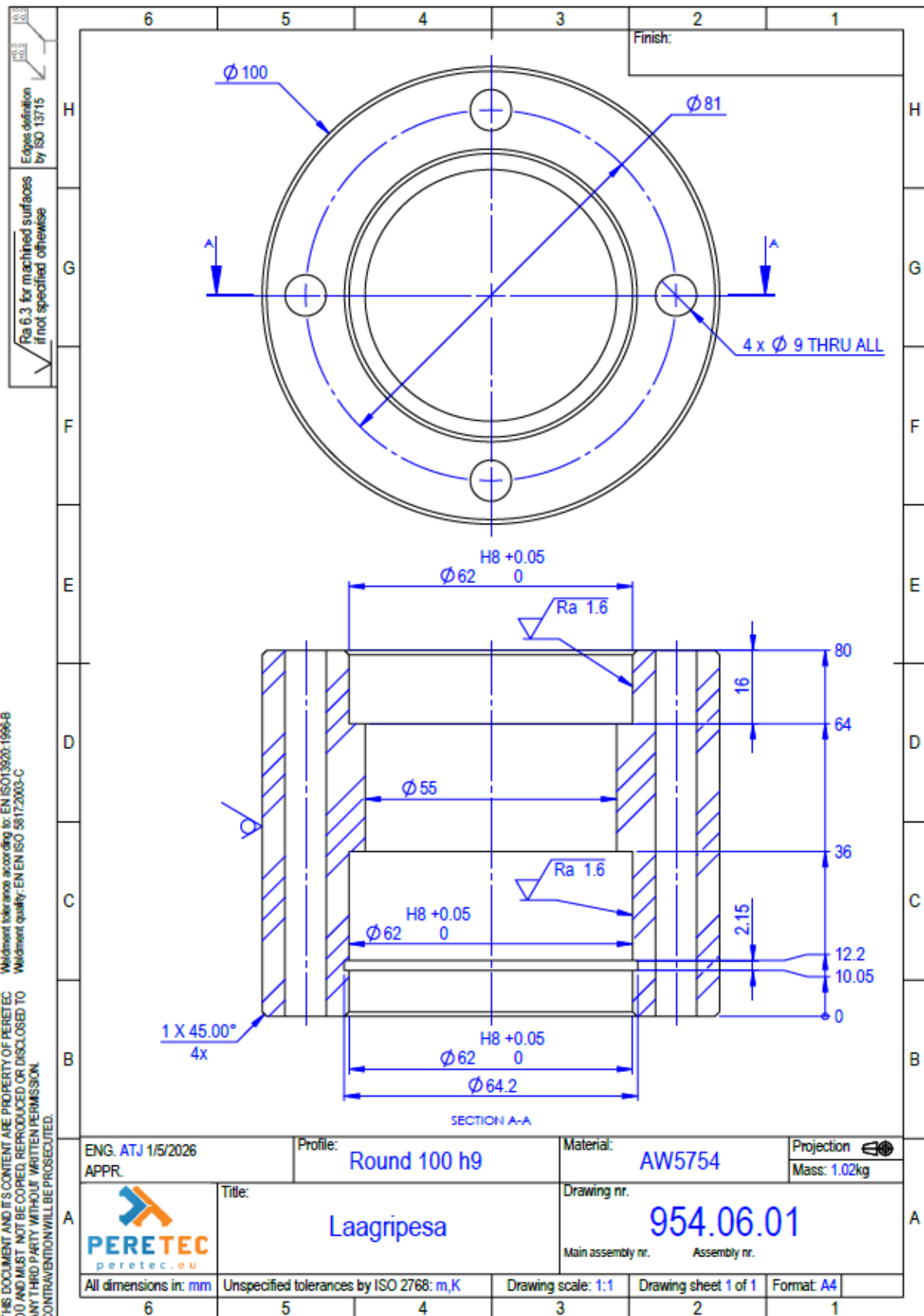
if not specified otherwise
Ra 6.3 for machined surfaces
Edges defined by ISO 13715

Lisa 6. Detaili joonis 2



THIS DOCUMENT AND ITS CONTENT ARE PROPERTY OF PERETEC
AND MUST NOT BE COPIED, REPRODUCED OR DISCLOSED TO
ANY THIRD PARTY WITHOUT WRITTEN PERMISSION.
CONTRAVENTION WILL BE PROSECUTED.

Lisa 7. Detaili joonis 3



THIS DOCUMENT AND ITS CONTENT ARE PROPERTY OF PERETEC
 AND MUST NOT BE COPIED, REPRODUCED OR DISCLOSED TO
 ANY THIRD PARTY WITHOUT WRITTEN PERMISSION.
 CONTRAVENTION WILL BE PROSECUTED.

Wäljmadetolerans enligt ISO 1302:1996-8
 Wäljmadkvalitet: EN ISO 8817:2003-C