

Jani Vahtola

**SILIKONIPROFIILIN PINNOITTAMINEN JA PINNOITUSLAITTEISTON SUUN-
NITTELEMINEN**

SILIKONIPROFIILIN PINNOITTAMINEN JA PINNOITUSLAITTEISTON SUUN- NITTELEMINEN

Jani Vahtola
Opinnäytetyö
Syksy 2018
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaation suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Jani Vahtola
Opinnäytetyön nimi: Silikoniprofiilin pinnoittaminen ja pinnoituslaitteiston suunnittelu
Työn ohjaaja: Heikki Takalo-Kippola
Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: syksy 2018
Sivumäärä: 53 + 2 liitettä

Opinnäytetyö tehtiin kumi- ja silikoniprofiileja valmistavalle FP FinnProfiles Oy:lle. Työn aiheena oli pinnoitevaihtoehtojen kartoittaminen ja silikonikumipinnoille sopivan pinnoitteen valitseminen. Tavoitteena oli löytää silikonikumin pinnan tahmaisuutta ja pinnan nukkaantumista vähentävä pinnoite. Lisäksi suunniteltiin kumi- ja silikoniprofiilien pinnoittamiseen soveltuva tuotantomenetelmä ja pinnoituslaitteisto.

Pinnoituskokeisiin tilattiin useita pinnoitteita. Kokeita tehtiin eri pinnoitteilla, eri seostuksilla ja eri työtavoilla. Pinnoitteiden lisäksi kokeiltiin vaihtoehtoisia pintakäsittelyjä. Pinnoitteiden soveltuvuus arvioitiin visuaalisesti ja kulutuskokeilla. Pinnoitustapa valittiin parhaan pinnoitustuloksen perusteella.

Pinnoituslaitteisto suunniteltiin pinnoitteiden tuotannolle asettamien vaatimuksien mukaisesti. Laitteiston suunnittelussa huomioitiin laitteiston toimivuus muita pinnoitteita käsiteltäessä. Pinnoituslaitteiston ja tuotantolinjan suunnitteluun käytettiin Dassault Systèmes SolidWorks -mekaniikkasuunnitteluohjelmistoa, Famic Technologies Automation Studio -piirisimulaatiota ja Microsoft Visio -kaaviopiirrosohjelmaa. Automaatiojärjestelmän logiikka perustui Mitsubishiin α2-logiikkaan.

Työn lopputuloksena yritykselle suositeltiin silikonikumin pinnoittamiseen käytettävää pinnoitetta. Yritykselle luovutettiin myös suunnitelma automatisoidun pinnoituslinjaston rakentamiseksi. Opinnäytetyön tulokset olivat suoraan hyödynnettävissä. Pinnoituslaitteiston jatkokehittämiseen annettiin ideoita, kuten pinnoituskaapin aukkojen levyillä pienentäminen kaapin sisään virtaavan ilman paineen kasvattamiseksi. Pinnoitevalinnat ja pinnoituslaitteiston tarkat yksityiskohdat jäivät opinnäytetyön tekijän ja yrityksen väliseksi tiedoksi.

Asiasanat: silikoni, profiili, pinnoittaminen, pinnoituslaitteisto, pinnoitusprosessi

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering, Machine Automation (BEng)

Author: Jani Vahtola

Title of thesis: Selecting a Coating for Silicone Rubber and Designing Equipment for Rubber Profile Coating

Supervisor: Heikki Takalo-Kippola

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2018

Number of pages: 53 + 2 appendices

Thesis was made as collaboration project for a rubber profile manufacturer FP FinnProfiles Ltd. The topic of thesis was to explore coatings for silicone surfaces, develop a coating process and to design specialized coating equipment for rubber profile top coating.

The focus on exploring coatings was to find a coating that would reduce coefficients of friction on silicone rubber surface. A coating process developed was based on outcomes from coating experiences. The coating manufacturers' guidelines were also taken on account. The coating equipment was based on own design, in lack of commercial ready to use solutions.

Several coatings and surface treatments were trialled during tests. The coating outcomes were evaluated by level of surface friction and coatings' abrasion durability. Abrasion tests were conducted to all the test pieces that had an acceptable surface quality.

Dassault Système SolidWorks 3D CAD design software, Famic Technologies Automation Studio circuit simulation software and Microsoft Visio diagramming program were used for designing coating equipment. Mitsubishi  2 logics was used for programming PLCs.

Some special thought was given to easy usage and quick maintenance of the coating equipment. The coating equipment is usable for wide range of coats with some minor conversion effort.

All the documents regarding the coating experiences as well as complete plan for the coating process and coating equipment were handed to FP FinnProfiles Ltd. The result was ready to use as given for the work's orderer. The exact coatings' make and marketing names, as well as the plan for coating process line, has been left incomplete on purpose in this document.

Keywords: Silicone Rubber Profile Coating Process

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO.....	7
2 YLEISTÄ SILIKONIPROFILEISTA JA PINNOITTEISTA	8
2.1 Kumiprofiilien käyttökohteita ja valintakriteereitä	8
2.2 Silikonikumi materiaalina.....	8
2.3 Kumiprofiilien valmistaminen suulakepuristamalla	9
2.4 Pinnoitteet	9
3 PINNOITUSAINOIDEN VALINTA	11
3.1 Testattavat pinnoitteet.....	11
3.2 Pinnoituskokeet.....	11
3.2.1 Pinnoitteen ruiskuttaminen.....	12
3.2.2 Pinnoitteen siveleminen	12
3.2.3 Pinnoitteessa uittaminen.....	15
3.2.4 Vaihtoehtoiset pintakäsittelyt.....	16
3.3 Kulutuskokeet.....	19
3.4 Pinnoitustestien lopputulokset.....	21
4 KULUTUSLAITE.....	22
4.1 Kulutuslaitteen rakenne	22
4.2 Kulutuslaitteen sähkökytkentä	23
4.3 Kulutuslaitteen logiikka	24
4.4 Kulutuslaitteen pneumaattinen järjestelmä	27
4.5 Kulutuslaitteen säädöt	28
5 PINNOITUSLAITTEISTO.....	29
5.1 Tuotantolinjan toimintaperiaate	30
5.2 Pinnoituslinjaston suunnitteleminen	30
5.3 Ruiskukaappi.....	31
5.3.1 Pinnoitteensyöttö- ja paineilmajärjestelmä	34
5.3.2 Ruiskusuuttimien ohjausjärjestelmä.....	35
5.4 Kypsytyosuuni	37

5.4.1	Kypsytysuunin runko	37
5.4.2	Kypsytysuunin lämmönsäätöjärjestelmä	39
5.5	Kuljettimet.....	39
5.5.1	Kuljettimien ohjaaminen	40
5.5.2	Kuljettimien ohjauslogiikka	42
5.5.3	Kuljettimien rakenne	44
5.6	Sähkökäytöt.....	47
5.6.1	Päävirtapiiri	47
5.6.2	Ohjausvirtapiiri	47
5.6.3	Turvapiiri	48
6	YHTEENVETO	50
	LÄHTEET	52
	LIITTEET	
	Liite 1. Ruiskujärjestelmän ohjauslogiikka	
	Liite 2. Kuljettimien ohjauslogiikka	

1 JOHDANTO

FP FinnProfiles Oy on vuonna 1989 perustettu kumialan perheyritys (1). Yrittäjällä on yli 30 vuoden kokemus kumiteollisuudesta. Yritys valmistaa kumi-, silikonikumi- ja TPE-profiileja monille eri teollisuuden aloille. Kumi- ja TPE-profiilit valmistetaan FP FinnProfiles Oy:n Sastamalan tehtaassa. Silikonikumiprofiilit valmistetaan FP FinnProfiles Oy:n lin tehtaassa. Yritys työllisti suoraan 55 työntekijää vuonna 2017. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2017 oli 10 miljoonaa euroa. (2.)

Opinnäytetyö tehtiin FP FinnProfiles Oy:n lin tehtaalle. Osa opinnäytetyön tuloksista on hyödynnettävissä myös Sastamalan tehtaalla.

Opinnäytetyö koostuu kahdesta osasta. Ensimmäisessä osassa tutustutaan pinnoitteiden tarjontaan, testataan pinnoitteita ja tehdään pinnoitevalinta. Pinnoitteiden testaus ja valinta rajoitettiin silikonikumipinnoille. Pinnoittamisen tavoitteeksi otettiin silikonikumipinnan nihkeyden ja nukkaantumisen vähentäminen. Opinnäytetyön toisessa osassa suunnitellaan FP FinnProfiles Oy:n tarpeisiin sopiva pinnoituslaitteisto. Laitteiston suunnittelussa huomioitiin laitteiston soveltuvuus erityyppisten pinnoitteiden kanssa. Laitteistosta suunnitellaan useimpien pinnoitteiden kanssa toimiva. Eri pinnoitetyyppien käyttäminen olisi mahdollista pienin laitteistomuutoksia.

2 YLEISTÄ SILIKONIPROFILEISTA JA PINNOITTEISTA

2.1 Kumiprofiilien käyttökohteita ja valintakriteereitä

Profiilissa käytettävä kumimateriaali valitaan profiilin käyttötarkoituksen perusteella. Kumiprofiileja käytetään pääasiassa tiivisteinä ja vaimentimina. Kumiprofiileita käytetään myös useissa hyväpitoa vaativissa ja vaihtelevien olosuhteiden kestämistä vaativissa kohteissa, esimerkiksi matkapuhelimien kuorissa ja rannekellojen rannekeissa. Yleensä nämä kohteet on muottivalettu. (3, s. 129 - 132.)

Tiivistekäytössä materiaalivalintaan vaikuttavat käyttökohteen asettamat käyttövaatimukset, tiivistysvaatimukset, rakenteelliset vaatimukset, mekaaniset ominaisuudet, kemiallinen kestävyys, lämmön kesto ja asennusvaatimukset. Myös huollolliset vaatimukset huomioidaan tiivistemateriaalia valittaessa. (3, s. 129.)

Materiaalin toiminnalliset vaatimukset korostuvat vaimentimeksi valmistettavissa kumiprofiileissa. Vaimennustyyppi vaikuttaa materiaalivalintaan. Tärinän eristäminen, äänen eristäminen ja iskun vaimentaminen antavat vaimenninmateriaalille omat vaatimuksensa. (3, s. 130.)

2.2 Silikonikumi materiaalina

Silikonikumi koostuu orgaanisesta silikonipolymeeristä. Silikonikumin kemialliseen sivuryhmään seostetaan materiaalin ominaisuuksia muuttavia lisäaineita. ASTM-standardissa silikonikumista käytetään kirjainlyhennettä Q. (3, s. 119.)

Silikonikumi kestää suuria lämpötilan vaihtelua muita kumimateriaaleja paremmin. Erityisesti silikonin sään- ja otsonin kesto on muita kumilaatuja korkeampi. Silikonikumi on kylmänkesto-ominaisuuksiltaan erinomainen. Nämä ominaisuudet tekevät silikonikumista hyvän materiaalin tiiviste- ja pinnoiteprofiiliksi. Silikonikumin heikkoutena on muita kumilaatuja heikompi mekaaninen kestävyys. (3, s. 124 - 127.)

Puhtaan silikonikumin vetolujuus on kumimateriaaleista alhaisin. Silikonikumin vetolujuutta kasvatetaan seostamalla. Puhtaaseen silikoniin voi sekoittaa piiksidia vetolujuuden kasvattamiseksi. (4, s. 221.)

Silikonikumi on pinnaltaan nihkeä. Materiaalin nihkeys tekee silikonin pintakitkakertoimesta suuren. Silikonikumiprofiili luo hankaavassa käytössä voimakasta ääntä. Pöly ja muu lika kerääntyvät nihkeään pintaan.

2.3 Kumiprofiilien valmistaminen suulakepuristamalla

Kumiprofiilien valmistamiseen on useita valmistustapoja. Muottipuristamalla ja valamalla valmistetaan pieniä kappaleita, joita ei voi valmistaa suulakepuristamalla. Tuurnan päälle puristamalla valmistetaan kumiputkia. Kaleroimalla valmistetaan kumilevyjä, jotka ovat liian leveitä valmistettavaksi suulakepuristamalla. (3, s. 159.)

Suulakepuristamalla valmistetaan suuria valmiste-eriä. Suulake muotoillaan halutun profiilin muotoon. Muovattava materiaali pakotetaan syöttöruuvilla suulakkeen läpi. Suulakkeen läpi puristettu materiaali vastaa muodoltaan suulaketta. Suulakepuristaminen mahdollistaa pitkien ja yhtenäisien nauhojen valmistamisen. (3, s. 159; 5, s. 51.)

Kumimateriaalit vaativat vulkanointikäsittelyn saadakseen kimmoisen muotoonsa. Vulkanointi on lämpökäsittely, jonka aikana kumimateriaalin isopreeniketjut silottuvat rikkisilloilla toisiinsa, muodostaen verkkorakenteen. Suulakepuristettu kumiprofiili vulkanoidaan ajamalla kumiprofiili vulkanointiuunin läpi. (6, s. 25.)

2.4 Pinnoitteet

Pinnoitteita on markkinoilla sekä yksi- että kaksikomponenttisina. Eräät pinnoitteet vaativat primerin pohjakäsittelyksi. Osa pinnoitteista on liuotinpohjaisia. Markkinoilla on myös liuotinvapaita pinnoitevaihtoehtoja.

Joustavat kumi- ja silikoniprofiilit luovat pinnoitteille omat vaatimuksensa. Pinnoite ei saa revetä tai haljeta profiilia venytettäessä ja taivutettaessa. Pinnoitteen on joustettava pohjamateriaalin matkassa. Pinnoitteen on samalla luotava vahva sidos pohjamateriaaliin. Huonosti pohjamateriaaliin sitoutuva pinnoite kuoriutuu irti pohjamateriaalista.

Pinnoitteen on oltava kova kuluttavassa käytössä. Esimerkiksi oven liukutiivisteiden pinnoitteelta vaaditaan kovuutta. Liukutiiviste hioutuu lattian epäpuhtauksien kanssa. Tiivisteiden ja lattian välinen kivensiru lävistää helposti pehmeän pinnoitteen.

3 PINNOITUSAINEIDEN VALINTA

Pinnan nihkeys on silikonikumille tyypillinen ominaisuus. Nihkeys aiheuttaa voimakasta ääntä hankautumisessa. Nihkeys aiheuttaa myös pölyn ja lian kerääntymistä silikoniprofiilin pinnalle.

Tavoitteena oli kartoittaa silikonin nihkeyttä vähentävien pinnoitteiden tarjontaa ja valita silikoniprofiilien pinnoittamiseen sopivin vaihtoehto. Yrityksellä oli tiedossa pinnoitevalmistajia, joiden pinnoitetarjontaan tutustuttiin. Lisäksi etsittiin lisää pinnoitevalmistajia. Joitakin pinnoitteita hankittiin testeihin.

Pinnoitevaihtoehtoja vertailtiin kokeellisesti. Referenssiprofiiliksi valittiin silikonikuminen 60 x 5 mm lattanauha. Referenssiprofiilia pinnoitettiin eri pinnoitteilla ja eri työtavoilla. Pinnoitetut koekappaleet arvioitiin pinnanlaadun ja pinnan liukkauden perusteella. Jatkoon valitut koekappaleet testattiin kulutuskokeella.

3.1 Testattavat pinnoitteet

Testeihin valikoitui neljä pinnoitetta. Pinnoitteiden suositellut käyttökohteet ja käyttötavat erosivat toisistaan. Kaikkia pinnoitteita ei ollut suunniteltu ensisijaisesti silikonikumin pinnoitteeksi. Pinnoitteet erosivat viskositeetiltaan ja lämpökäsittelyn arvoiltaan toisistaan. Yksi pinnoitteista vaati primer-pinnan pinnoitteen ja silikonikumin väliin.

Pinnoitteiden lisäksi pintakäsittelyssä kokeiltiin vaihtoehtoisia aineita. Talkkia käytetään silikonikumin itseensä tarttumisen estämiseksi. Talkitsemista kokeiltiin pintakäsittelynä. Myös voiteluaineena myytävää PTFE-ruisketta kokeiltiin.

3.2 Pinnoituskokeet

Pinnoituskokeissa kokeiltiin eri työmenetelmiä. Pinnoitetta ruiskutettiin ja siveltiin koekappaleiden pinnalle. Koekappaleita myös uitettiin pinnoitusaineella täytetyssä altaassa. Kaikkia pinnoitteita ei voitu levittää profiileille samoilla työmenetelmillä. Käytetyllä työmenetelmällä todettiin olevan vaikutusta pinnanlaatuun ja pinnan liukkauteen.

3.2.1 Pinnoitteen ruiskuttaminen

Pinnoitteen ruiskuttaminen loi tasalaatuisimman pinnan. Ruiskun syöttömäärää säätämällä, ruiskun liikenopeutta muuttamalla, ruiskutusetäisyyttä muuttamalla ja käsittelykertojen lukumäärällä voitiin säätää pinnoitteen paksuutta ja pinnanlaatua. Ruiskutetuista pinnoista tuli tasapaksuja ja tasalaatuisia. Ruiskuttaminen ei jättänyt pinnoitteeseen epätäydellisyyksiä.

Kaikkia pinnoitteita ruiskutettiin huoneen lämpöiselle silikonipinnalle eri ruiskun asetuksilla. Ruiskun syöttömäärää säädettiin ruiskun toimivuuden rajoissa. Ruiskun ja pinnoitettavan pinnan välistä etäisyyttä muuteltiin sopivimman etäisyyden löytämiseksi. Pinnoitteen paksuutta säädettiin ruiskun ylivientinopeutta ja ylivientikertojen lukumäärää muuttamalla.

Pinnoitetut koekappaleet asetettiin vulkanointiuuniin. Vulkanointiuunia käytettiin pinnoitteen kypsyttämiseen. Vulkanointiuunin lämpötila ja läpiajoaika asetettiin niin, että eri kokeista saatiin vertailukykyisiä arvoja.

Kuumalle silikonipinnalle ruiskuttamista kokeiltiin kaikilla pinnoitteilla. Koekappale laitettiin vulkanointiuuniin lämpenemään. Pinnoite ruiskutettiin koekappaleelle välittömästi kappaleen saavuttua vulkanointiuunin päähän.

Yksi pinnoitteista kypsyi lämmitetylle pinnalle ruiskutettaessa. Lämmitetylle koekappaleelle ruiskutetun pinnoitteen pinnanlaadusta tuli karkeampi. Ruiskutetut pisarat vaikuttivat kypsyvän välittömästi osuessaan kuumaan kumipinnan. Ennen lämpökäsittelyä ruiskutetun pinnoitteen pisarat pääsivät sulautumaan toisiinsa, luoden tasaisen ja yhtenäisen pinnan. Lämmitetylle silikonipinnalle ruiskutetusta pinnoitteesta tuli paremmin kulutusta kestävä, kuin huoneen lämpöiselle koekappaleelle ruiskutetusta ja ruiskuttamisen jälkeen kypsytetystä koekappaleesta.

3.2.2 Pinnoitteen siveleminen

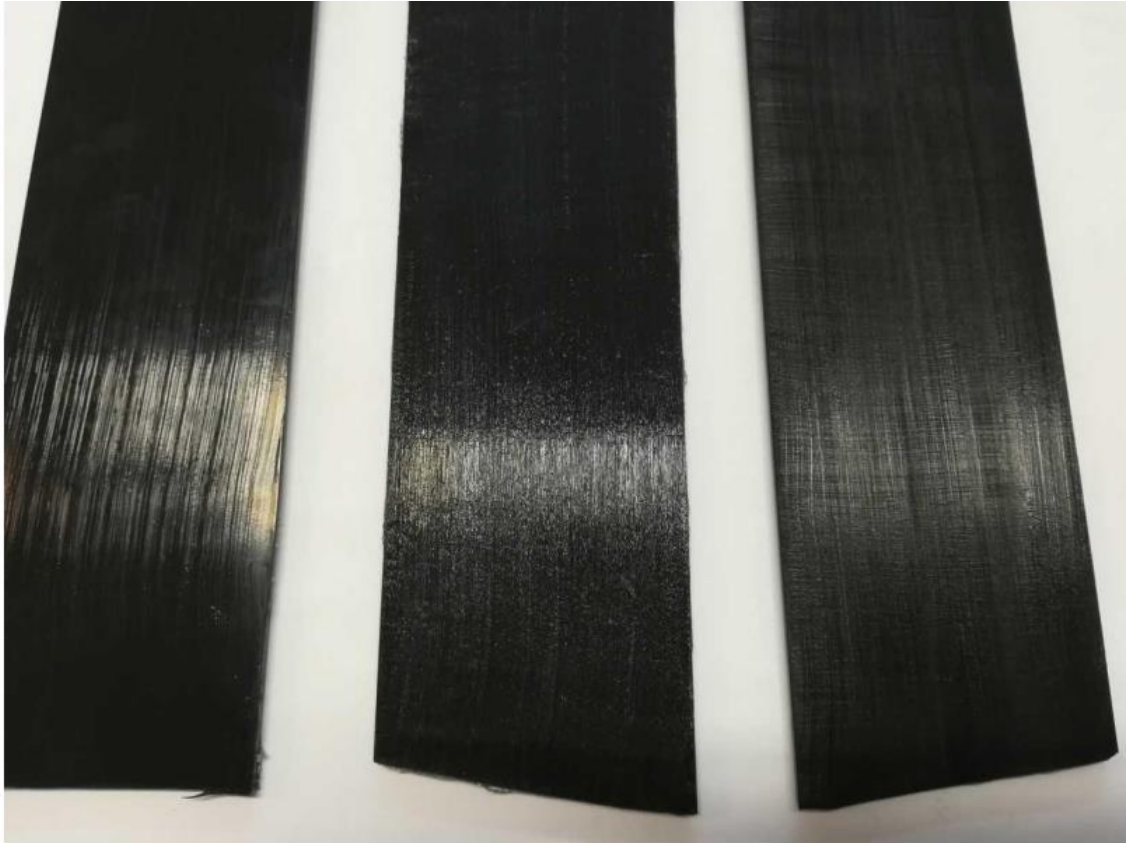
Kaikkia pinnoitteita ei sivelty. Pinnoite jätettiin siveilykokeen ulkopuolelle, jos pinnoitteen valmistaja oli rajannut pinnoittamisen ainoastaan ruiskulla tehtäväksi. Yksi pinnoitteista oli niin paksu, että pinnoitteen siveily oli ainoa toimiva vaihtoehto.

Kaikkia siveläviä pinnoitteita levitettiin harjaksettomalla vaahtomuovisiveltimellä ja harjaksellisella mohairliinalla. Kummallakin siveltimellä oli oma ominaisjälkensä. Mohairliinan harjakset loivat pinnoitteeseen selkeät ja teräväreunaiset urat. Vaahtomuovisiveltimen pinnoitteeseen jättämät urat olivat harvemmassa.

Paras pinta syntyi ristikkäisillä sivelyillä. Ensin pinnoitetta siveltiin koekappaleen pituussuunnassa. Seuraavaksi siveltimestä pinnoitteeseen syntyneet pituussuuntaiset jäljet tasattiin kappaleen leveysuuntaisiin sivelyin. Lopuksi pinta tasattiin toisella pituussuuntaisella sivelykierrolla. Pinnoitteeseen jäi ristiin sivelemällä heikommat sivelyjäljet, kuin kappaleen pituussuuntaisiin sivelyin. Ristiin siveleminen tasaa pitkittäissuuntaisesta sivelystä syntyneitä uria.

Pinnasta syntyi ristiin sivelemällä liukkaampi tasaisemman pinnan vuoksi. Sivellyistä pinnoista ei tullut kauttaaltaan tasapaksua ja pinnoitteeseen jäi helposti aukkoja. Paremmasta pinnanlaadusta huolimatta työtapa pudotettiin vaihtoehtojen joukosta. Ristiin sivelemisen automatisointi todettiin mahdottomaksi.

Yhdensuuntainen sively olisi automatisoitavissa. Sivellin kastettiin pinnoitteeseen ja koekappale pinnoitettiin pituussuuntaisiin sivelyin. Pinnoitteeseen jäi selvät sivelysuuntaiset urat. Urista tuli ristiin sivelyjä koekappaleita syvemmät pinnoitteesta riippumatta. Syvät yhdensuuntaiset urat nostavat urien vastaisten liikkeiden liikekitkaa. Eri sivelytekniikoilla pinnoitettuja kappaleita esitellään kuvassa 1.



KUVA 1. Kolme pinnoitteella siveltyä koekappaletta. Vasemmanpuoleinen kappale on sivelty ainoastaan pituussuunnassa vaahtomuovisivellintä käyttäen. Keskimmäinen kappale on sivelty pituussuunnassa mohairliinalla. Oikeanpuoleisin kappale on sivelty mohairliinalla ristikkäisin sivelysuunnin

Myös pinnoitteessa uittamisen ja sivelemisen yhdistelmää kokeiltiin. Koekappale uitettiin pinnoitealtaassa ja syötettiin kahden pyörivän telan lomitse. Teloille rakennettiin kokeellinen pidin vanerilevystä. Telat kiinnitettiin pitimeen kierretangosta valmistetuin läpiakselein ja akselit sidottiin toisiinsa kahdella kuminauhalla, jotka asennettiin pitimen vastakkaisille puolille. Levyihin leikattiin urat ylemmän telan pystysuuntaista liikettä varten. Alempi akseli kiristettiin porakoneen istukkaan, ja ylempi akseli pyöri alemman akselin tahdissa kuminauhan välityksellä. Kuminauha salli ylemmän telan nousemisen ja puristi telojen läpi syötettävän koekappaleen telojen väliin (kuva 2).



KUVA 2. Akseleistaan vaneriseen telineeseen kiinnitetyt telat

Karvapintaisista teloista irtosi karvoja pinnoitteeseen. Pinnoitteeseen tarttuvat karvat pilasivat pinnoitteen. Vaahtomuovitelat toimivat paremmin pinnoittamisessa.

Koeprofilin työntäminen telojen pyörimissuuntaa vasten johti parhaaseen lopputuloksen. Pinnoitteen paksuuden säätäminen ei teloilla onnistunut. Telat oli vaihdettava usein kulumisen takia. Pinnoitteen tasaista laatua oli vaikea taata. Telan pyörimisvaiheet erottuivat pinnoitteesta, elleivät telat olleet sotkeutuneet pinnoitteeseen tasaisesti. Teloilla pyyhkiminen todettiin liian epämääräiseksi työtavaksi. Pinnoitustuloksen laadunvaihtelu oli suurta yhdenkin koe-erän sisällä.

3.2.3 Pinnoitteessa uittaminen

Pitkiä koeprofilin pätkiä uitettiin pinnoitteella täytetyssä altaassa. Kaikille uittokokeille yhteisenä ongelmana todettiin pinnoitteiden valumat. Koekappaleiden pinnalle jäi ylimääräistä pinnoitetta, joka valui pisaroina koekappaleiden pinnoilla.

Valumien välttäminen todettiin mahdottomaksi. Valuneen pinnoitteen korjaaminen ei ollut mahdollista. Myös pinnoitteen paksuus vaihteli, eikä pinnoitteen paksuus ollut säädettävissä. Joidenkin profiilien kourumainen muoto aiheuttaisi myös pinnoitekerääntymiä profiilin muotoihin ja ylimääräinen pinnoite kulkeutuisi profiilin matkassa kauas tuotantolinjaa pitkin. Pinnoittaminen pinnoitteessa uittamalla todettiin työtapana käyttökelvottomaksi.

3.2.4 Vaihtoehtoiset pintakäsittelyt

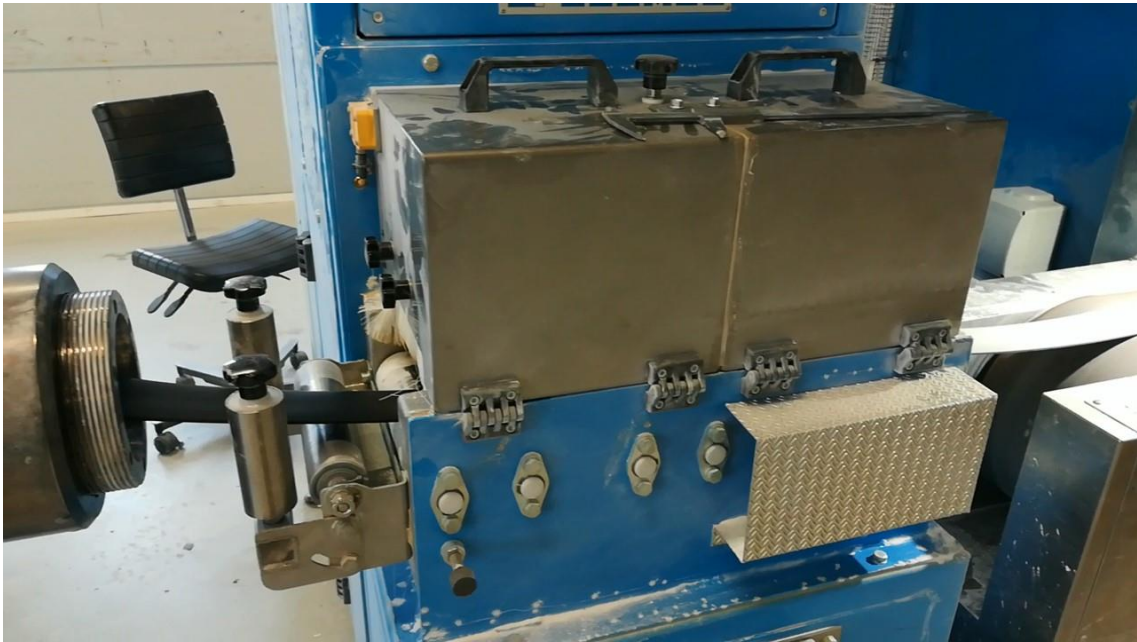
Varsinaisien pinnoitteiden lisäksi kokeiltiin PTFE-ruiskeen ja talkin käyttämistä pintakäsittelyinä. PTFE, eli polytetrafluorieteeni on liukas polymeeri, mikä tunnetaan myös kauppanimellä 'teflon' (7, s. 103). PTFE-ruiske ruiskutettiin puhtaalle silikonipinnalle ja koekappale laitettiin pinnoitettuna uuniin kypsymään. PTFE-ruiske osoittautui huonosti silikonipintaan tarttuvaksi.

Plasmakäsittelyn vaikutusta silikonin ja PTFE:n yhteen sitomisessa kokeiltiin. Koekappale syötettiin plasmasuuttimien alitse (kuva 3). PTFE ruiskutettiin plasmakäsittelylle pinnalle. PTFE:llä pinnoitetut koekappaleet laitettiin uuniin kypsymään. Plasmakäsittelylle silikonipinnalle ruiskutettu PTFE tarttui paremmin. PTFE irtosi liian helposti koekappaleen pinnasta pinnoitteena käytettäväksi.



KUVA 3. Plasmalaitteisto käyttökunnossa. Plasmasuuttimet ovat kuvan etualalla

Talkkia on käytetty silikoniprofiilien pinnalla profiilin itseensä tarttumisen ehkäisemiseen. Talkki tarttuu silikonipintaa ja peittää silikonin tahmaisuuden. Aikaisemmissa kokeissa havaittiin talkin tarttuvan silikonipintaan kuumakäsittelyllä. Talkitsemista päätettiin kokeilla ennen silikonimateriaalin vulkanointia. Kokeessa käytettiin teollista puuterointilaitetta. Puuterointilaitte sijoitettiin suulakepuristimen ja vulkanointiuunin väliin (kuva 4).



KUVA 4. Puuterointilaitte suulakepuristimen ja vulkanointiuunin välissä. Vasemmalta saapuu juuri puristettu silikoniprofiili ja oikealla talkittu profiili jatkaa vulkanointiuunin kuljettimelle

Suulakepuristimella valmistettiin silikoniprofiilia ja puristettu profiili talkittiin ennen profiilin vulkanointia vulkanointiuunissa. Eri talkitsemiskoneen säätöjä kokeiltiin. Talkin todettiin tarttuvan silikonipinnalle. Talkitun profiilin pinnasta tuli liukas ja pinnanlaadusta tuli talkitsemattomana vulkanoitua profiilia parempi. Vulkanointiuunin kuljetinhihnan kuvio erottuu talkitsemattomalla profiililla. Vulkanointiuunin kuljetinhihnan kuviota ei painautunut lattaprofiilin pintaan ennen vulkanointia talkitulla profiililla. Silikoniprofiilin pinnalle jäi irtainta talkkia. Profiilin pinnalle tarttunut talkkipinta paljastui irtotalkkikerroksen alta. Puuterointilaitteen pääteltiin syöttävän liikaa talkkia (kuva 5).



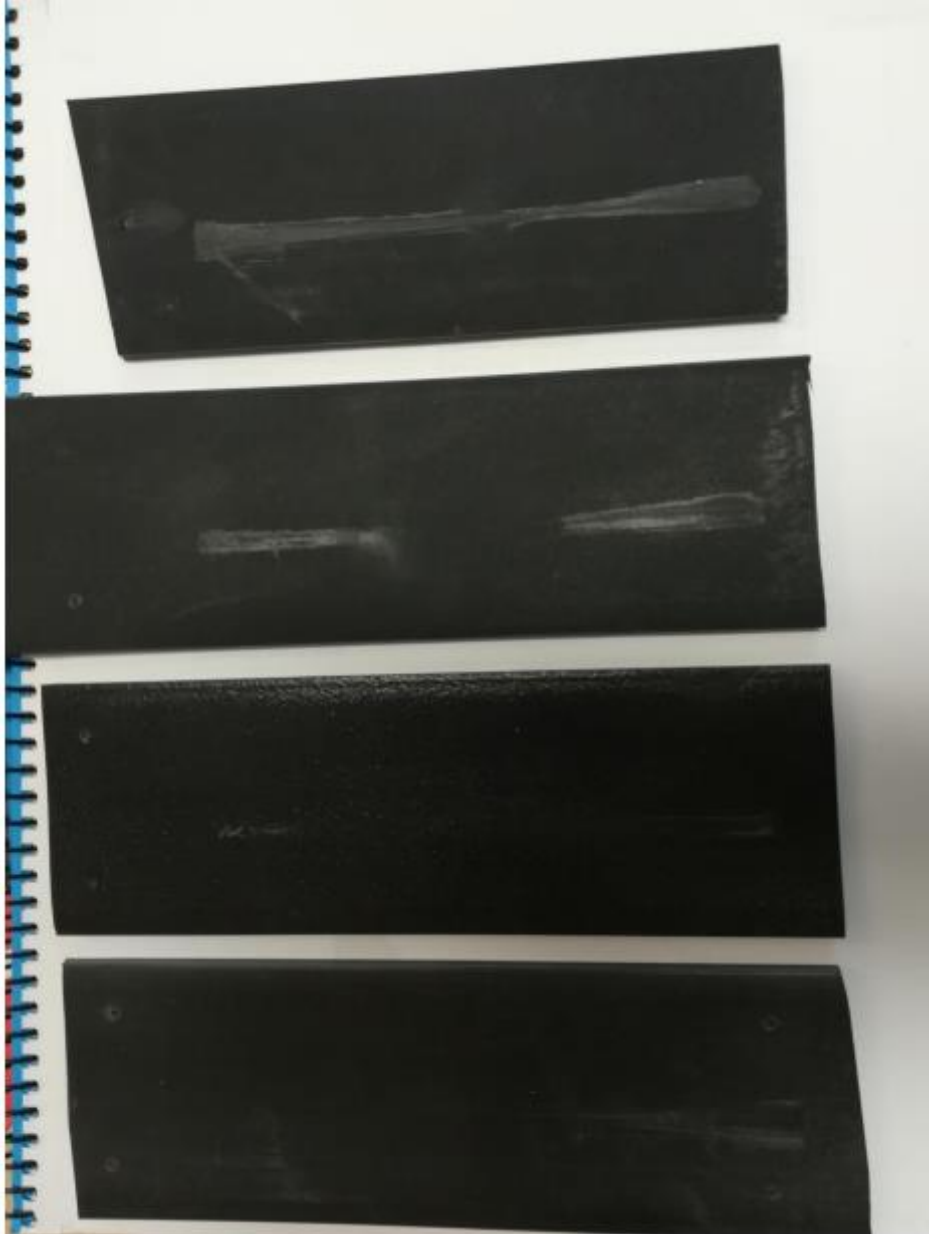
KUVA 5. Talkittu silikoniprofiili. Profiilin pinnalle on jäänyt irtainta talkkia

Pinnoitustesteistä tehtiin selostukset myöhempää käyttöä varten. Arvioinnissa huomioitiin pinnanlaatu. Selkeästi epätasaiset ja epäsiistit pinnoitteet karsittiin. Seuraavaksi arvioitiin pinnoitteen kestävyttä ja tarttuvuutta silikonipinnalla. Koepaloja taivutettiin, vedettiin ja puristettiin eri suunnista. Koekappale halkeilevalla tai pinnasta irtoavalla pinnoitteella karsiutui. Halkeileva pinnoite ei ollut tarpeeksi joustava kumiprofiilien pinnoittamiseen. Silikonipinnasta irtoavalla pinnoitteella oli liian heikko sidos pohjamateriaalin kanssa.

3.3 Kulutuskokeet

Pintojen kulutuskestävyyttä testattiin kulutuskäyttöön kehitellyllä kulutuslaitteella. Laite hioi koekappaleen pintaa alumiinista sorvatulla karalla. Koekappaleet asetettiin puristuksiin karan ja kulutuslaitteen alustan väliin. Pinnoitteiden kulutuskestävyyttä arvioitiin jäljelle jääneen pinnoitteen pinta-alana.

Kulutuskokeisiin valittiin pinnoituskokeiden parhaat koepalat. Jotkut pinnat kuluivat pois ennen 10 000 toistoa. Tällöin koe keskeytettiin ja koepala hylättiin. Joillain koepaloilla toistomäärä asetettiin pienemmäksi välitarkastuksia varten ja 10 000 toistoon edettiin vaiheittain (kuva 6).



KUVA 6. Joitain kulutuskokeessa käytettyjä koekappaleita. Karan jälki näkyy vaalenemina koekappaleiden pinnalla

3.4 Pinnoitustestien lopputulokset

Pinnoitustavaksi valikoitui ruiskuttaminen. Ruiskuttaminen loi parhaan ja tasalaatuisimman pinnanlaadun. Pinnoitteen paksuus oli säädettävissä kumiprofilin liikenopeutta ja ruiskutettavan pinnoitteen syöttömäärää muuttamalla. Pinnanlaatuun vaikuttivat kumiprofilin liikenopeus, suuttimen koko ja suuttimen etäisyys ruiskutettavasta kohteesta.

Yksi neljästä pinnoitevaihtoehdosta karsiutui pinnoituskokeiden aikana. Aine oli levitettävissä ainoastaan sivelemällä ja pinnoite halkeili koekappaletta taivutettaessa. Halkeillut pinnoite irtosi silikonipinnasta. Kolme muuta pinnoitetta jatkoivat kulutuskokeeseen. PTFE-suihke ei tarttunut silikonipintaan tarpeeksi voimakkaasti. PTFE-suihkeella pinnoitetut kappaleet jätettiin pois kulutuskokeista. Talkitsemiskokeesta otettu koekappale jatkoi kulutuskokeeseen.

Kulutuskokeessa yksi pinnoite nousi selkeästi esiin kestävyudessa. Kyseisen pinnoitteen ruiskuttaminen oli mahdollista pinnoitteen ohentamisen jälkeen. Ruiskutetuista pinnoista tuli sileät ja yhtenäiset kypsytyksen jälkeen. Pinnoite valittiin pinnoitesuosituksiksi.

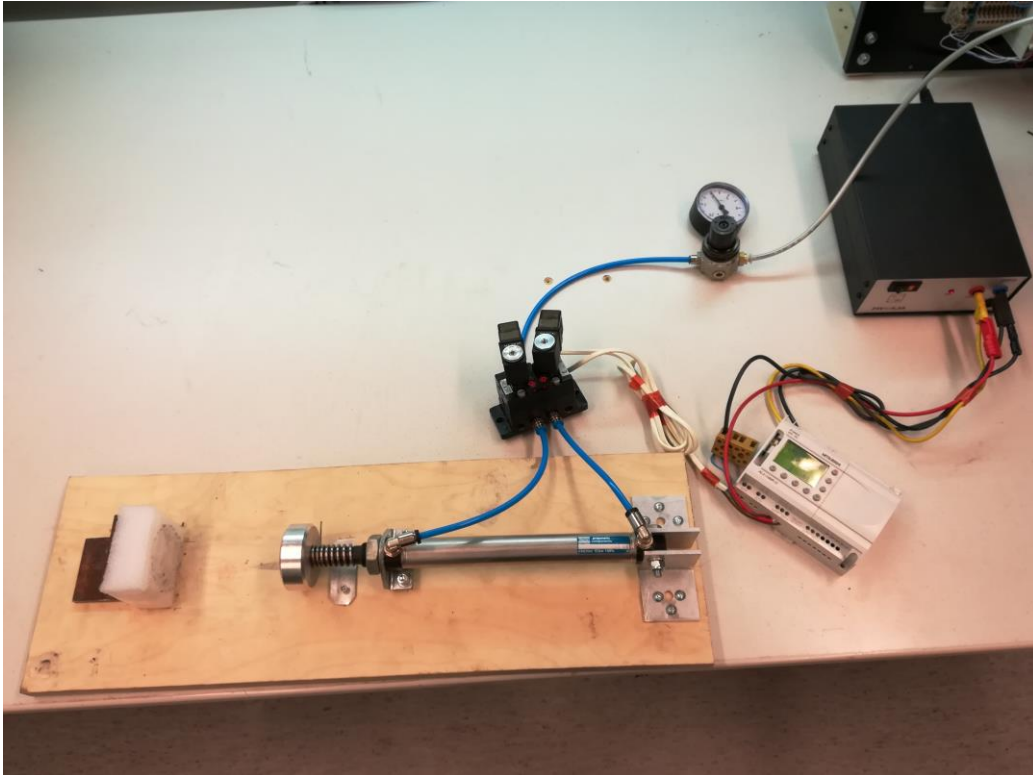
4 KULUTUSLAITE

Kulutuslaitetta käytettiin pinnoitettujen koekappaleiden kulutuskestävyyden arvioimiseen. Laitteen suunnittelulähtökohdaksi otettiin tulosten toistettavuus. Kulutuslaite tekee koekappaleen pintaan toistuvaa hiovaa liikettä vakioarvoin.

Kulutuslaite automatisoitiin. Laitteesta tehtiin niin varmatoiminen, että sen voi jättää tekemään kulutuskoetta valvomatta. Kuluttavien liikkeiden lukumäärä on ainoa muutettava arvo. Kulutuslaite pysähtyy automaattisesti saavutettuaan ennalta asetetun toistojen lukumäärän.

4.1 Kulutuslaitteen rakenne

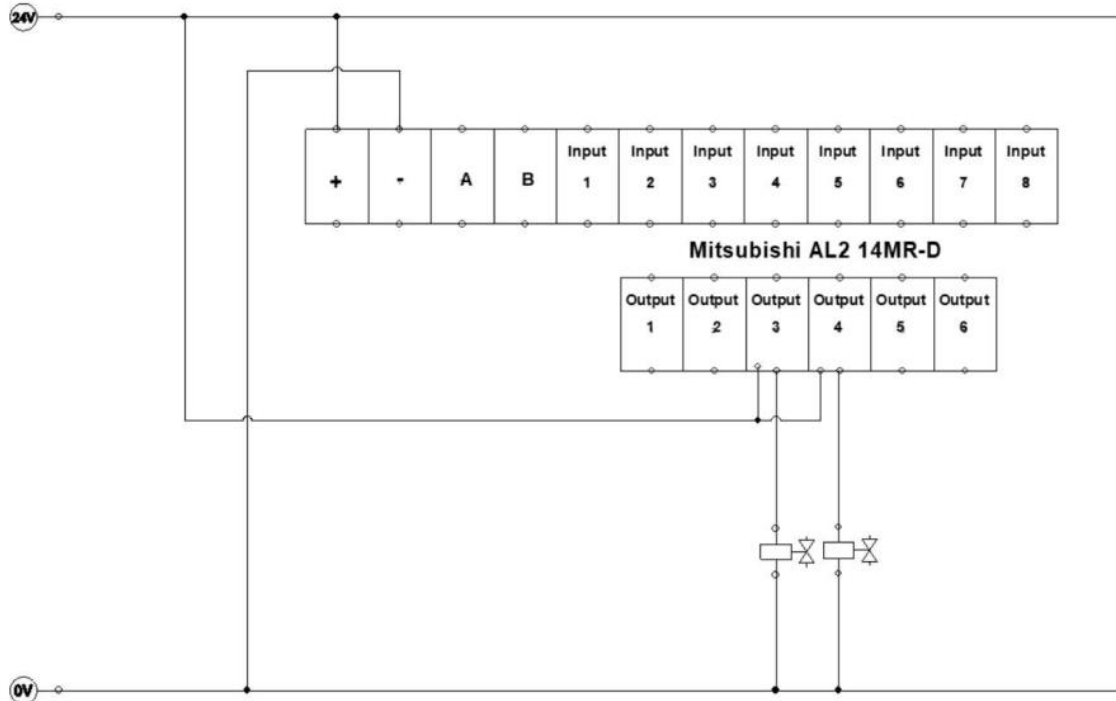
Kulutuslaite rakentui pneumatiikkasyylinteristä, sähköohjatususta suuntaventtiilistä, sylinterin ripustuksesta, alustasta ja Mitsubishi AL2-14MR-D -kontrollerista. Ohjausvirta luotiin 24 VDC:n virtalähteellä. Kontrolleri ohjasi suuntaventtiilin solenoideja logiikan mukaisesti. Männän sylinterin päätyihin hakkautuminen estettiin valmistamalla kumpaakin liikkeen ääripäähän iskunvaimentimet. Kulutuslaitteen osat lainattiin Oulun ammattikorkeakoululta. Laite rakennettiin oppilaitoksen tiloissa (kuva 7).



KUVA 7. Kulutuslaite. Kaikki kulutuslaitteen osat ovat kuvassa

4.2 Kulutuslaitteen sähkökytkentä

Kulutuslaiteella ei ole erillistä päävirtapiiriä ja ohjausvirtapiiriä. Kontrolleri ja suuntaventtiili käyttävät 24 VDC:n jännitettä. Kontrollerin toimintaa ohjattiin kontrollerin omilla painikkeilla. Ulkoisia kytkimiä ja säätimiä ei käytetty Suuntaventtiilin toimintaa ohjattiin kahdella kontrollerin releellä. Kontrolleri jaksotti releiden kiinniolo-aikaa (kuva 8).

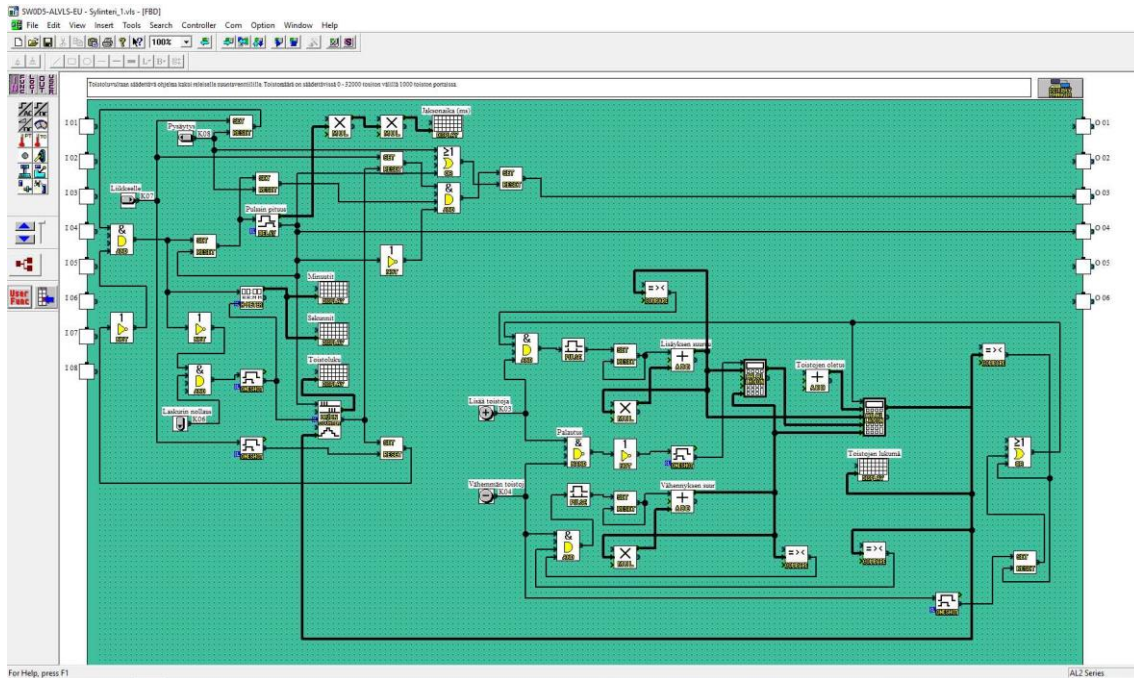


KUVA 8. Kulutuslaitteen sähkökytkentä. Kontrolleri ohjaa sähkövirran jakoa suuntaventtiilin solenoidien välillä

4.3 Kulutuslaitteen logiikka

Kulutuslaitetta ohjaava Mitsubishi AL2-14MR-D -kontrolleri kuuluu Mitsubishiin α2-sarjaan. Sarjan kontrollerit käyttävät Mitsubishi α2 -logiikkaa. Logiikan toiminta esitetään toimintalohkokaavion muodossa. (8, s. 1-1.)

Kontrollerille tehty logiikka ohjasi sähkövirtaa kahden kontrollerin releen välillä (kuva 9). Reset-funktio katkoi releiden aukioloa yhdessä Delay-funktion kanssa. Delay-funktion viiveellä säädettiin katkojen pituutta. Releet ohjattiin sukeutumaan vuorotahtiin lisäämällä toiselle releelle menevälle käskylle NOT-funktio. Näin ensimmäiselle releelle menevän toiminnon aikana toinen rele noudattaa vastakkaista toimintaa. Ensimmäisen releen ollessa kiinni, toinen rele on auki. Tämä järjestely mahdollisti kulutuslaitteen ohjaamisen sähköohjatulla suuntaventtiilillä.



KUVA 9. Kulutuslaitteen kontrollerille tehty logiikka. Logiikan perustoiminnot ovat kuvan vasemmassa ylänurkassa. Toistojen lukumäärän säädön osuus on kuvan oikeassa alanurkassa

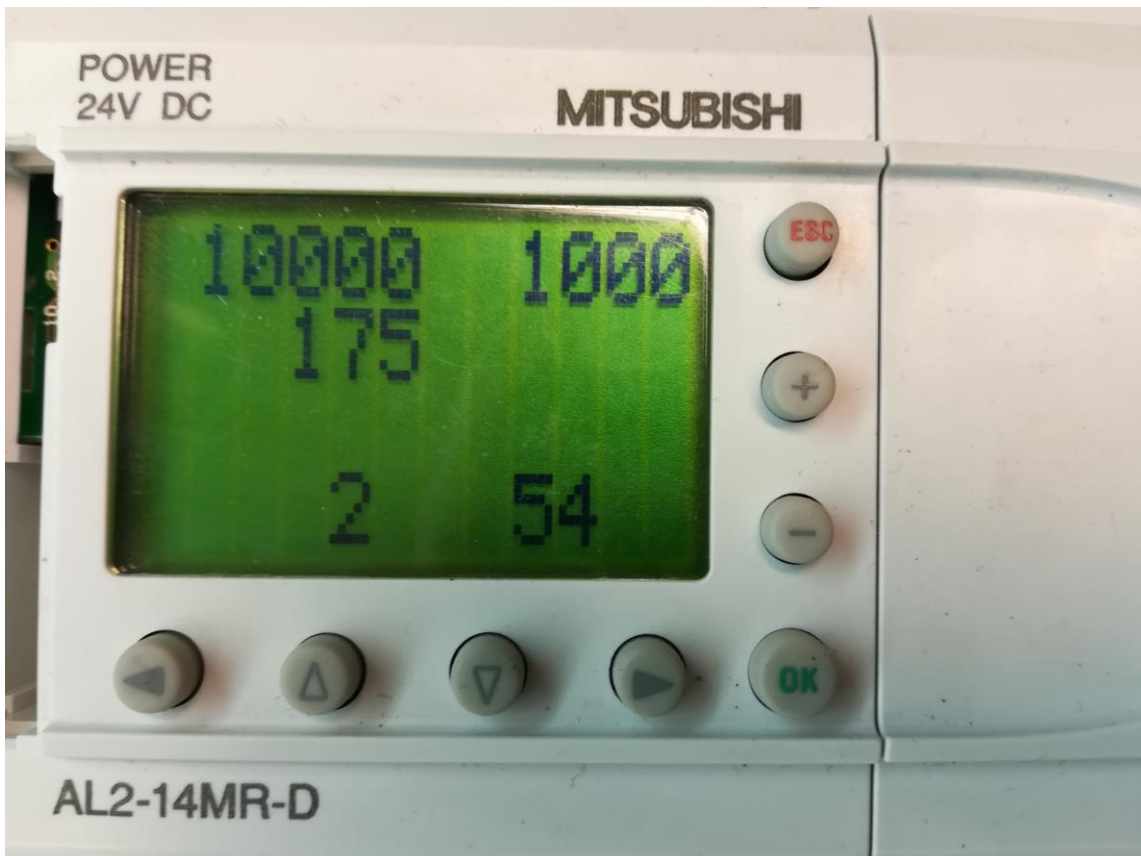
Logiikkaan lisättiin toimintaa rajoittavia ehtoja. Logiikka jätti toisen releen kiinni ohjelma pysäytetynä, mikä aiheutti suuntaventtiilin toisen solenoidin kuumenemisen. Logiikkaan lisättiin ehtoja, joilla kontrollerin releet pysyvät auki, kun ohjelma ei ole käynnissä.

Logiikkaan lisättiin toistojen lukumäärää laskeva laskuri. Laskurin toistojen määrää asetettiin aliohjelmalla. Laskuri pysäytti ohjelman aliohjelmassa asetetun toistojen lukumäärän tullessa täyteen. Laskurin toistojen lukumäärän oletusluvuksi asetettiin 10 000 toistoa. Laskuriin asetettujen toistojen lukumäärän voi palauttaa nopeasti takaisin oletusasetukseen painamalla toistojen lukumäärää nostavaa painiketta ja toistojen lukumäärää laskevaa painiketta pohjassa saman aikaisesti. Kulutuskokeen keskeyttäminen ja laskurin nollaaminen ja tehtiin mahdolliseksi. Nollaaminen vaatii ohjelman pysäyttämisen. Laskurin tahaton nollaaminen kesken ohjelman juoksemisen tehtiin näin mahdolliseksi.

Logiikkaan lisättiin ohjelman juoksuajan kertova kello. Kello käynnistyy ohjelman käynnistyessä ja pysähtyy ohjelman pysähtyessä. Kello ilmoittaa kuluneet täydet minuutit ja sekunnit omilla sarakkeilla. Kello nollaantuu laskurin nollantuessa.

Kontrollerille tehtiin käyttöliittymä. Käyttöliittymä mahdollistaa ohjelman hallisemisen ilman tietokoneeseen kytkemistä. Myös ulkoisien kytkimien käyttämiseltä vältyttiin. Ohjelman käynnistäminen ja pysäyttäminen tapahtui kontrollerin omilla painikkeilla. Myös ohjelman nollaaminen ja toistojen lukumäärän säätäminen asetettiin kontrollerin painikkeisiin.

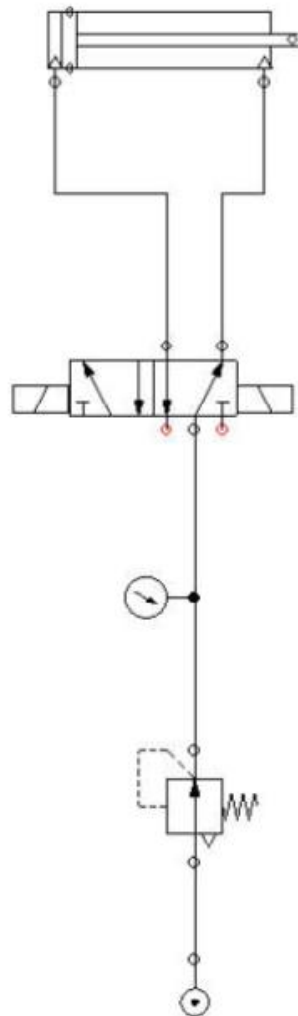
Kontrollerin näytöllä ilmoitettiin ohjelman perustiedot. Ensimmäisellä näyttörivillä ilmoitettiin ohjelmaan asetettujen toistojen lukumäärä ja karan liikkeen jaksonaika millisekunteina (ms). Näytön toisella rivillä näytettiin tehtyjen toistojen lukumäärä. Kolmannella rivillä näytettiin kulutustyöhön käytetty aika ohjelman käynnistämisestä. Rivin ensimmäinen luku ilmoittaa kuluneet minuutit, seuraava luku ilmoittaa kuluneet sekunnit (kuva 10).



KUVA 10. Kontrollerin näytön asettelu. Ylimmällä rivillä näkyvät tavoitetoistoluku ja kulutusliikkeen jaksonaika. Toisella rivillä ilmoitetaan tehtyjen toistojen lukumäärä ohjelman aloittamisesta. Alimmalla rivillä ilmoitetaan ohjelman kuluttama aika täysinä minuutteina ja sekunteina

4.4 Kulutuslaitteen pneumaattinen järjestelmä

Kulutuslaitteen käyttövoima otettiin tehtaan paineilmaverkosta. Tehtaan paineilmaverkosta saatiin suodatettua ilmaa. Kulutuslaitteen paineilmajärjestelmään ei lisätty erillisiä ilmansuodattimia. Paineilmalinjat johdettiin kaksitoimisen sylinterin päihin. Männän liikettä ohjattiin sähköohjatulla kaksiasentoisella suuntaventtiilillä. Logiikka ohjasi suuntaventtiilin luistia ääriasennosta toiseen logiikkaan asetetun jakson mukaisesti (kuva 11).



KUVA 11. Kulutuslaitteen pneumaattinen kytkentä

Karan koekappaleen pintaan kohdistaman hiertävän voiman suuruus säädettiin paineenrajoitusventtiilillä. Kulutuslaitteen paineilmajärjestelmässä käytettiin 6 mm:n paineilmaletkua yleisen kokonsa ja helpon sovitettavuuden vuoksi. 4 mm:n paineilmaletku olisi riittänyt virtausmäärän puolesta. Mäntä kykeni 5 Hz jaksonaikoihin koko sylinterin mittaisella liikeradalla.

4.5 Kulutuslaitteen säädöt

Hiomaliikkeiden toistojen oletuslukumääräksi asetettiin 10 000 toistoa. Hiomaliikkeen jaksonaika asetettiin yhteen sekuntiin, koekappaleen lämpenemisen rajoittamiseksi. Paineilmasyliin johdettu paine oli 2 bar. Karan liikepituus oli 15 cm.

Toistojen lukumäärä ja koekappaleen pintaa painava voima oli asetettu niin, ettei kaikki pinnoite kuluisi pois koekappaleelta. Koekappaleeseen kohdistuvaa painavaa voimaa ei mitattu. Kulutuslaitteen säätöjä ei muutettu kokeiden välissä. Kulutuskokeiden lopputuloksista tuli keskenään vertailukelpoiset.

5 PINNOITUSLAITTEISTO

Projektiin kuului pinnoitevalinnan lisäksi pinnoituslaitteiston suunnittelu. Markkinoilta ei löytynyt valmiita kumiprofiilin pinnoittamiseen soveltuvia laitteita. Aluksi pohdittiin pinnoitusprosessin liitämistä osaksi silikoniprofiilin valmistusprosessia. Pinnoituslaitteisto olisi voitu sijoittaa suulakepuristimen ja vulkanointiuunin väliin. Tämä järjestely todettiin huonoksi kompromissiksi. Silikonin vulkanointiin vaadittava lämpökäsittely ja pinnoitteen kypsyttävä lämpökäsittely eivät aina käy samoilla lämpötiloilla.

Pinnoitusprosessille päätettiin valmistaa oma tuotantolinja. Pinnoitteen kypsyttämiseen tarvittava lämpötila on itsenäisesti säädettävissä. Myös pinnoituslinjaston liikenopeus saadaan käytettävän profiilin ja pinnoitteen mukaan säädettäväksi. Pinnoituslinjan liikenopeus ei ole sidottu suulakepuristimen syöttömäärään ja vulkanointiuunin kuljettimen liikenopeuteen. Eri profiilien vulkanointimisaajat vaihtelevat profiilin poikkileikkauspinta-alan ja profiilin muodon mukaan. Pinnoitteen kypsymisaajat eivät noudata samaa lainalaisuutta.

Pinnoitustavaksi valittiin ruiskuttaminen. Ratkaisuun päädyttiin pinnoitustestien lopputuloksen perusteella. Ruiskuttaminen loi parhaan pinnanlaadun, omasi parhaat säätömahdollisuudet ja mahdollisti jatkuvan tasalaatuisen pinnan luomisen.

Tuotantolinja vaati ruiskulaitteiston lisäksi oman kypsytysuunin ja kuljettimet. Valmiita uuni- ja kuljetinratkaisuja ei löydetty. Pinnoituslaitteiston suunnittelulähtökohdiksi otettiin helppohuoltoisuus, helppokäyttöisyys ja työturvallisuus. Pinnoituslaitteisto suunniteltiin standardiosista. Pinnoituslaitteisto soveltuu usealle eri pinnoitteelle pienin muutoksin ja uudelleen säätämällä.

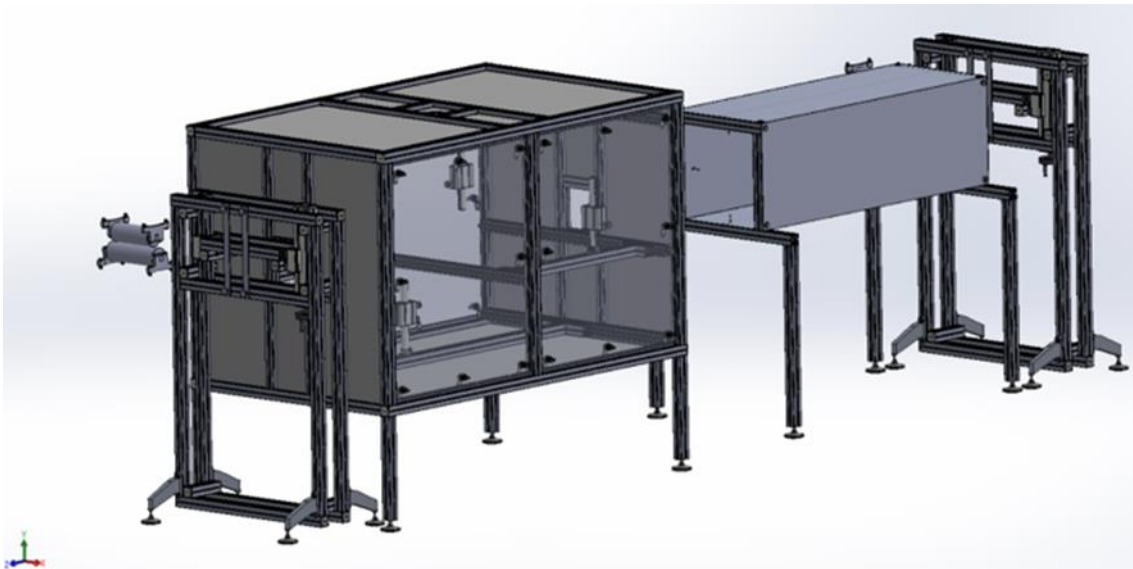
Tuotantolinjan laitteiden rungot suunniteltiin Minitec 45X45F -alumiiniprofiilista. Minitec-alumiiniprofiilit ovat pursotettu EN-AW 6060-alumiiniseoksesta. 45X45F-profiilin kimmokerroin on 70 GPa. Alumiiniprofiilin todettiin riittävän jäykäksi kaikkiin pinnoituslinjaston runkorakenteisiin. (9, s. 22.)

Kaikissa runkoliitoksissa käytetään Minitecin toimittamia ruuviliittimiä. Alumiiniprofiilijärjestelmä valittiin monipuolisuuden, helpon koottavuuden, muokattavuuden ja matalien kustannuksien vuoksi. Runkorakenteisiin ei kohdistu suuria massoja tai kovia iskuja.

5.1 Tuotantolinjan toimintaperiaate

Kumiprofiili asetetaan kahden kuljettimena toimivan paininpyörän väliin. Ensimmäinen paininpyörä asetetaan tuotantolinjan alkuun ja toinen paininpyörä sijoitetaan tuotantolinjan loppuun. Ensimmäinen paininpyörän nostaa kumiprofiilin tuotantolinjalle. Kumiprofiili kulkee tuotantolinjan läpi ruiskukaappiin asennettavien ohjureiden tukemana. Kumiprofiilin tukemattomasta pituudesta pyrittiin tekemään mahdollisimman lyhyt.

Ruiskukaappi ja kypsytysuuni sijoitettiin paininpyörien väliin. Kumiprofiili ajetaan ruiskukaapin lävitse. Pinnoite ruiskutetaan kumiprofiilille ruiskukaapissa. Pinnoitteesta kostea kumiprofiili jatkaa liikettä kypsytysuuniin. Kypsytysuunin läpi ajettu kumiprofiili on kuiva ja jatkaa kulkua pinnoituslinjaston loppuun. Pinnoitteeseen ei jää jälkiä kuljettimista ja kuljettimet eivät sotkeudu pinnoitteeseen. Pinnoituslinja on esitelty kuvassa 12.



KUVA 12. Pinnoituslinjan asetelma. Kuvassa kaksi kuljettimena toimivaa paininpyörää, ruiskukaappi ja kypsytysuuni. Ruiskujärjestelmä, ohjausjärjestelmä ja sähköjärjestelmä eivät ole kuvassa

5.2 Pinnoituslinjaston suunnitleminen

Ruiskukaappi, kypsytysuunin runko ja kuljettimien runko suunniteltiin Dassault Systèmes SolidWorks -mallinnusohjelmalla. Mallintamisessa käytetyt osat ladattiin osavalmistajien omasta arkistosta. Tiedostot olivat saatavissa eri tiedostomuodossa. Formaattien yhteensovittaminen aiheutti ongelmia. Esimerkiksi painin pyörän sovittaminen paininpyörän runkoon ei onnistunut paininpyörän

tuen korkeussäätöön käytettävän kääntöpyörän ollessa stp-muodossa. Pyörät jätettiin mallissa ja piirustuksissa erilleen paininpyörän rungosta. Runkojen ja rakenteiden mitat sovitetiin valittujen komponenttien kanssa.

Jokaisesta osakokonaisuudesta tehtiin kokoonpanopiirustukset. Kaikista kokoonpanon osista tehtiin valmistuspiirustukset. Jokaiselle tuotantolinjan laitteelle tehtiin kokoamisohjeet ja tarvikkeiden hankkimista helpottavat yhteenvedot kustannusarvioineen.

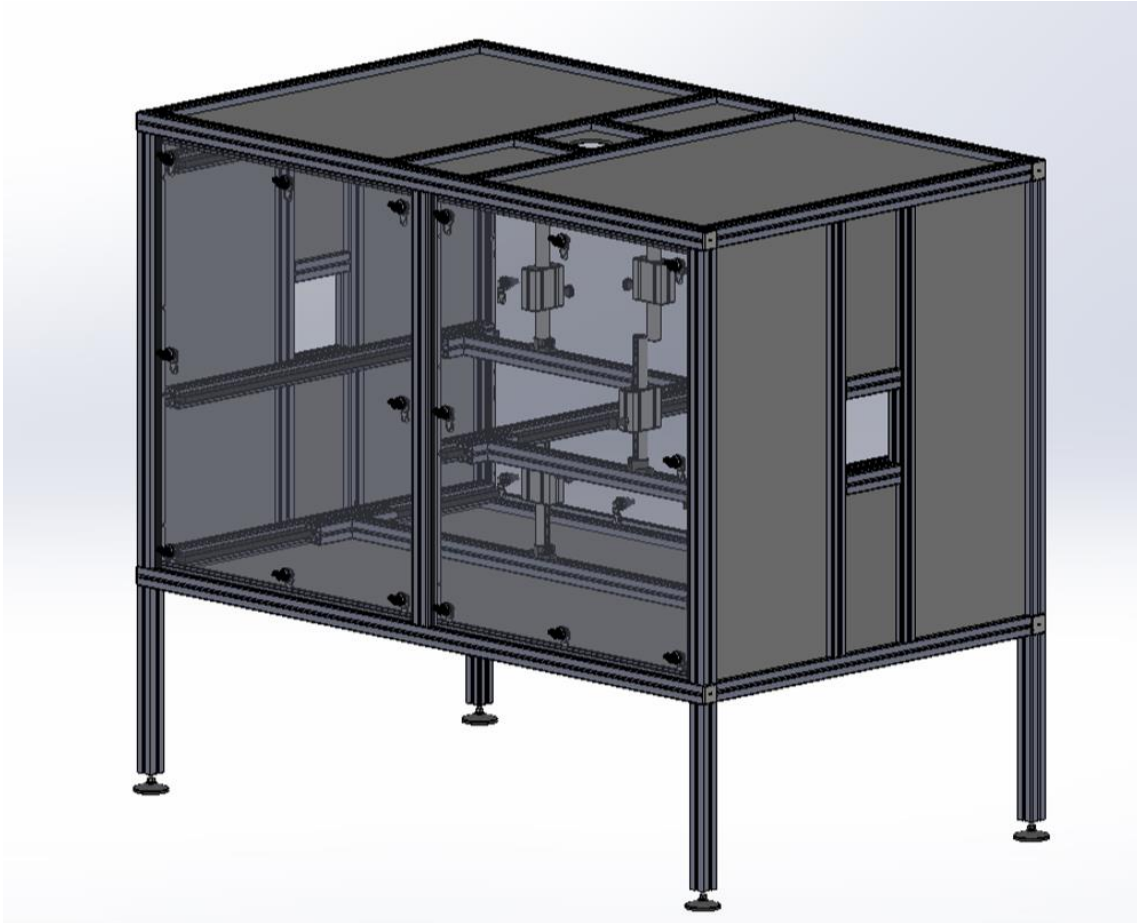
Laitteiden kytkentäkaaviot tehtiin Microsoft Visiolla ja Famic Technologies Automation Studiolla. Kytkentäkaaviot tehtiin tuotantolinjan sähköjärjestelmälle, ohjausjärjestelmälle, pinnoitteen syöttöjärjestelmälle ja paineilmajärjestelmälle. Kytkentäkaavioiden piirtämisen ongelmana oli piirrosohjelmien rajallinen piirrosmerkkien valikoima. Esimerkiksi hätä-seispainike jouduttiin piirtämään normaalina avautuvana kytkimenä. Kytkimien erikoisominaisuudet kirjoitettiin piirrosmerkin yhteyteen.

Ruiskuiksi, ruiskujen syöttölaitteistoksi ja ruiskujen ohjaamiseen tehtiin osavaliinnat. Sähkö- ja ohjausjärjestelmien osat valittiin koko tuotantolinjastolle. Ruiskujen syöttöjärjestelmälle, tuotantolinjan sähkökäytölle ja tuotantolinjan ohjaamiselle tehtiin suunnitelmat.

Automaatiojärjestelmälle luotiin ohjauslogiikka. Logiikkana käytettiin Mitsubishin $\alpha 2$ -logiikkaa. Ohjauslogiikat simuloitiin ja logiikoiden virhetoiminnot ja häiriötilanteet korjattiin. Ohjauslogiikoista tehtiin toimintavalmiit.

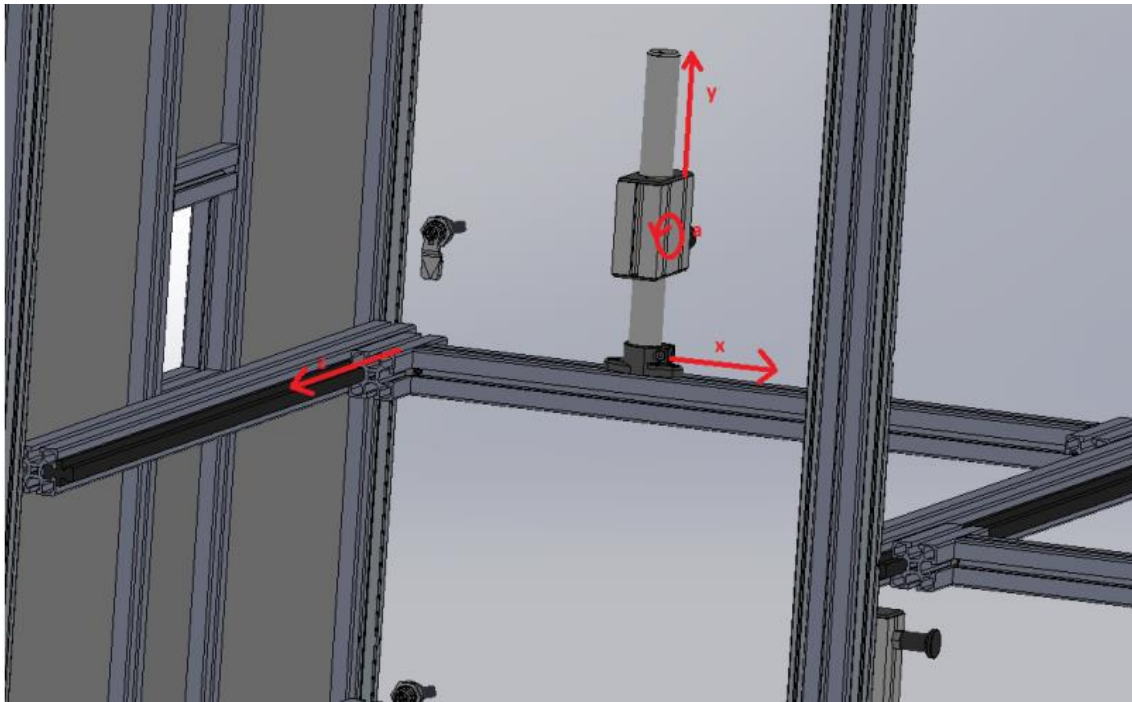
5.3 Ruiskukaappi

Ruiskukaappista suunniteltiin läpiajettava. Ruiskuttamisessa syntyvät kaasut johdetaan ruiskukaappista ulos erillistä ilmanvaihtokanavaa pitkin. Ilmanpoistoa tehostetaan huippuimurilla. Vaihtoilma virtaa ruiskukaappiin kumiprofiilin läpiajamista varten tehtyjen aukkojen kautta. Ruiskukaapin ja tehdashalliin välinen paine-ero saa vaihtoilman virtaamaan ruiskukaappiin. Ruiskuttamisessa syntyvät höyryt jäävät kaapin sisälle. Kaikki kaapin saumat tiivistetään, jotta vaihtoilman sisään virtaamisesta tulee hallittua. Ilmanpoistokanavan suu sijoitettiin ruiskukaapin kattoon symmetriseen asemaan. Suun sijainnilla pyrittiin vähentämään kaapin sisäisiä ilmavyöryitä (kuva 13).



KUVA 13. Ruiskukaappi. Ruiskujärjestelmä on jätetty pois kuvasta. Ruiskujen säätöjärjestelmä näkyy ruiskukaapin sisällä

Ruiskujen lukumäärää ja asemaa voidaan muuttaa. Ruiskujen asemaa säädetään ruiskukaapin sisälle asennettavien liukukiskojen varaan asetettavilla säätökelkoilla. Ruiskukaapin suunnittelu- lähtökohdaksi otettiin neljän ruiskusuuttimen asentaminen. Neljä ruiskusuutinta sijoitettiin neljään tasoon niin, että pelkistetyn kumiprofiilin kaikki pinnat tulevat pinnoitettua. Säätökelkoihin asennettavat ruiskusuuttimet ovat säädettävissä kolmessa eri tasossa. Ruiskusuuttimien kiertokulma on säädettävissä käytettävästä kiinniketyypistä riippuen (kuva 14).



KUVA 14. Ruiskun säätöjärjestelmän liiketasot ja kiertoakseli

Ruiskukaapin sisämitoiksi tuli 1 x 1 x 1,8 m. Ruiskukaapin sisämitat valittiin ruiskutusetäisyyksien perusteella. Kaapin läpi liikkuvan kumiprofiilin pinnan ja ruiskun etäisyydeksi arvioitiin 15 - 20cm. Ruiskukaapin pituus päätettiin ruiskujen lukumäärän perusteella. Ruiskut asennetaan kaappiin koko kaapin pituudelle. Näin ruiskut eivät altista toisiaan pinnoitesuihkuille. Lisäksi huomioitiin kumiprofiilien kokovaihtelut ja ruiskujen säädölle annettiin lisätilaa.

Ruiskukaappiin suunniteltiin neljä irrotettavaa ikkunaa ruiskujen huoltamista ja säätämistä varten. Ikkunoiden kautta tarkkaillaan myös ruiskujen toimintaa ja arvioidaan suuttimien kohdistamisen onnistumista. Ruiskukaappiin voi kiinnittää ohjureita pitämään kumiprofiilia oikeassa asennossa ja vähentämään profiilin ruiskujen synnyttämässä ilmavirrassa lepattamista. Ohjurit lyhentävät vapaana riippuvan profiilin pituutta. Kumiprofiilin tukemattomasta pituudesta syntyvästä kaaresta tulee lyhyempi. Kumiprofiilin kaarella eteneminen vaikeuttaa profiilin käsittelyä kaikissa pinnoitusprosessin vaiheissa.

Kumiprofiileille tehtyjen läpikulkuaukkojen eteen kiinnitetään aukon kokoa pienentäviä peitelevyjä nostamaan ruiskukaapin sisälle virtaavan ilman painetta. Ilmanpaine-eron kasvattaminen tehostaisi ruiskuttamisessa syntyvien höyryjen pysymistä ruiskukaapin sisällä. Peitelevyjien täytyisi olla samanlaisia, jotta ruiskukaapin sisään virtaava vaihtoilma ei synnytä ilmapyörrettä ruiskukaapin sisällä.

5.3.1 Pinnoitteensyöttö- ja paineilmajärjestelmä

Ruiskujärjestelmästä suunniteltiin yksinkertainen ja helppohuoltoinen. Ruiskusuuttimiksi valittiin paineilmahajoitteinen suutinvaihtoehto. Pinnoite kuljetetaan ruiskusuuttimelle ylipaineella. Käytössä olevien ruiskujen määrää säädetään sulkemalla pinnoite- ja paineilmalinjoja sähköohjatuilla sulku- ja ohjausventtiileillä.

Pinnoitteensyöttöjärjestelmä koostuu painesäiliöstä, neljästä paineilmalla ohjatusta sulkuventtiilistä ja neljästä suuntaventtiilistä. Lisäksi pinnoitteensyöttöjärjestelmä vaatii paineensäätö- ja paineenrajoitusjärjestelmän, suodattimia ja pinnoitelinjoja.

Ruiskutettavan pinnoitteen määrää säädetään muuttamalla pinnoitteensyöttölinjan painetta. Pinnoitemäärän säätäminen matalan viskositeetin pinnoitteille tehdään katkomalla syötettävän pinnoitteen syöttöä sulkuventtiileillä. Pinnoitteen pisaroitumista säädetään muuttamalla paineilmalinjan painetta.

Silikoniprofiilien pinnoitteeksi valitulla aineella on korkea viskositeetti. Pinnoitelinjan sulkuventtiiliksi oli valittava suuren kineettisen viskositeetin kestävä vaihtoehto. Linja paineastiasta sulkuventtiilille on 3/8" ja linja supistetaan 1/4" linjaksi ruiskusuuttimelle. 3/8" läpivirtauskanavalla varustettu järeärakenteinen sulkuventtiili vaatii suuren sähkövirran avautuakseen. Laskelmien mukaan neljä sähköohjattua sulkuventtiiliä veisivät yhtä paljon virtaa, kun koko automaatiojärjestelmä. Ruiskujärjestelmän venttiileitä ohjaavan kontrollerin relekoskettimet kestävät ainoastaan yhden sulkuventtiilin kiinnihitsautumatta.

Pinnoitelinjan sulkuventtiileiksi valittiin edellä mainituista syistä paineilmatoiminen vaihtoehto. Sulkuventtiilit aukeavat 1/8" paineilmakanavaan johdetun paineilman voimalla. Kontrolleri ohjaa pieniä 1/8" suuntaventtiilejä, joilla ilma ohjataan sulkuventtiilien aukaisukanavaan. Pienien suuntaventtiilien sähkövirrankulutus on murto-osa suoraan sähköohjattujen pinnoitelinjan sulkuventtiileihin verrattuna. Kontrollerin koskettimiin voidaan lisätä toinenkin venttiiliryhmä. Ruiskusuuttimien määrää voidaan tarvittaessa kaksinkertaistaa.

Paineilmajärjestelmä toimii pinnoitteensyöttöjärjestelmän rinnalla. Pinnoite pisaroidaan paineilmalla ruiskusuuttimessa. Paineilma johdetaan ruiskusuuttimeen erillistä paineilmalinjaa myöten.

Paineilma johdetaan paineilmajärjestelmään tehtaan paineilmaverkosta. Ruiskujen paineilmajärjestelmä koostuu sulkuventtileistä, paineenrajoittimesta, painemittarista, ilmansuodattimesta ja paineilmaletkusta.

Paineilman syöttämistä ruiskusuuttimille ohjataan suuntaventtileillä. Ruiskusuuttimien ollessa kiinni paineilma ohjataan suuntaventtiilillä ulos paineilmajärjestelmästä. Suuntaventtiilien asema muutetaan kontrollerilla pinnoitteensyöttöjärjestelmän rinnalla.

5.3.2 Ruiskusuuttimien ohjausjärjestelmä

Ruiskujen ohjaaminen tehdään ohjelmoitavaa logiikkaa käyttäen. Ohjaimeksi valittiin Mitsubishi AL2-24MR-D -kontrolleri. Kontrollerilla ohjataan pinnoitteensyöttölinjan ja paineilmalinjan sulkuventtiilejä. Ruiskujärjestelmää käytetään kuljettimien orjana. Ruiskusuuttimet käynnistyvät kuljettimien käynnistyessä ja pysähtyvät kuljettimien pysähtyessä. Ruiskusuuttimien käynnistyminen kuljettimien käynnistyessä estetään tarvittaessa katkaisemalla ohjausvirta tältä väliltä kaksiasentoisella kääntökytkimellä.

Käytössä olevien ruiskusuuttimien lukumäärää säädetään kontrollerin input komennoilla. Yksittäisten ruiskusuuttimien käyttöä hallitaan kääntökytkimillä. Kääntökytkimillä katkaistaan virta ruiskujärjestelmän ohjaamiseen tarkoitetuilta kontrollerin input-porteilta.

Logiikkaan lisättiin viivefunktioita, jotka avaavat paineilmaventtiilit 1 s ennen pinnoitelinjan sulkuventtiiliä ja sulkevat paineilmaventtiilit 1 s pinnoitelinjan sulkuventtiilin sulkeutumisen jälkeen. Toimenpiteellä vältetään ruiskusuuttimien tukkeentuminen.

Logiikkaan tehtiin lisäominaisuuksia. Paineilmalinjan itsenäinen aukaiseminen mahdollistettiin ruiskusuuttimien puhtaana pidon helpottamiseksi. Ruiskusuuttimien paineilmaventtiilit aukeavat itsepalauttavaa kytkintä painamalla. Paineilma virtaa ruiskusuuttimien ilmakeinien lävitse. Paineilma irrottaa pinnoitekertymät ruiskusuuttimien päistä ruiskusuuttimen mallista riippuen.

Logiikka mahdollistaa ruiskujen käyttämisen kuljettimista erillään. Ominaisuutta hyödynnetään ruiskujärjestelmän puhdistamiseen ja ruiskusuuttimien säätöjen hakemiseen. Ruiskujen toimintaa ohjataan kahdella painokytkimellä. Ensimmäinen kytkin käynnistää ruiskut, toinen kytkin sulkee. Kaikki ruiskujärjestelmän ominaisuudet toimivat käsiojauksella.

Kuljettimia ohjaavassa logiikassa on huomioitu ruiskusuuttimien suljettuna pitäminen kuljettimia peruutettaessa. Ominaisuudella estetään pinnoitteen ja paineilman virtaaminen ruiskusuuttimille peruuttamisen aikana.

Logiikkaan tehtiin mahdollisuus ruiskutettavan pinnoitemäärän säätämiseen. Yleensä ruiskutettavan aineen määrää säädetään aineen syöttöpainetta säätämällä. Syöttöpaineen säätäminen muuttaa ruiskukeilan muotoa ja pinnoitustyön jälkeä. Pinnoitteen määrän säätäminen ilman paineiden muutamista on mahdollista katkomalla ruiskusuuttimelle syötettävän pinnoitteen virtaa.

Joidenkin sulkuventtiilien aukaisemiseen ja sulkeutumiseen kuluva aika on 20 ms:n luokka. Katkottu pinnoitesuihku näyttää sivusta seuraavalle yhtenäiseltä suihkulta näin lyhyellä toiminta-ajalla. Ruiskutetun pinnoitteen kokonaismäärästä tulee pienempi. Ruiskutetun pinnoitteen määrä voidaan säätää muuttamalla katkojen pituutta ja lukumäärää aikayksikössä. Esimerkiksi katkoja pinnoitteen syötössä voi olla 8 yhden sekunnin aikana. Ruiskutetun pinnoitteen määrää voidaan säätää tarkasti. Pinnoitteen paksuus on välillisesti säädettävissä.

Sulkuventtiilin aukioloa katkotaan ohjauslogiikkaan kirjoitetulla PWM-funktiolla. Sulkuventtiilit ovat auki yhtäjaksoisesti Duty-% ollessa 100 %. Sulkuventtiilit katkovat pinnoitevirtaa Duty-% laskettaessa.

Pinnoitevirran katkomista voidaan käyttää ohuemmillä pinnoitteilla. Sulkuventtiilit vaihdetaan nopeatoimisempiin ohuella pinnoitteella. Paksulla pinnoitteella käytetään raskarakenteisempia sulkuventtiileitä. Raskarakenteisien sulkuventtiilien toiminta-ajat ovat liian pitkät, jotta pinnoitevirran katkominen olisi järkevää.

Logiikka tiedostaa turvapiirin tilan. Ruiskusuuttimien sulkuventtiilit eivät avaudu turvapiirin katkaisemisen ja uudelleen kytkemisen jälkeen ilman käynnistyskomennon antamista. Ruiskujärjestelmää ohjaava logiikka on liitteenä 1.

5.4 Kypsytysuuni

Uuni suunniteltiin tunnelin muotoon. Kumiprofiilin lämmittämiseen käytetään infrapuna-elementtejä. Infrapunaelementit sijoitettiin kypsytysuunin neljälle sivuseinälle.

Uunin leveys ja korkeus päätettiin infrapunaelementtien valmistajan ilmoittamien parametrien perusteella. Vastakkaisien elementtien välinen etäisyys on kriittinen. Liian lähelle asennetut elementit kuumentavat liikaa toisiaan. Infrapunaelementit voivat rikkoutua niihin kohdistuneesta suuresta lämmöstä. Liian suurella välillä elementtien lämmitysteho kärsii. Myös kumiprofiiliin kuljettimien välissä syntyvä kaari oli huomioitava uunin suunnittelussa.

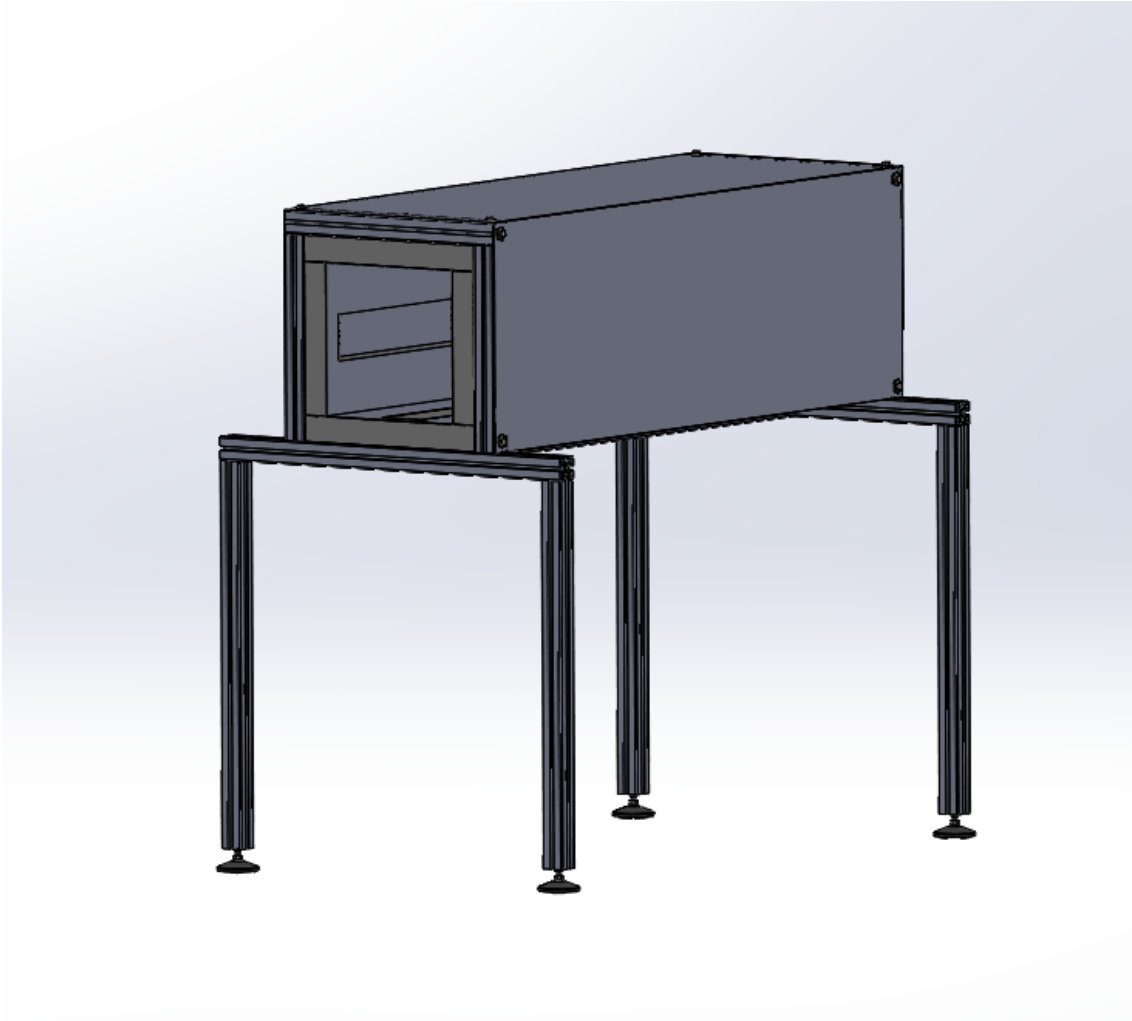
Infrapunaelementtityypiksi valittiin Elstein-Werkin FSR-elementti. Infrapunaelementin kaareva muoto jättää taakseen tuuletustilaa johdoille (10, s. 1). Elementit koteloidaan ja elementtien taakse asennetaan heijastavat levyt. Kotelo keskittää infrapunasäteilyn haluttuun suuntaan. Kaikkien infrapuna-elementtien polttopiste suunnataan uunin keskilinjaa kohti

5.4.1 Kypsytysuunin runko

Kypsytysuunin lopullinen pituus valitaan infrapunaelementeillä tehdyn kokeiden perusteella. Kaikki muut rungon mitat päätettiin runkoa mallinnettaessa.

Kypsytysuunin runkomateriaalina käytetään Minitec-alumiiniprofiilia. Profiileissa käytettävän alumiinin sulamispiste on noin 600 °C. Vaikka uunia käytetään noin 300 °C lämpötiloissa, alumiinin rakenteellinen vahvuus laskee. (11.)

Alumiiniprofiilien kantavuuden varmuusluku on suuri rungon kannattelemalle massalle. Kypsytysuunin runko on suojattu suoralta infrapunasäteilyltä ruostumattomasta teräksestä leikatuilla levyillä ja 50 mm:n kerroksella palovillaa. Teräslevyt heijastavat ja sirottavat infrapunasäteilyä. Teräslevyt kasvattavat uunin tehokkuutta heijastamalla infrapunasäteilyä uunin sisällä. Palovillakerros hidastaa lämmön johtumista uunin runkoon. Kypsytysuunin runko ja lämpösuoja ovat näytillä kuvassa 15.



KUVA 15. Kypsytysuunin runko. Lämpösuojassa on infrapunaelementtien asennusaukot. Kuvassa ei ole infrapunaelementtejä ja sähköjärjestelmää

Uunin ulkopinnat verhottiin teräslevyllä. Ulkopinnan teräslevyt toimivat kosketussuojana ja jäähdytyslevyinä. Levykerrosten välissä on alumiiniprofiilin syvyisiä avoimia ilmataskuja pienentämässä lämpösiirtymää uunin sisä- ja ulkopintojen välillä. Ulkopinnan levyjen saumoista ei tehdä tiivistä, jotta ilma pääsee vaihtumaan ilmataskuissa. Teräslevyjen runkoon lisäämä massa ja suuri pinta-ala vähentävät osaltaan alumiinirungon lämpenemistä. Infrapuna-elementit sammutetaan aina, kun tuotanto ei pyöri.

Alumiini lämpölaajenee noin kaksi kertaa terästä voimakkaammin (12, s. 165). Teräslevyt eivät vastusta alumiinirungon lämpölaajenemista. Kaikki teräslevyjen kiinnitysruuvit asennetaan alumiiniprofiilien uriin ja mahdollistavat teräs- ja alumiiniosien erillisen lämpölaajenemisen. Uunin ympärillä oleva alumiinikehikko lämpölaajenee, antaen tilaa uunin sisälle asennettujen teräslevyjen lämpölaajenemiselle.

Kypsytysuunin runkoon ei kiinnitetty mitään helposti syttyvää. Alumiiniprofilien päät jätetään peittämättä. Ainoastaan kypsytysuunia kannattelevat tassut sisältävät muovia.

5.4.2 Kypsytysuunin lämmönsäätöjärjestelmä

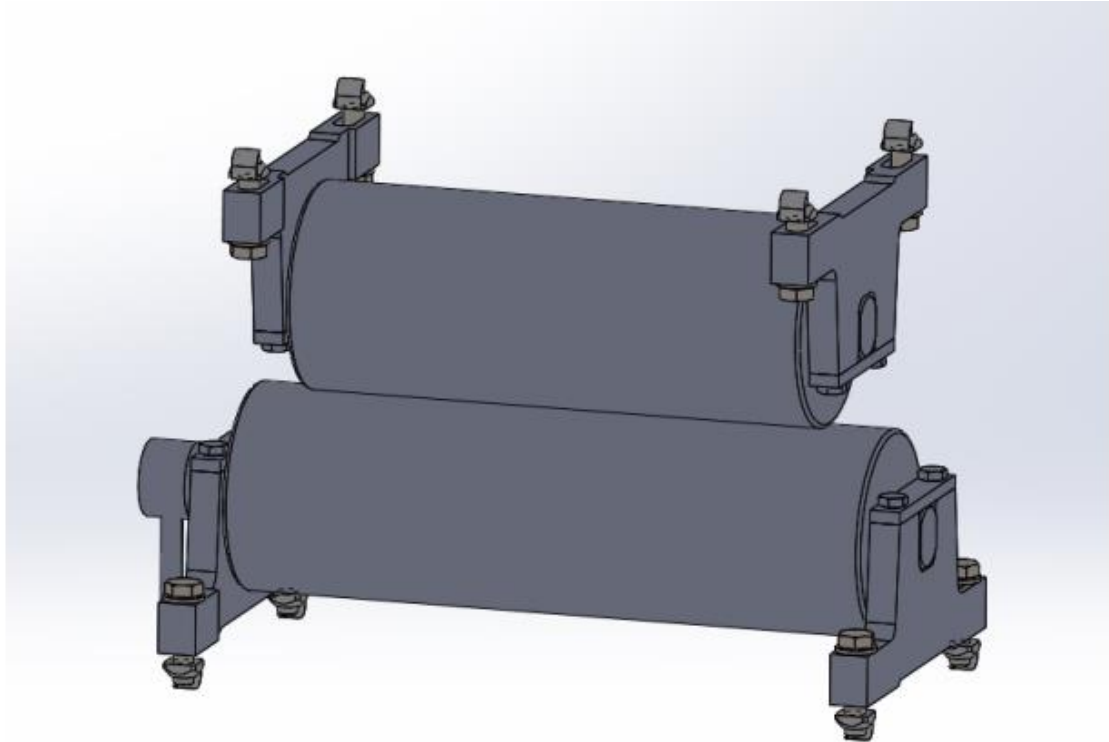
Infrapunaelementtien tehoa voidaan säätää infrapunaelementtien valmistajan valikoimasta löytyvällä lämpötilan säätöjärjestelmällä. Infrapunaelementtien lämpötilaa rajoitetaan elementtien kestävyuden takaamiseksi. Liian matala kypsytylämpötila ei kypsytä pinnoitetta kumiprofiilin kulkiessa uunin lävitse. Liian korkea kypsytylämpötila polttaisi pinnoitteen.

Infrapunaelementtien valmistaja toimittaa infrapunaelementtien ohjaamiseen suunnitellun kontrollerin. Kontrolleri ottaa toimintavirtansa 230 V:n verkkovirrasta. Uunin lämpötilan säätäminen perustuu uunin sisälle sijoitettavaan lämpöpariin. Lämpöparilta saatava mittausero ohjataan kontrollerille ja kontrolleri, joka säätää infrapunaelementtien tehoa. Logiikka pyrkii säätämään uunin lämpötilaa kohti annettua referenssi-arvoa infrapunaelementtien tehoa säätämällä. Kontrollerin ja kypsytysuunin välille syntyy suljettu säätöpiiri. (13, s. 2.)

5.5 Kuljettimet

Tuotantolinjalle sopiviksi kuljettimiksi ei ollut valmista kaupallista ratkaisua. Kumiprofiilin taipuisuuden ja joustavuuden takia päädyttiin paininpyörä-tyyppiseen kuljetinratkaisuun. Tuotantolinjaston kuljettimina käytetään kahta moottoroitua paininpyörää. Ensimmäinen paininpyörä nostaa kumiprofiilin tuotantolinjalle, jälkimmäinen tukee kumiprofiilia tuotantolinjan loppupäässä ja poistaa kumiprofiilin tuotantolinjalta.

Kummankin paininpyörän alempana pyöränä toimii rumpumoottori (kuva 16). Rumpumoottorin käyttöön päädyttiin järjestelyn yksinkertaisuuden vuoksi. Erillinen moottori olisi vaatinut ulkoisen voimansiirron alemmalle rullalle. Ulkoinen voimansiirto tekisi paininpyörästä rakenteellisesti kookkaamman ja mekaniikaltaan monimutkaisemman. Ulkoinen voimansiirto olisi vaatinut myös koteloinnin ollakseen käyttöturvallinen.



KUVA 16. Paininpyörän pyörät kiinnityskorviin kiinnitettynä. Alempana pyöränä käytetään rumpu-moottoria

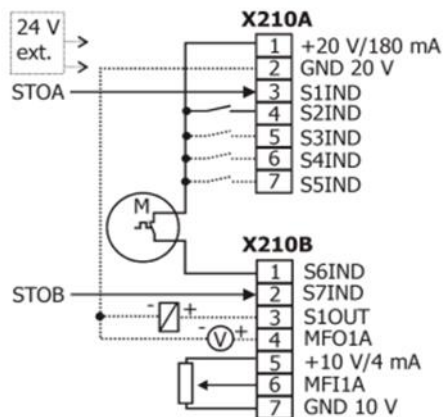
Paininpyörien tulee pyöriä samaa nopeutta pitääkseen tuotantolinjalla ajettavan kumiprofiilin kireällä. Eri nopeutta pyörivät paininpyörät muuttavat pinnoituslinjalla ajettavan kumiprofiilin kireyttä. Kumiprofiili joutuu venytyksen alaiseksi tai menettää kireytensä moottoreiden pyöriessä eri nopeudella. Myös paininpyörien yhteisen pyörimisnopeuden täytyy olla vakaa, jotta pintakäsittelyn laatu ja pinnoitteen paksuus ei vaihtele ajan funktiona.

5.5.1 Kuljettimien ohjaaminen

Rumpumoottorien käyttövirta luodaan taajuusmuuttajilla. Taajuusmuuttajia tarvitaan kuljettimien liikenopeuden säätämiseen ja liikenopeuden tasaamiseen. Taajuusmuuttajan valintakriteereinä käytettiin rumpumoottorille sopivaa tehoa ja mahdollisuutta säätää ja ylläpitää tasaista liikenopeutta. Rumpumoottorien pieni teho rajasi vaihtoehtoja. Jäljelle jääneistä vaihtoehtoista valittiin taajuusmuuttaja, joka mahdollistaa suljetun säätöpiirin luomisen. Lisäksi taajuusmuuttajavalinnassa huomioitiin yhteensopivuus muiden laitteiden ohjausjärjestelmien kanssa.

Paininpyörien toimintaa ohjataan Mitsubishi AL2-MR14-D -kontrollerilla. Valitun taajuusmuuttajan toimintaa voidaan ohjata ulkopuolisella kontrollerilla taajuusmuuttajan ohjaustermiinaalin kautta (kuva 17). Taajuusmuuttajan ohjaustermiinaaleille johdettavana ohjausvirtana käytetään samaa 24 VDC:n sähköä, kuin kontrollerien ohjaamiseen. Taajuusmuuttajat toimivat toisiinsa sidottuina. Ensimmäisen taajuusmuuttajan toimintaa ohjataan ulkopuolisella logiikalla. Toinen taajuusmuuttaja toimii ensimmäisen taajuusmuuttajan orjana Systembus-väylän välityksellä.

Configuration 510 contains the functions for speed-controlled, field-oriented control of a synchronous machine with resolver feedback. The separate control of torque and flux-forming current enables high drive dynamism with a high load moment. The necessary resolver feedback results in a precise speed and torque performance.



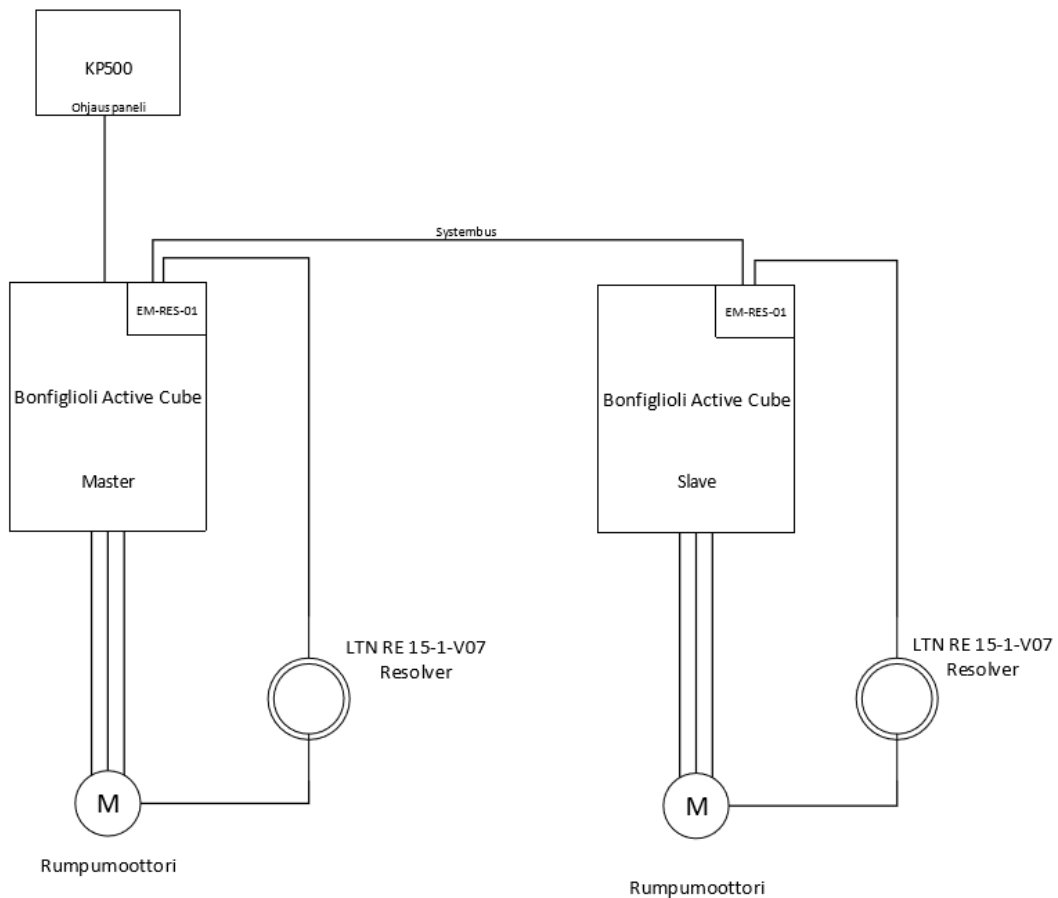
Control terminal X210A	
X210A.1	Voltage output +20 V or input for external power supply DC 24 V \pm 10%
X210A.2	GND 20 V/ GND 24 V (ext.)
X210A.3	Digital input STOA (1st shut-down path of STO safety function)
X210A.4	Start of clockwise operation
X210A.5	Start of anticlockwise operation
X210A.6	Data Set Change-Over 1
X210A.7	Data Set Change-Over 2

Control terminal X210B	
X210B.1	Motor therm. contact
X210B.2	Digital input STOB (2nd shut-down path of STO safety function)
X210B.3	Run Signal
X210B.4	Analog signal of actual frequency
X210B.5	Supply voltage +10 V for reference value potentiometer
X210B.6	Reference speed 0 ...+10V
X210B.7	Ground 10 V

KUVA 17. Taajuusmuuttajan ohjaustermiinaalien kytkentä. (14, s. 89)

Mitsubishi-kontrollerilla kuljettimet voidaan käynnistää, sammuttaa ja kuljettimien pyörimissuuntaa voidaan vaihtaa. Rumpumoottorien pyörimisnopeutta ja moottorin käyttäytymistä ohjaavia ominaisuuksia säädetään suoraan taajuusmuuttajaan liitettävällä ohjauspaneelilla. Paininpyöriä ohjaava kontrolleri toimii myös ruiskujärjestelmää ohjaavan kontrollerin isäntänä.

Rumpumoottorin tasainen pyörimisnopeus varmistetaan rumpumoottorin sisään rakennetulla pulssianturilla. Pulssianturia käytetään pyörimisnopeuden takaisinkytkentään taajuusmuuttajalle. Taajuusmuuttajan ja rumpumoottorin välille syntyy suljettu säätöpiiri (kuva 18).



KUVA 18. Taajuusmuuttajien ja moottoreiden välinen suljettu säätöpiiri

5.5.2 Kuljettimien ohjauslogiikka

Painipyöriä ohjaava logiikka tehtiin huomioimaan ohjauskoskettimien häiriöt ja estämään käyttäjän tahattoman ja tahallisen laitteiden väärinkäytön. Kuljettimien pyörimissuuntaa ei voi vaihtaa lennossa. Logiikka pysäyttää kuljettimet pyörimiskäskyn tullessa kumpaankin suuntaan samanaikaisesti. Kuljettimet voidaan käynnistää kontrollerin saatua ainoastaan yhden suuntakomennon.

Kuljettimien liikesuunta ohjataan kääntökytkimellä. Käynnistys, pysäytys ja peruutuskäskyt annetaan virtapulssina takaisin palauttavilla koskettimilla. Kuljettimien liikkeelle lähteminen turvapiiri katkaistuna on estetty turvapiirin tilatiedon syöttämisellä yhdelle kontrollerin inputille.

Pysäytyskäsky asetettiin dominoivaksi käskyksi. Kuljettimet ovat pysäytettävissä, vaikka joku koskettimista jumittuu kiinniasentoon. Kuljettimia ei voi käynnistää pysäytyskoskettimen kiinni olleessa. Liikesuunnan valintakytkimeksi valittiin kolmeasentoinen kääntökytkin. Näin ainoastaan yksi valinta kerralla on mahdollinen. Kuljettimet sammutetaan ohjausvirran kadotessa suunnanvalintakytkimen koskettimelta. Kuljettimet ovat vapaatilassa suunnanvalintakytkimen keskiasennossa. Muiden kytkimien kautta annetut komennot eivät tällöin vaikuta kuljettimien toimintaan. Kontrolleri ei anna toiminnallisia komentoja suuntakytkimen ollessa vapaatilassa.

Logiikkaan lisättiin mahdollisuus kuljettimien peruuttamiseen. Kuljettimet peruuttavat valitun liikesuunnan vastaisesti peruutuspainiketta painaessa. Kuljettimet peruuttavat peruutuspainiketta pohjassa pidettäessä ja pysähtyvät painike vapautettaessa. Logiikkaan varmistettiin, ettei peruutustoimintaa voi käyttää kuljettimien liikkeessa. Kuljettimet on pysäytettävä ennen peruutustoiminnon käyttämistä.

Kaikki kontrollerin ulostulojen komennot katkeavat turvapiirin virran hävitessä. Ohjauslogiikkaan varmistettiin, etteivät kuljettimet ja pinnoiteruiskut käynnisty uudelleen turvapiirin sulkeutuessa. Laitteiden käynnistyminen vaatii aina käynnistyspainikkeen painamisen.

Kontrollerin näytöllä ilmoitetaan kontrollerin tila, automaatiojärjestelmän asentamisen ja ohjauspiirin vianhaun helpottamiseksi. Ensimmäisellä näyttörivillä ilmoitetaan kontrollerin ohjausvirran päällä olemisesta. OFF-asennossa turvapiiri on katkaistu ja ON-asennossa turvapiiriin on suljettu.

Kontrollerin toisella näyttörivillä ilmoitetaan kuljettimille valittu liikesuunta. Kuljettimien suuntakytkimen ollessa keskiasennossa rivillä lukee 'Vapaa'. Kuljettimien peruuttamisen aikana rivillä lukee 'Peruutus'.

Kolmannella näyttörivillä ilmoitetaan kuljettimien toiminnallinen tila. Kuljettimien seisoessa rivillä lukee 'Pysäytetty'. Kuljettimien ollessa liikkeessä rivillä lukee 'Liikkeellä'.

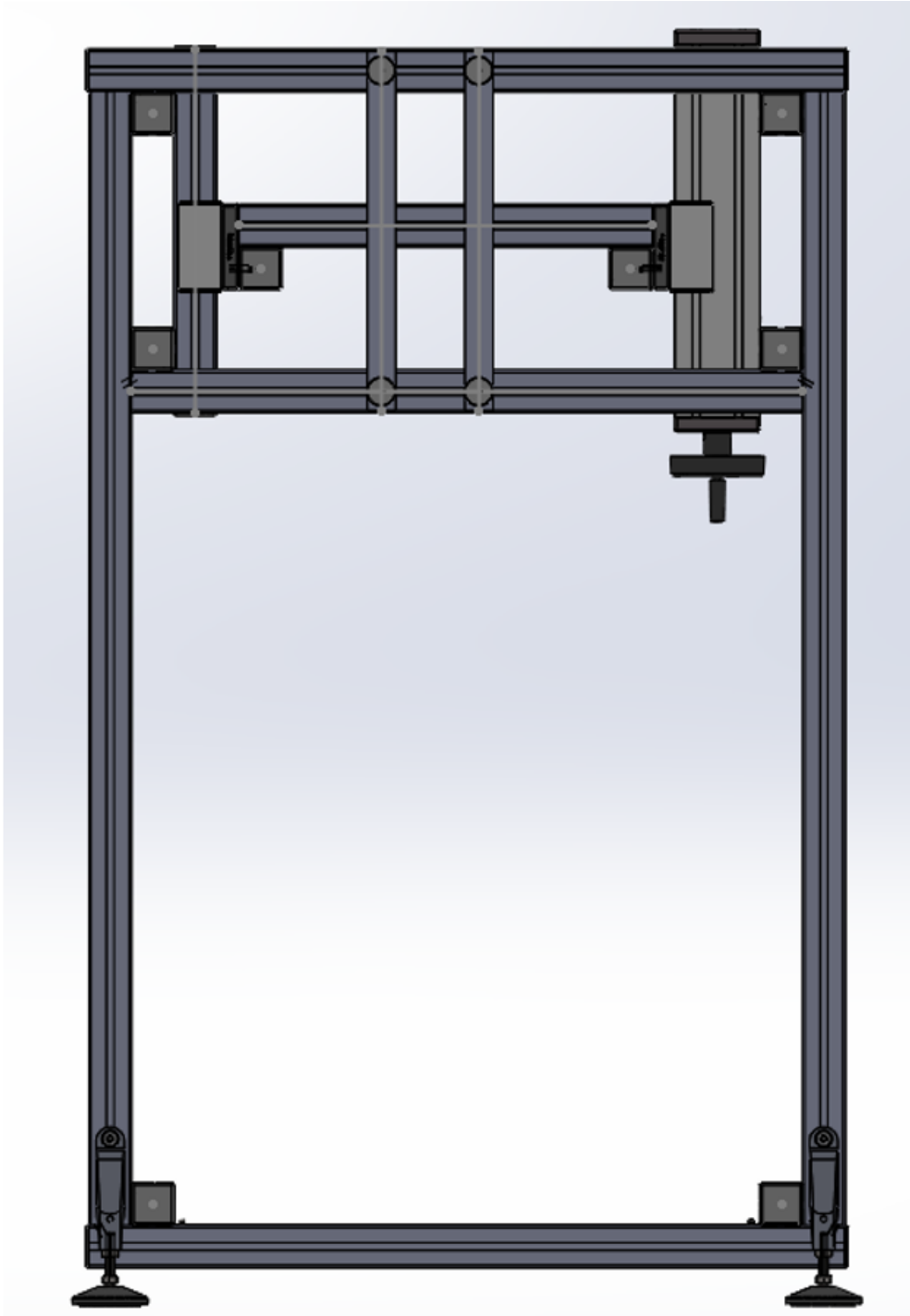
Kontrollerilla ohjataan myös kuljettimien merkkivalojen toimintaa. Valotolppa sijoitetaan hyvin näkyvälle paikalle. Punainen valo palaa kuljettimien paikallaan seisomisen merkiksi. Vihreä valo palaa kuljettimien liikkeessä olon merkiksi. Vihreän valon vilkuessa kuljettimet ovat vapaa-asennossa. Samassa valotolpassa oleva keltainen valo palaa ruiskusuuttimien toiminnan merkiksi.

Merkkivaloja asennetaan myös ohjauspaneeliin. Sininen ja oranssi valo suunniteltiin kuljettimien liikesuunnan merkkivaloiksi. Kuljettimien ohjauslogiikka on liitteenä 2.

5.5.3 Kuljettimien rakenne

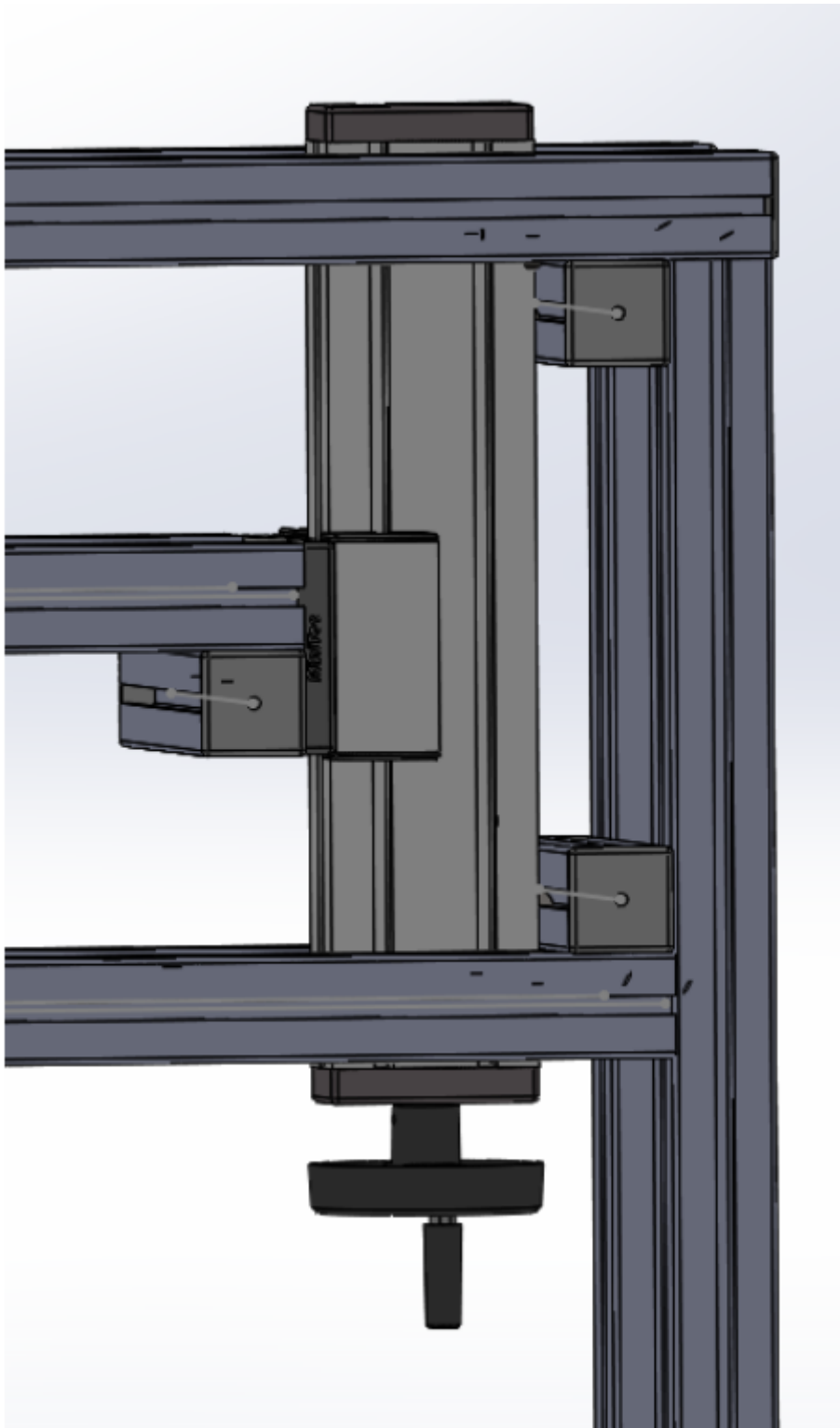
Paininpyörän rungosta suunniteltiin tukeva ja kompakti. Paininpyörän siirtäminen ja uudelleen sijoittaminen on nopeaa. Paininpyörät ovat käytännössä huoltovapaat. Tuotannon aikana paininpyörässä on kaksi liikkuvaa osaa, pyörät itse. Pyörien leveydet valittiin tuotantolinjalla ajettavan kumi-profiilin mittojen avulla. Pyörät ovat leveämmät kuin yrityksellä valmistuksessa olevat kumiprofiilit.

Paininpyörän rungon mitat valittiin niin, että tuotantolinjalla ajettava kumiprofiili on noin 1m korkeudella lattiapinnasta. Paininpyörän rungon syvyys määritettiin paininpyörän kiinnityskorvan kiinnitysreikien mittojen perusteella. Rungon leveyden määrittäminen tapahtui pyörien, korkeussäädettävän tuen ja korkeussäätöjärjestelmän vievän tilan perusteella (kuva 19).



KUVA 19. Paininpyörän runko. Kuvasta puuttuu pyörät, sähköjärjestelmä ja hätä-seispainike

Paininpyörän ylempi pyörä asennetaan korkeussäädettävään tukeen. Korkeussäätö tapahtuu kiinnittämällä tuki kahteen alumiiniprofiilin urissa liikkuvaan kelkkaan. Toinen kelkoista sidottiin liikeruuviin ja säätöpyörään. Paininpyörän tuki liikkuu pystysuunnassa säätöpyörää kääntämällä (kuva 20).



KUVA 170. Painavan pyörän korkeussäätö. Pyörän tuki on kiinnitetty liukukelkkaan. Pyörän korkeussäätö tapahtuu säätöpyörää kääntämällä.

Kumiprofiili puristetaan pyörien väliin, jottei profiili pääse liukumaan. Alempana pyöränä toimiva rumpumoottori luo liikkeen. Ylempi, kumiprofilia painava pyörä, pyörii rumpumoottorin kumiprofiilin

välityksellä siihen kohdistamalla voimalla. Painava pyörä luo kumiprofiilin ja pyörien pintojen välille lepokitkan. Ylemmäksi pyöräksi valittiin moottoriton pyörä. Kahden vastakkain pyörivän rumpu-moottorin epäiltiin tuottavan enemmän ongelmia, kuin moottorittoman pyörän käyttäminen. Rumpu-moottoreiden täytyisi pyöriä täysin samaan tahtiin, mikä vaatisi ohjausjärjestelmän laajentamisen myös ylemmälle rumpu-moottorille.

Paininpyörän runkoon suunniteltiin kumiprofiilin sivuttaisliikettä rajoittavat ohjaussauvat. Ohjaussauvat ovat liikutettavissa rungon leveys suunnassa. Paikalleen kiristäminen tapahtuu sormiruuveilla. Ohjaussauvat asetetaan niin, ettei pinnoituslinjastolla ajettavalle profiilille jää varaa sivuttais-suuntaiselle liikkeelle paininpyörien välissä.

5.6 Sähkökäytöt

Tuotantolinjan sähkökäytöt jaettiin 230 V:n päävirtapiiriin ja 24 VDC:n ohjausvirtapiiriin. Kaikki laitteet ottavat käyttövirtansa suoraan päävirtapiiristä ruiskujärjestelmää lukuun ottamatta. Ruiskujärjestelmän venttiilit ottavat toimintavirran 24 VDC:stä ohjausvirtapiiristä.

5.6.1 Päävirtapiiri

Taajuusmuuttajat, 24 VDC:n virtalähde, infrapunaelementit ja infrapunaelementtien ohjausjärjestelmä liitetään päävirtapiiriin. Kaikkien laitteiden käynnistäminen ja sammuttaminen tapahtuu ohjausjärjestelmän välityksellä. Päävirtapiiriin pakko-ohjatut kontaktorit kuuluvat turvajärjestelmään.

Taajuusmuuttajat ottavat toimintavirtansa kolmesta vaiheesta. 24 VDC:n virtalähde ja uunin kontrolleri ottavat toimivirtansa yhdestä vaiheesta. Kypsytysuunin infrapunaelementit kuluttavat paljon virtaa. Infrapunaelementit jaettiin neljää fyysisen sijaintinsa mukaiseen ryhmään. Elementtiryhmit liitetään eri vaiheisiin. Kaksi elementtiryhmää on kytkettävä samaan vaiheeseen. Neljä elementtiryhmää ei jakaannu tasan kolmeen vaiheeseen.

5.6.2 Ohjausvirtapiiri

Ohjausvirtapiiriin virta tuotetaan 24 VDC:n virtalähteellä. Kontrollerien käyttövirta ja ohjausvirta otetaan ohjausvirtapiiristä. Taajuusmuuttajien sisäinen ohjausjärjestelmä toimii 24 VDC:n jännitteellä

silloinkin, kun taajuusmuuttajat on irrotettu 230 V:n verkkovirrasta. Myös ruiskujärjestelmän sähköohjatut venttiilit ja turvapiiri saavat virtansa ohjausvirtapiiristä.

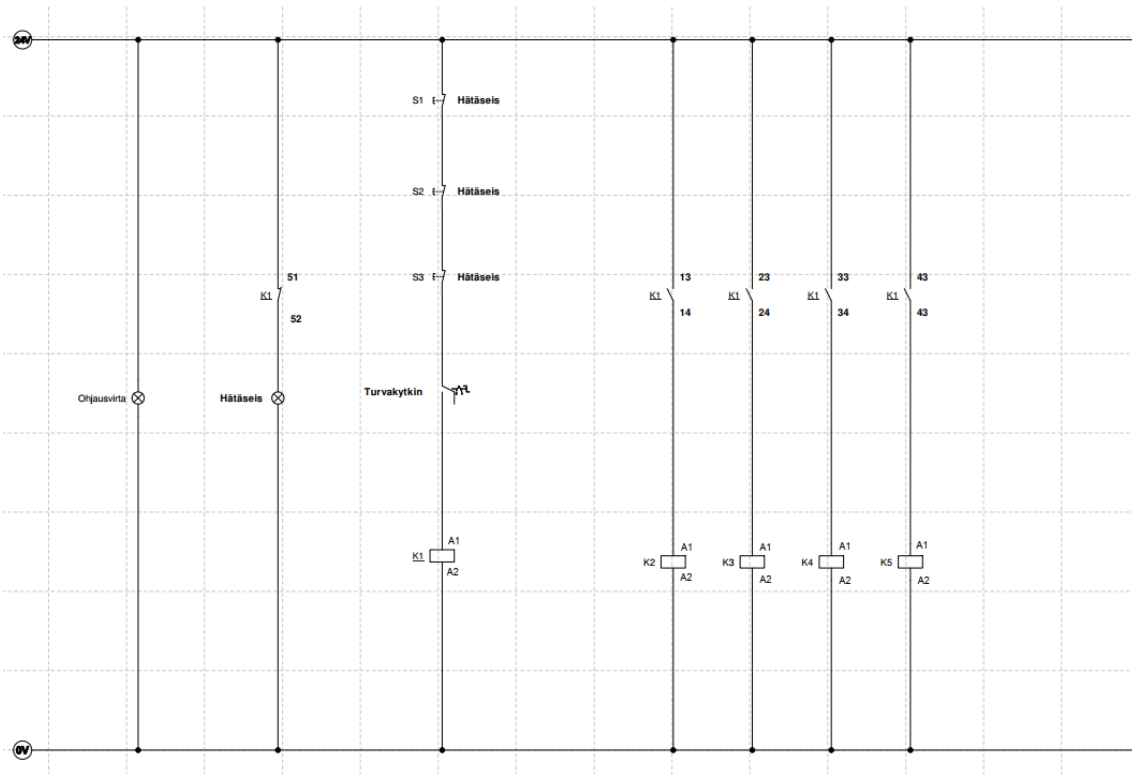
Ohjausvirtapiirin kuluttama virta laskettiin. Kaikki ohjausvirtapiiristä virtansa ottavat laitteet ja osat luetteloitiin laskelmia varten. Virtalähteen teho valittiin virtapiiriin liitettyjen laitteiden virrankulutuksen perusteella. Samalla tehtiin ohjausjärjestelmän alustavat osavalmiinnat. Osien nimitykset, lukumäärät, pääominaisuudet, hinnat ja linkit jälleenmyyjän sivuille taulukoitiin. Taulukoiden perusteella tehtiin ohjausvirtapiirin kustannusarvio.

5.6.3 Turvapiiri

Turvapiiri on suunniteltu osaksi ohjausvirtapiiriä. Kolme hätä-seispainiketta sijoitetaan turvapiiriin. Turvapiiriin asennetaan turvakytkin laitteiston huolto- ja tuotannon valmistelemista varten. Kytkimet kytketään keskenään sarjaan.

Hätä-seispainikkeet asennetaan kriittisiin kohteisiin. Kaksi hätä-seispainiketta asennetaan paininpyörien runkoihin. Yksi hätä-seispainike asennetaan ohjauspaneeliin. Turvakytkin asennetaan ohjauspaneeliin. Turvapiiri katkaistaan turvakytkimellä aina, kun työntekijä käsittelee paininpyörää. Paininpyörien rungosta suunniteltiin pieni ja hätä-seiskytkin on aina käden ulottuvilla. Kolmas hätä-seispainike ohjauspaneelissa asennetaan yllättäviä tilanteita varten. Virta saadaan katkaistua toimilaitteilta esimerkiksi jonkun tuotantolinjan osan leimahtaessa.

Kytkimet katkaisevat virran turvareleen käämiltä. Turvareleen neljä aukeavaa kosketinta katkaisevat virrat pakko-ohjattujen releiden ja kontaktorien käämeiltä. Kaikkien laitteiden virransyöttö katkeaa. Punainen turvapiirin merkkivalon kontakti sulkeutuu. Merkkivalo palaa turvapiirin katkeamisen merkiksi. Ainoastaan automaatiojärjestelmän kontrollereiden ja taajuusmuuttajien ohjausjärjestelmien käyttövirrat jätetään katkaisematta. Turvapiiri esitellään kuvassa 21.



KUVA 21. Turvapiirin pääosuus. Tunnuksella K1 merkitään turvareleen käämiä ja releen sulkeutuvia ja aukeavia koskettimia. Neljä sulkeutuvaa kosketinta päästävät virran neljälle pakko-ohjatulle kontaktorille ja releelle. Normaalisti avautuva kontakti päästää virran hätäseis-merkkivalolle turvapiirin katketessa

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä kartoitettiin silikoniprofiilille sopivien pinnoitteiden tarjontaa ja valittiin toimivin silikonipinnan nihkeyttä vähentävä pinnoite ja pinnoitusmenetelmä. Lisäksi työhön kuului pinnoituslaitteiston suunnitteleminen. Työ tulokset ovat suoraan hyödynnettävissä.

Pinnoitetesteihin hankittiin useita pinnoitetta, joita kokeiltiin eri seostussuhteilla ja eri pinnoitusmenetelmillä. Myös kahta vaihtoehtoista pintakäsittelyä kokeiltiin nihkeyttä vähentävänä pintakäsittelynä. Pinnoitevalinta tehtiin pinnanlaadun ja pinnoitteen kestävyuden perusteella. Pinnoitusmenetelmäksi valittiin parhaan ja tasalaatuisimman pinnan mahdollistava vaihtoehto.

Pinnoituslaitteistolle tehtiin oma tuotantolinja. Pinnoituslaitteiston tarve määräytyi valitun pinnoitusmenetelmän ja pinnoitteiden vaatimuksien perusteella. Tuotantolinja vaati ruiskujärjestelmän, kypytysuunin ja kuljettimet. Laitteisto pohjautuu omaan suunnitteluun valmiiden ratkaisujen puuttessa. Laitteistosta suunniteltiin helppohuoltoinen ja käytettävyydeltään joustava.

Silikonikumin pinnoittamiseen soveltuvien pinnoitevaihtoehtojen löytäminen oli haastavaa. Aihealueen materiaali ja tieto oli hajanaista. Aihealueen pohjatutkimus kulutti paljon aikaa. Lopulta pinnoitevaihtoehtoja saatiin testeihin tarpeeksi kattavasti. Pinnoitekokeiden arvioinnille ei löydetty vakiintuneita työtapoja. Arviointikriteerit, arviointitavat ja koelaitteisto jouduttiin kehittämään itse. Kulutuskokeiden lopputulokset olivat keskenään vertailukelpoiset. Kulutuskokeiden tuloksia ei voida luotettavasti verrata muilla laitteilla tai menetelmillä tehtyjen kulutuskokeiden tuloksiin.

Pinnoituslaitteiston suunnitteleminen oli suoraviivaista. Kumiprofiilin käyttäytyminen, pinnoitteiden ominaisuudet ja valittu pinnoitustapa rajasivat toteutusvaihtoehtoja. Jäljelle jääneistä vaihtoehtoista valittiin parhaiten työn tilaajan toiveita täyttävät vaihtoehdot. Ehdollisissa yksityiskohdissa suosittiin laitteiston käyttöhelppoutta ja laitteiston muunneltavuutta.

Pinnoituslaitteiston suunnittelun haasteena oli laitteiston toimivuuden arvioiminen. Vastaavia laitteita ei ole kaupallisesti tarjolla. Esimerkiksi painipyörä suunniteltiin itse, koska kyseistä kuljetintyyppiä ei ole markkinoilla. Kuljetinvalmistajat eivät olleet valmiita painipyöräjärjestelmän suunnittelemaan. Pinnoituslaitteiston toimivuus on todettava käytännön kokeiden kautta.

Työhön asetettuun tavoitteeseen päästiin. Pinnoituskokeiden perusteella valittiin selvästi paras pinnoitevaihtoehto. Valittu pinnoite oli pinnanlaadultaan liukas ja loi kulutuskestävimmän pinnan. Ruiskuttaminen loi pinnoitteelle hyvän pinnanlaadun. Ruiskuttaminen oli myös parhaiten hallittava pinnoitusmenetelmä. Parhaaksi valikoitunutta pinnoitetta suositeltiin työn tilaajalle. Pinnoituslaitteisto ja pinnoittamista varten suunniteltu tuotantolinja saivat tilaajan hyväksynnän.

LÄHTEET

1. Meidän tarinamme. FP FinnProfiles Oy. Saatavissa: <https://www.finnprofiles.com/fi/finnprofiles-3/meidan-tarinamme/>. Hakupäivä 15.10.2018.
2. Yrityshaku. Kauppalehti.fi. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/fp+finnprofiles+oy/07301383>, Hakupäivä 15.10.2018.
3. Raaka-ainekäsikirja 4: Muovit ja kumit 2001. Metallisteollisuuden Keskusliitto MET. 2., uudistettu painos. Tampere: Tammer-paino Oy.
4. Sorsa, Jouni 2015. Materiaalitekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
5. Aaltonen, Kalevi – Andersson, Paul – Aromäki, Pauli – Höglund, Kai – Ihalainen, Erkki – Jansson, Folke – Kauppinen, Veijo – Lehto, Heikki – Lohtari, Lauri – Mäki, Martti – Niemi, Esko – Oraskari, Risto – Piispanen, Risto – Posti, Eero – Pukki, Mikko – Puronto, Antti – Pylkkänen, Juhani – Pääkkönen, Esko – Ruohola, Ilkka – Sihvonen, Pentti – Vanninen, Olavi – Vierimaa, Kari – Vuorinen, Jouko J 1995. Valmistustekniikka. 5., uudistettu painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
6. Simonen, Tapio – Karttunen, Irmeli 2012. Orgaanisen kemian synteessimenetelmät ja mikrokemialliset työtavat. Uudistettu teos. Tampere: Juvenes Print.
7. Ansaharju, Tapani – Ilomäki, Osmo – Katainen, Harri – Maaranen, Keijo – Mäkinen, Armas 1994. Materiaalitekniikka. Porvoo: Wsoy Oy.
8. α2 Simple Application Controller. 2005. Programming Manual. Manual Number: JY992D97101. Manual Revision: G. Mitsubishi Electric Co. Saatavissa: http://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/plc_fx/jy992d97101/jy992d97101g.pdf. Hakupäivä 14.11.2018.
9. Profile System. Art.-Nr. 95.0021/0. MiniTec GmbH & Co. KG. Saatavissa: <http://www.minitecframing.com/PDF/CATALOG%20332.PDF>. Hakupäivä 14.11.2018.

10. Ceramic Infrared Panel Radiators: FSR. Elstein-Werk M. Steinmetz GmbH & Co. Saatavissa: http://www.elstein.com/fileadmin/user_upload/PDFs/INT/Produkte/FSR_EN.pdf. Hakupäivä 17.10.2018.
11. Alloy Data Sheet EN-AW 6060 [AlMgSi]. 2017. Rev. 01. Nedal Aluminium BV. Saatavissa: <https://www.nedal.com/wp-content/uploads/2017/11/Nedal-alloy-Datasheet-EN-AW-6060.pdf>. Hakupäivä 14.11.2018.
12. Koivisto, Kaarlo – Laitinen, Esko – Niinimäki, Matti – Tiainen, Tuomo – Tiilikka, Pentti – Tuomikoski, Juho 2001. Konetekniikan Materiaalioppi. 9. painos. Helsinki: Edita Oy.
13. Connection and Control Accessories. Elstein-Werk M. Steinmetz GmbH & Co. Saatavissa: http://www.elstein.com/fileadmin/user_upload/PDFs/INT/Produkte/Accessories_EN.pdf. Hakupäivä 17.10.2018.
14. Active Cube: Operation Instructions Frequency inverters 230V / 400V / 525V / 690V 0,25 kW...400 kW. 2017. COD. VEC 170 R1. Bonfiglioli Riduttori S.p.A. Saatavissa: http://www.bonfigliolidocslibrary.com/pdf/user_manuals/ACTIVE_CUBE/ACTIVE_CUBE-OPERATIVE_INSTRUCTION/ACU410_Operating_Instructions_English_ACUxxx.pdf. Hakupäivä 14.11.2018.

