



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Hermann Parikka

Hartsisyytön automatisoinnin suunnittelu

ABB Oy

Opinnäytetyö
Syksy 2024
Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Hermann Parikka

Työn nimi alaotsikoineen: Hartsisyötön automatisoinnin suunnittelu

Ohjaaja: Sami Rinta-Valkama

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 44

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämä opinnäytetyö tehtiin Vaasan ABB:n sähkömoottoritehtaalle. Työn tavoitteena oli suunnitella tapa automatisoida staattorihartsaamon nykyinen käsityönä tehtävä hartsin kuljetus ja käyttö itse hartsausprosessissa. Tarpeen valutusprosessin automatisoinnille loi työntekijöihin kohdistuvat ergonomiahaasteet sekä helpommin käsiteltävään hartsiin vaihtaminen.

Työn aloitettiin etsimällä tietoja hartsauslaitteista ja laitevalmistajista. Kerättyjen tietojen perusteella pystyttiin aloittamaan hartsaamoon soveltuvan laitteiston määrittely. Selvityksessä kerättiin toimeksiantajan asiakastarpeet, joiden perusteella pystyttiin määrittämään suunniteltavaa laitteistoa. Tarkempien spesifikaatioiden määrittelyn ja automaatio-ohjelman toimintakaavion luomisen jälkeen pystyttiin soveltuvia laitevalmistajia kontaktoimaan.

Lopputuloksena saatiin selville, että ainakin yksi kontaktoitavista laitevalmistajista pystyi tarjoamaan valutuslaitteen, johon pystyttäisiin kustomoimaan asiakkaan laitteelta haluamat toiminnot. Keskeiseksi havainnoksi laiteselvityksen aikana nousi se, kuinka hankalaa kyseistä käsityönä tehtävää prosessia on mahdollista muuttaa automatisoiduksi. Suurin osa laitevalmistajista karsiutui heti alkuvaiheessa väärän hartsaustyyppin tai staattorin kokorajoitteen vuoksi.

¹ Asiasanat: ABB, kyllästys, automaatio, harts

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Automation Engineering

Specialisation: Electric Automation

Author: Hermanni Parikka

Title of thesis: Design of resin trickling automation

Supervisor: Sami Rinta-Valkama

Year: 2024

Number of pages: 44

The thesis was written for ABB's electric motor factory in Vaasa. The aim of the work was to design and create a solution to automate the current manual transport and use of resin in the trickling process itself. The need to automate the process rose from two factors: workers' ergonomic challenges and changing the resin to a more manageable one.

The work was started by researching information on impregnation equipment and equipment manufacturers. After the information had been collected the definition of the equipment suitable for the impregnation plant could be started. During the definition process, the client's customers' needs were collected, which allowed us to refine the equipment to be designed. After defining more detailed specifications and creating a functional diagram of the automation program, it was possible to contact suitable impregnation equipment manufacturers.

As a result, it was found that at least one of the equipment manufacturers contacted was able to offer a trickling impregnation device that could be customized with functions desired by the customer. A key finding during the equipment survey was the difficulty of converting the manual trickling process into an automated one. Most of the impregnation equipment manufacturers were eliminated at the start of the survey due to an incorrect impregnation type or limitations in stator size.

¹ Keywords: ABB, impregnation, automation, resin

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 Johdanto	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Työn tavoite.....	8
1.3 Työn rakenne	9
1.4 Yritysesittely	9
2 Hartsaus ja sähkömoottorien valmistus	11
2.1 Sähkömoottori	11
2.1.1 Tasavirta- eli DC-koneet	12
2.1.2 Tahti- ja epätahtikoneet	12
2.2 Sähkömoottorivalmistus	13
2.2.1 Komponenttivalmistus	13
2.2.2 Kokoonpano.....	14
2.3 Hartsauksen tarkoitus.....	14
2.4 Hartsausmenetelmät	15
2.4.1 Valutuskyllästys	15
2.4.2 Upotuskyllästys	15
2.4.3 Tyhjiöhartsaus.....	16
2.5 Kyllästyshartsit ja varastointi	17
2.5.1 Käytössä olevat hartsit.....	17
2.5.2 Hartsien varastointi ja suojautuminen	17
2.6 Staattorin hartsausprosessi	18
2.6.1 Esivalmistelu	18
2.6.2 KytKentä ja hartsaus	19
2.6.3 Viimeistely ja loppukovetus	21

3	Kemiallisten aineiden jakelujärjestelmät	23
3.1	Pumput.....	23
3.1.1	Mäntäpumput.....	24
3.1.2	Kalvopumput.....	24
3.1.3	Ruuvipumput.....	24
3.1.4	Hammaspyöräpumput.....	25
3.1.5	Kemiallisten aineiden pumppaaminen ja ongelmat.....	25
3.2	Putket ja letkut.....	26
3.3	Venttiilit.....	27
3.3.1	Vastaventtiilit.....	27
3.3.2	Sulkuventtiilit	28
3.3.3	Paineventtiilit.....	28
3.3.4	Laitteistojen venttiilivaatimukset ja ongelmia.....	29
3.4	Automaation ohjausjärjestelmät	29
3.4.1	PLC-ohjaus	30
3.4.2	PID-säädin	31
4	Automatisointisuunnitelman kokoaminen.....	32
4.1	Newtech	32
4.2	Lähtötiedot ja laitevalmistajien kartoitus	33
4.3	Laitteiston spesifikaatioiden määrittäminen	34
4.4	Automaatiokuvaus.....	35
5	Selvitys laitevalmistajille	38
5.1	Automaattiset valutuslinjastot.....	38
5.2	Tarkkaan hartsimäärään perustuva valutus	38
5.3	Kustomoitu valutuslaite	39
5.4	Tulokset ja ratkaisu	41
6	Pohdinta ja yhteenveto	42
	Lähteet	44

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Räjätyskuva sähkömoottorista (ABB, 2004).	11
Kuvio 2. Häkkeihin kiinnitetyt staattorit lähdössä upotuskyllästyksen.	16
Kuvio 3. Esivalmisteltu staattoripaketti.....	19
Kuvio 4. Hartsausprosessin lämpötila/aika-kuvaaja.....	20
Kuvio 5 Hartsausprosessin valutusvaihe	21
Kuvio 6. Viimeistelypöytä ja uunirata.	22
Kuvio 7. Newtech-hartsauslaitteisto.....	33
Kuvio 8. Valutuslaitteen tilakaavio.	36
Kuvio 9. Kuva sekoittaja ja suutin -laitteistosta. (ViscoTec, 2020).	39
Kuvio 10. Kuva valutuslaitteen runko- ja suutinosasta (Alliance winding, i.a.).	40
Taulukko 1. Painelaiteluokan määrittäminen ominaisuuksien perusteella (Tukes, i.a.).....	27
Taulukko 2. Asiakastarpeen ja painoarvon määrittäminen.....	34
Taulukko 3. Tarkemmat spesifikaatiot asiakastarpeiden perusteella.	34

Käytetyt termit ja lyhenteet

D-pää	Normaalitapauksissa staattorin päätä, jossa liitänkäapelit ovat kutsutaan D-pääksi.
IBC-kontti	IBC-kontit ovat teollisuudessa käytettäviä suuria säiliökontteja nesteiden kuljetukseen sekä varastointiin. IBC tulee englanninkielisistä sanoista Intermediate bulk container.
N-pää	Normaalitapauksissa staattorin pää, jossa ei ole liitänkäapeleita kutsutaan N-pääksi.

1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Vaasan ABB Oy IEC LV Motors. Osa tämän työn tiedoista on muutettu tai poistettu julkisesta versiosta.

1.1 Työn tausta

Vaasan ABB:n pienjännitemoottoritehtaan staattorien valutushartsauksessa on aloitettu hartsinvaihtoprosessi. Prosessissa tähän asti käytössä olleesta monikomponenttisestä kyllästys-hartsista luovutaan ja sen tilalle otetaan käyttöön yksikomponenttinen hartsi. Yksikomponenttiseen hartsiin on päädytty parempien tutkimustulosten, ihmiselle ja ympäristölle terveellisemmän koostumuksen sekä helpomman käytettävyyden tuloksena. Yrityksen (2023, s. 41) mukaan tehdyistä hartsitutkimuksista käy ilmi, että yksikomponenttisen hartsin kuljettaminen saattaisi olla mahdollista automatisoida, sillä toisin kuin monikomponenttinen hartsi, yksikomponenttinen ei vaadi useiden komponenttien ja täyteaineen sekoittamista keskenään. Lisäksi yksikomponenttinen käyttövalmis hartsi ei reagoi ja kovetu samalla tavalla kuin monikomponenttinen.

Hartsinvaihtoprosessin seurauksena ABB:llä on toiveena tutkia ja luoda suunnitelma mahdollisesta kuljetusjärjestelmästä, jolla käyttöön tulevaa yksikomponenttista hartsia saataisiin automaattisesti siirrettyä suoraan varaston puolelta työpisteille. Automatisointimahdollisuuden lisäksi taustalta nousee vahvasti ongelma, joka tämänhetkisessä hartsaustavassa tulisi muuttaa. Tällä hetkellä työntekijät hakevat hartsia varastolta 20 litran peltiämpäreissä ja työpisteillä kaatavat tätä edelleen kahden litran kaatokannuihin. Kaatokannuista hartsia kaadetaan taas edelleen hartsausprosessiin. Näistä monista päivän mittaan tehdyistä sankojen nostoista sekä kannujen kaadoista tulisi päästä eroon, sillä ajan kuluessa niistä koituu huomattavia terveysongelmia.

1.2 Työn tavoite

Tavoitteena on selvittää ja luoda suunnitelma, millainen järjestelmä soveltuisi parhaiten hartsin kuljetukseen varaston ja työpisteiden välillä sekä miten hartsi tuodaan työprosessiin ilman sankojen nostelusta ja kannujen kaatamisesta koituvaa rasitusta. Laitteistoa selvittäessä tulee ottaa huomioon vaatimukset hartsin ominaisuuksien kuten viskositeetin sekä lämpöarvojen suhteen. Työssä tulee lisäksi huomioida, miten jo kertaalleen käytetty hartsi pystyttäisiin

saamaan takaisin hartsausprosessiin ilman manuaalista keräämistä valutusaltaasta. Työn aikana tehdyn suunnitelman perusteella tehdään selvitystä, millaisia jo olemassa olevia laitteistoja laitevalmistajilla on ja soveltuisivatko ne hartsaamon tarpeisiin.

1.3 Työn rakenne

Työn ensimmäinen pääluku on teoriaosa, jossa käydään läpi yleisimpiä sähkömoottorityyppejä sekä niiden rakenteita. Luvussa kerrotaan myös ABB:n sähkömoottorivalmistukseen liittyvistä työvaiheista, erityisesti hartseista, hartsausesta ja eri hartsaustyypeistä. Luvussa käydään myös läpi käsityönä tehtävä valutushartsausprosessi. Työn toisessa luvussa käydään läpi kemiallisten aineiden jakelujärjestelmien eri komponentteja, soveltuvuutta hartsin kuljetukseen, niiden hyviä ja huonoja puolia sekä niitä koskevia määräyksiä. Kolmannessa luvussa aloitetaan automaattisen valutuslaitteen suunnittelu ja lopulta tarkempien spesifikaatioiden määrittäminen sekä automaatiokuvauksen luominen. Neljäs luku sisältää tutkimuksesta ja laitevalmistajille tehdyistä selvityksestä saatujen ratkaisujen läpikäyntiä sekä soveltuvuutta toimeksiantajan vaatimuksiin. Lopussa on työn pohdinta ja yhteenveto.

1.4 Yritysesittely

ABB on ruotsalaisen Asean sekä sveitsiläisen Brown Boverin 1988 yhteen sulautumisesta muodostunut suuri teollisuuskonserni (ABB, i.a. -a). ABB:n pääkonttori sijaitsee Zürichissä Sveitsissä. ABB on teknologian edelläkävijä, jonka toiminta painottuu sähkövoima- ja automaatiotekniikkaan. Vuonna 2022 Suomessa ABB:n liikevaihto oli 2,4 miljardia euroa sekä maailmanlaajuisesti 29,4 miljardia Yhdysvaltain dollaria.

ABB:n toiminta on levittäytynyt yli sataan eri maahan ja jokaiselle mantereelle (ABB, i.a. -a). Tällä hetkellä ABB työllistää maailmanlaajuisesti noin 105 000 ammattilaista sekä on Suomessakin yksi suurimmista teollisuuden työnantajista työllistäen noin 5000 ammattilaista 20 paikkakunnalla.

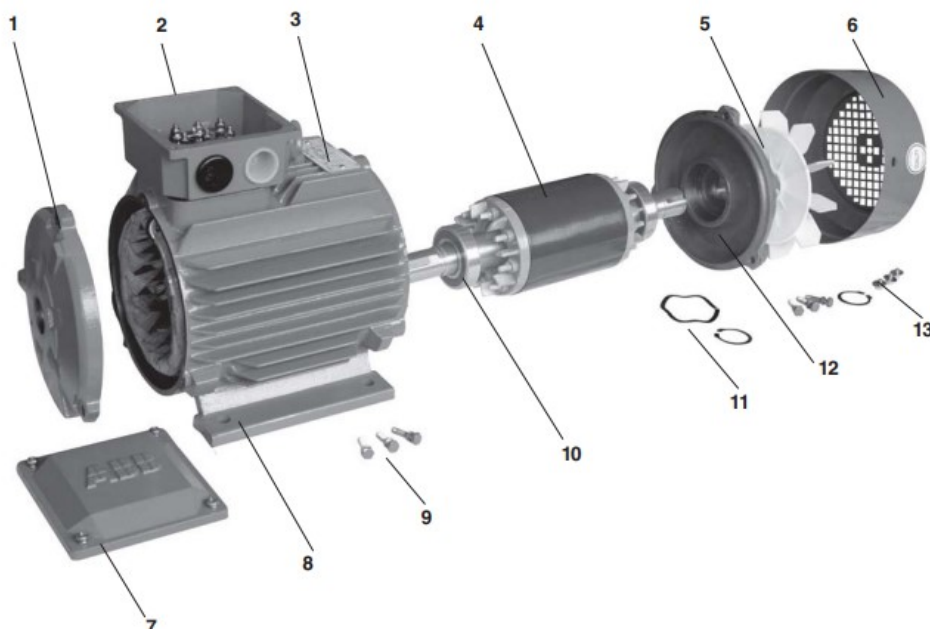
Suomessa suurimmat keskittymät ovat Helsingissä, Vaasassa, Haminassa sekä Porvoossa (ABB, i.a. -a). Vaasan ABB IEC LV Motors kuuluu ABB:n neljästä suuresta liiketoiminta-alueesta ABB Large Motors and Generatorsin sekä ABB Drivesin eli taajuusmuuttajien kanssa Motion-liiketoimintahaaraan (ABB, i.a. -a). Vaasassa ABB:n Motors-yksikössä työskentelee

noin 600 ammattilaista ja sen toiminta keskittyy asiakkaiden tarpeiden perusteella räätälöityihin pienjännitemoottoreihin. IEC LV Motors -divisioonassa panostetaan vahvasti myös tuotekehitykseen sekä tutkimukseen.

2 Hartsaus ja sähkömoottorien valmistus

2.1 Sähkömoottori

Sähkömoottori sekä generaattorit ovat sähkökoneita (Aura & Tonteri, 2009, s. 304–306). Sähkömoottorin tehtävä on muuttaa sähköenergiaa mekaaniseksi energiaksi, kun taas generaattorit muuttavat mekaanisen energian sähköenergiaksi. Yleisimmät sähkömoottorityypit ovat tahti-, epätahti sekä tasavirtakoneet. Tavallisten vaihtosähkökoneiden toiminta perustuu pyörivään magneettikenttään ja riippumatta sähkömoottorin tyypistä ne jakavat yhteisiä komponentteja, joita ovat staattori eli staattinen seisoja sekä roottori eli staattorin sisällä pyörivä akseloitu osa. Nämä muodostavat koneen sähköisen toiminnan aktiiviset osat. Passiivisina osina pidetään osia, jotka kannattelevat aktiivisia osia paikoillaan tai jotka johdattavat sähköä ja mekaanista voimaa joko koneeseen tai koneesta pois, riippuen siitä onko kyseessä moottori vai generaattori. Tällaisia osia ovat esimerkiksi liitännäkotelo sekä roottoria kannattelevat laakerit ja laakerikilvet.



Kuvio 1. Räjätyskuva sähkömoottorista (ABB, 2004).

Kuviossa 1 (ABB, 2004) numeroidut osat ovat:

- | | | |
|--------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| 1. D-pään laakerikilpi | 2. Liitäntäkotelo | 3. Arvokilpi |
| 4. Roottori | 5. Tuuletin | 6. Tuulettimen suojus |
| 7. Liitäntäkotelon kansi | 8. Staattori | 9. Pultti |
| 10. Laakeri | 11. Aaltomuotoinen jousirengas | |
| 12. N-pään laakerikilpi | 13. Ruuvi | |

2.1.1 Tasavirta- eli DC-koneet

Tasavirtakoneet toimivat tasavirralla (DC) ja niiden toiminta perustuu pyörivän virrankääntäjän eli kommutaattorin hyödyntämiseen (Hietalahti, 2011, s. 35). Kommutaattorille syötetään hiiliharjojen kautta tasavirtaa koneen roottoriakselille sijoitettuun ns. ankkuriin. Kommutaattorilla on sylinterimäinen toisistaan eristetyistä kupariliuskoista tehty rakenne. Käämitys on toteutettu liittämällä kommutaattorin jokaiseen liuskaan yhden vyyhden alkupää ja toisen loppupää. Tasavirtakoneiden magnetointi on sijoitettu staattoriin kehälle kiinnitetyillä magneettinavoilla ja niiden ympärille tehdyllä magneetoivalla käämityksellä. Käämiin syötetyllä tasavirralla syntyy ankkurin pyörittämiseen tarvittava magneettikenttä. Tasavirtakoneiden tärkeimmät käyttökohteet ovat esimerkiksi metalliteollisuuden työstökoneissa, joissa on asetettu tarkkoja vaatimuksia moottorin pyörimisnopeuden muuttamismahdollisuuksille. Momentin ja pyörimisnopeuden tarkka säätämisen luo helpoksi se, että magnetointikäämistä ja ankkurikäämistä syötetään ja säädellään tasajännitteellä. Tasasähkökoneiden huonoina puolina ovat monimutkainen ja melko arvokas rakenne. Tämän lisäksi hiiliharjat ovat kuluva osa, joka vaatii vaihtoa. Hiiliharjojen lisäksi myös kommutaattori tarvitsee säännöllistä huoltoa.

2.1.2 Tahti- ja epätahtikoneet

Tahti- ja epätahtikoneet toimivat vaihtovirralla (AC), jonka vuoksi niitä voidaan kutsua vaihtovirtakoneiksi (Aura & Tonteri, 2009, s. 305). Yleisimpien tahti- ja epätahtikoneiden toiminta perustuu roottorin pyörivään magneettikenttään, joka muodostuu itsestään staattorin eli koneen paikallaan pysyvän osan symmetrisen kolmivaihekäämityksen ja siinä kulkevan vaihtovirran avulla. Koneen tyyppinimi määräytyy sen mukaan, pyöriikö koneen liikkuva osa eli

roottori samalla vai eri nopeudella magneettikentän kanssa. Tahti- ja epätahtimoottorit eroavat toisistaan niiden roottorin rakenteelta (mts. 333). Suljettu epätahtikone on yksinkertaisen rakenteensa ja kestävyytensä puolesta kuitenkin teollisuuden yleisin sähkökonetyyppi (Hieta-lahti, 2011, s. 59).

2.2 Sähkömoottorivalmistus

Vaasan ABB:n sähkömoottorivalmistusprosessi voidaan jakaa karkeasti kahteen isoon osa-alueeseen, joita ovat sähkömoottorin osien komponenttivalmistus sekä moottorin kokoonpano.

2.2.1 Komponenttivalmistus

Vaasan ABB:n (Sisäinen tietolähde, i.a.) sähkömoottoritehtaan komponenttivalmistuksessa valmistetaan suurin osa tehtaassa valmistettujen moottorien komponenteista. Muualla tehdyt komponentit tulevat ulkoiselta valmistajalta ostettuina tai alihankinnassa valmistettuna.

ABB:n (sisäinen tietolähde, i.a.) mukaan vaasan tehtaan komponenttivalmistukseen kuuluu staattori ja roottorilevyjen leikkaaminen ja latominen. Ladonnan jälkeen roottorilevyepetit viedään valimoon, missä roottoripaketin sisälle valetaan painevalumenetelmällä sulasta alumiinista tankoja. Tangot yhdistetään häkkikäämitykseksi roottorin päihin laitettavilla oikosulkurenkailla. Valamisen yhteydessä kuumen roottoripaketin sisälle puristetaan roottorimallille suunniteltu akseli. Roottoripaketin jäähtyttyä se sorvataan ja tasapainotetaan.

ABB:n (sisäinen tietolähde, i.a.) komponenttivalmistuksen ohjeen mukaan ladonnasta tullut staattorilevy paketti taas käytetään ns. vannekoneessa tai hitsauksessa, jonka jälkeen sähkölevyistä ladottu staattoripaketti pysyy yhtenäisenä. Tämän jälkeen paketti sorvataan ja kuljetetaan sisäisen logistiikan avulla käämintäosastolle. Kääminnässä koneen työkortille suunnitellusta kuparilangasta kelataan kelauskoneella vyyhdet, jotka kääminnän työntekijä hakee käämintäpöydälle staattoriraudan lisäksi. Käämijä käämii vyyhdet staattoriraudan uriin ja eristää ne toisistaan sekä staattoriraudan rungosta erilaisin uraeristein. Käämit pidetään tiiviinä pakettina sidontanauhalla ja eristyksellä. Käämitty staattori käytetään nopean sähköisen mittauksen läpi ja lähetetään hartsaamoon. Hartsaamossa käämitty staattori kyllästetään hart-silla lopullisen sähköisen, mekaanisen, lämpötilan ja ympäristön aiheuttaman stressin

kestämiseksi. Staattori ja roottorivalmistuksen lisäksi komponenttivalmistuksessa koneistetaan ja porataan ostetut valurautarungot.

2.2.2 Kokoonpano

ABB:n (sisäinen tietolähde, 17.7.2023) kokoonpanon työohjeen mukaan sähkömoottori koostetaan komponenttivalmistuksessa valmistetuista komponenteista sekä ostokomponenteista. Sähkömoottorin kokoonpano alkaa runkoon puristuksella, missä staattori painetaan suurella hydraulisella puristimella runkoon. Runkopuristuksen jälkeen moottorikaapelit liitetään ulkosiin kaapeleihin. Liitännän jälkeen tasapainotettu roottori asetetaan staattorin sisälle ja tarvittavat laakerit, laakerikilvet ja tiivisteet asennetaan. Tässä vaiheessa moottorin toiminta ja liitännät tarkistetaan rutiinikoestamalla moottori. Toimivaksi todettu moottori viedään koestuksesta maalaamoon, jonka jälkeen loppukokoonpanossa siihen asennetaan tarvittavat kilvet, tarrat sekä testataan toimivuus ja värinäarvot.

2.3 Hartsauksen tarkoitus

Hartsaus tarkoittaa työvaihetta, jossa staattoripakettien, muuntajien tai muiden sähkölaitteiden käämit hartsataan eli kyllästetään hartsilla. Hartsausmenetelmiä on useita, joista yleisimmät ovat valutus-, upotus- sekä tyhjiöhartsaus (Työturvallisuuskeskus (Ttk), 2019). Työvaiheen tarkoitus on suojata staattoria tai muuta sähkölaitetta siihen kohdistuvilta erityyppiseltä rasitukselta kuten lämmöltä, kosteudelta tai mekaaniselta värinäältä. Hartsausta voidaan kutsua myös toissijaiseksi eristykseksi, koska se vahvistaa staattorikäämyksessä käytettyjen kuparilankojen emalipinnoitetta, joka on määritelty ensimmäiseksi erityykseksi (Bdtronic, i.a.). ABB:n (sisäinen tietolähde, 19.9.2023) eristysmenetelmäohjeessa kerrotaan, että hartsilla päällystetään staattorin molemmissa päissä näkyvät kuparikäämykset, eristeet sekä lisälaitteet. Käämien ja eristeiden lisäksi hartsilla täytetään staattorin käämintävaiheessa syntyneet staattorin urien ja kuparilankojen väliset ilmataskut. Ilmataskujen täyttämällä ennaltaehkäistään tehokkaasti oikosulkujen syntyminen sekä parannetaan lämmön johtumista pois käämeistä. Hartsauksen jälkeen staattoreihin syntynyt hartsikerros kovetetaan kuivausuunissa tai joissain tapauksissa UV-valon avulla, jolloin hartsi kovettuu ja luo staattorin käämykselle mekaanisesti lujan ja yhtenäisen rakenteen. Kovettunut muovikerros estää myös kuparilankojen hankautumista toisiinsa sekä parantaa eristyksen jännitteenkestävyyttä.

2.4 Hartsausmenetelmät

ABB:n (sisäinen tietolähde, 19.9.2023) eristysmenetelmäohjeen mukaan hartsausmenetelmän valinta riippuu suurelta osin hartsattavien staattoreiden koosta ja halutusta tuotantokapasiteetista. ABB:n hartsaamossa käytetään valutushartsausmenetelmää suuren kokoluokan staattoreille sekä pienen kokoluokan staattorit kyllästetään upottamalla ne hartsialtaaseen.

2.4.1 Valutuskyllästys

ABB:n (sisäinen tietolähde, 19.9.2023) eristysmenetelmäohjeen mukaan trickling- eli valutuskyllästysmenetelmällä hartsataan yleensä ison kokoluokan staattoreita. Valutuskyllästysprosessissa staattori kiinnitetään hartsauslaitteistoon, puristamalla se kumisen tuurnan ympärille. Tuurnalla staattoria pystytään pyörittämään akselinsa ympäri. Itse valutuskyllästystä voidaan tehdä kahdella hieman toisistaan poikkeavalla tavalla. Käytetyt valutuskyllästysmenetelmät ovat manuaalinen valutus tai esimerkiksi sähköautojen moottorivalmistuksessa käytetyt automaattivalutuslinjastot. ViscoTecin (i.a.) mukaan staattorin esilämmitys tehdään syöttämällä virtaa staattorin johtimia pitkin tai lämmittämällä sitä uunissa. Esilämmityksen jälkeen staattoria pyöritetään vaakatasossa ja hartsia ruvetaan valuttamaan käämin eri kohtiin sijoitetuista suuttimista. ABB:n (sisäinen tietolähde, 11.9.2024) valutuskyllästysohjeessa esilämmitysprosessi pysyy samana, mutta staattoria ei jätetä vaakatasoon, minkä vuoksi ennen valutamista valutuskulma säädetään 0–20 asteen väliltä. Valutusprosessi tapahtuu valuttamalla hartsia kaatokannusta staattorin N-päähän. Hartsin valutus jatkuu niin kauan kuin läpivalumiseen kuluu aikaa. Läpivalumisella tarkoitetaan tilannetta, jolloin nestemäinen hartsi on päässyt tunkeutumaan staattorin uriin käämittyjen vyyhtien ohitse ja valuu D-päältä ulos. Valutuskyllästysprosessiin sisältyy eri vaiheita kuten valutus-, hyytelöitymis- sekä kovetusvaihe. Lopulta valmis staattori ohjataan 160 asteeseen kuivausuuniin hartsin lopullisen kovettumisen varmistamiseksi. Manuaalinen valutuskyllästysprosessi käydään vielä tarkemmin läpi luvussa 2.6.

2.4.2 Upotuskyllästys

ABB:n (sisäinen tietolähde, 19.9.2023) eristysmenetelmäohjeen mukaan upotuskyllästysmenetelmässä staattorit asetellaan häkkiin pystypäin ja niiden johtimet ja lisälaittejohdot kiinnitetään staattorin yläpuolelle häkkiin tai niille tarkoitettuun putkeen, ettei upotusvaiheessa hartsi pääse sotkemaan niitä. Esivalmistelun jälkeen staattorit upotetaan kyllästyshartsiin.

Upotuskyllästys soveltuu pienille tai keskikokoisille staattoreille. ViscoTecin (i.a.) mukaan staattorin annetaan olla altaassa, kunnes ilma on päässyt poistumaan eristeistä sekä raoista. Upotuskyllästysprosessi koostuu lämmityksestä, upotuksesta, geeliintymisvaiheesta, joka voi alkaa jo upotusvaiheessa sekä lopuksi kovetuksesta uunissa. ABB:n (sisäinen tietolähde, 19.9.2023) eristysmenetelmäohjeen mukaan upotuskyllästys tapahtuu automaattisesti koneelle syötettyjen parametrien mukaisesti ja on näin ollen varsin helposti säädettävä ja työntekijälle siisti menetelmä. Upotuskyllästyksessä pystytään samanaikaisesti hartsaamaan useita samankokoisia staattoreita.



Kuvio 2. Häkkeihin kiinnitetyt staattorit lähdössä upotuskyllästyksen.

2.4.3 Tyhjiöhartsaus

ABB:n (sisäinen tietolähde, 19.9.2023) eristysmenetelmäohjeen mukaan tyhjiöhartsauksessa staattorit asetellaan samantapaiseen häkkiin kuin upotuskyllästyksessä (luku 2.4.2), mutta vaakasuuntaan. Tyhjiöhartsaus soveltuu monen samankokoisen staattorin yhtäaikaiseen kylästykseseen ja se takaa tasaisen laadun, mutta staattoreihin jäävän hartsin määrä on muihin hartsaustapoihin verrattuna kuitenkin heikompi. Esivalmistelun jälkeen staattoreilla täytetty häkki nostetaan kyllästyssäiliöön. Prosessissa säiliöstä imetään ilma pois ja muodostetaan

sinne alipaine. Alipaineistettuun säiliöön syötetään hartsia, joka pääsee helposti tunkeutumaan staattorin ilmarakoihin ja eristyksiin. Kyllästysvaiheen jälkeen hartsi valutetaan pois ja häkki nostetaan myöhemmin uuniin loppukovetusvaiheeseen. Tyhjiökyllästys kestää noin tunnin verran.

2.5 Kyllästyshartsit ja varastointi

Hartsien kemiallisen koostumuksen takia ne voivat olla herkästi syttyviä, ihmiselle tai ympäristölle vaarallisia tai sisältää muuten haitallisia aiheita (Ttk, 2019). Koska aineet eivät ole luokiteltu ihmiselle tai ympäristölle täysin vaarattomiksi tai sisältävät muita riskitekijöitä, käsitelyssä ja varastoinnissa tulee ottaa huomioon niihin liittyvät riskit sekä määräykset.

2.5.1 Käytössä olevat hartsit

ABB:n (sisäisen tietolähde, 2024) käytössä olevien kemikaalien seurantajärjestelmän mukaan hartsaamossa on käytössä yksikomponenttista- sekä kaksikomponenttista polyesterihartsia. Yksikomponenttihartsia hankitaan 1100 litran IBC-konteissa ja polyesterihartsin pääkomponentit hankitaan erillisissä 200 litran peltitynnyreissä. Kaupalliset tyydyttymättömät polyesterihartsit koostuvat kahdesta pääkomponentista: tyydyttämättömästä polyesteristä sekä tyydyttymättömästä monomeeristä, kuten styreenistä. (Seppälä, 2005, s.148). ABB:n (sisäinen tietolähde, 2024) kemikaalien seurantajärjestelmän mukaan hartsaamossa polyesterihartsin pääkomponenttien lisäksi sekaan lisätään myös kvartsihiekkään täyteaineeksi, jolloin hartsin sekoitussuhde on 1:1:1 kutakin komponenttia. ABB:n ohjeistuksen mukaan tämän rekisterissä näkyvän monikomponenttisen polyesterihartsin käyttö ollaan vähitellen ajamassa alas, sillä se vaihdetaan rekisterissä näkyvään yksikomponenttiseen hartsiin.

2.5.2 Hartsien varastointi ja suojaus

ABB:n (sisäinen tietolähde, 2024) mukaan hartsit ovat kemikaaleja, jotka voivat olla vaarallisia tai aiheuttaa vaaratilanteita. Tästä syystä ne varastoidaan suljettuun viileään hartsivarastoon, jossa pidetään myös muita liottimia, kemikaaleja, rasvoja ja maaleja. Vaarallisten aineiden varastointi sisätiloissa edellyttää, että kemikaalivarasto on sijoitettu omaan palo-osastoonsa, mikä mahdollistaa myös erillisen ilmanvaihdon sekä kemikaalivuotojen hallinnan (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes), 2021). Varastotilat, laitteet ja laitteistot tulee olla

myös merkittynä mahdollisista vaaroista esimerkiksi kemikaalien vaaramerkinnöillä sekä suojalasi- tai -vaatteiden merkeillä.

ABB:ltä kerrotaan, että hartsivaraston yhteydessä on myös toinen ns. sekoitinhuone, jossa käytöstä poistuvaa polyesterihartsia on automaattisen sekoitinjärjestelmän avulla sekoitettu ja siitä manuaalisesti haettu ämpäreillä työpisteille. Yksikomponenttihartsin tullessa käyttöön ja sekoitustarpeen poistuttua tällä hetkellä sekoitinhuoneeseen on nostettu noin 70 cm korkeudelle IBC-kontti, josta yksikomponenttihartsia valutetaan manuaalisesti peltisankoihin ja viedään työpisteille. Tällaisissakin järjestelyissä turvallisuustason on käyttökohteessa oltava kuitenkin vastaava, kuin kiinteää säiliötä käytettäessä, vaikka IBC-kontti vaihdettaisiin kemikaalin loputtua (Tukes, 2021). Turvallisuustaso edellyttää sitä, että säiliökontti tulee olla allastetulla alueella koko prosessiin kiinnityksen ajan.

Hartsien varastointimääräysten lisäksi ABB:n (sisäinen tietolähde, 11.9.2024) valutuskyllästyksen työohjeen mukaan koko hartsaamon alueella kulkeminen edellyttää asianmukaisia suojarusteita, joita ovat tulen- ja sähkönkestävät housut, pitkähihainen paita tai työtakki, suojalasit, turvakengät, korvatulpat, nitrilikumihansikkaat sekä työpisteillä ja varastotiloissa moottoroitu hengityssuojain.

2.6 Staattorin hartsausprosessi

Tällä hetkellä Vaasan ABB:llä on käytössä kaksi erilaista hartsausmenetelmää, jotka ovat valutushartsaus sekä Hot Dip -upotuskyllästys. Tässä osiossa keskitytään pelkästään valutushartsausprosessin läpikäymiseen. Vaasan ABB:llä valutuskyllästyksessä on käytössä viisi erilaista hartsauslaitetta, jotka eroavat toisistaan laitevalmistajan, virran maksimisyötön ja akselin kantokestävyyden puolesta. Kaikilla laitteilla saadaan kuitenkin samanlainen lopputulos.

2.6.1 Esivalmistelu

ABB:n (sisäinen tietolähde, 11.9.2024) valutuskyllästysohjeen mukaan prosessi aloitetaan nostamalla valmis käämitty staattoripaketti esivalmistelupöydälle. Staattorien nostamiseen käytetään siltanostimeen kiinnitettyä koukkuvaakaa. Nostotapahtuman yhteydessä staattorin alkupaino kirjataan ylös. Esivalmistelupöydällä staattorin N-pään uriin vedetään kumisella lastalla kvartsihiekkasta ja parafiiniöljystä sekoitettua kittiä. Kitin tarkoituksena on estää

hartsausvaiheessa hartsin valumista kumituurnan ja staattorin sisäosan väliin. Kitin lisäksi esivalmistelussa staattorin N-pään käämityksen ympärille kierretään kreppipaperia muutamia kierroksia, jolloin käämin ympärille muodostuu tiivis ”suppilo”. Suppilolla helpotetaan valutusvaiheessa hartsin läpivalumista. Viimeinen esivalmistelun vaihe on kiinnittää staattorin kaksi vaihejohtinta yhteen metallisilla liittimillä. Vaiheet yhdistämällä staattorin käämi saadaan tasaisesti lämpiämään, kun jäljelle jäävästä vaiheesta syötetään sähkövirtaa.



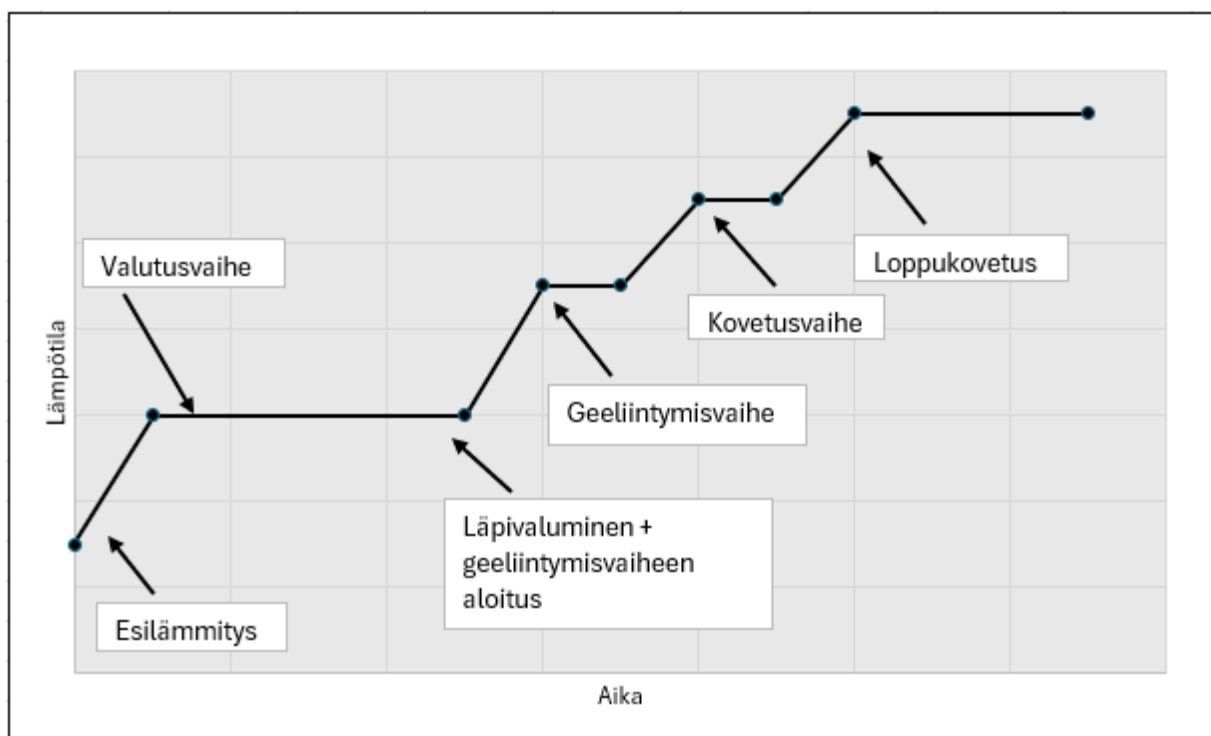
Kuvio 3. Esivalmisteltu staattoripaketti.

2.6.2 KytKentä ja hartsaus

ABB:n (sisäinen tietolähde, 11.9.2024) valutuskyllästysohjeen mukaan esivalmistelun jälkeen staattorin hartsaaminen pystytään aloittamaan. Prosessi aloitetaan ajamalla siltanosturilla esivalmisteltu staattori hartsauskoneen tuurnalle, jonka jälkeen kone puristaa tuurnaa niin, että se paisuu ja puristaa staattorin paikoilleen. Tämän jälkeen staattorin vaihejohdot kytetään hartsauskoneeseen sekä mahdolliset lisälaittejohdot sidotaan kiinni.

ABB:n (sisäinen tietolähde, 11.9.2024) valutuskyllästysohjeen mukaan hartsaus alkaa sijoittamalla tietokoneelle tai manuaalisesti koneesta säätämällä tarvittavat materiaalikoodit,

kylmävastuksen arvot, virran ja jännitteen arvot. Hartsausprosessi koostuu aina samoista vaiheista, joita ovat esilämmitys, valutus, hyytelöinti sekä kovetus.



Kuvio 4. Hartsausprosessin lämpötila/aika-kuvaaja.

ABB:n (sisäinen tietolähde, 11.9.2024) valutuskyllästysohjeen mukaan esilämmitysvaiheessa staattori lämmitetään syötettyyn lämpötilaan, joka on optimoitu valmistajan ohjeen ja sen mukaisesti, kuinka nestemäiseksi valutettava hartsi halutaan. Esilämmitysvaiheen aikana staattori nostetaan säädettyjen parametrien mukaisesti haluttuun kulmaan 0–20 asteen väliltä. Staattorin saavutettua haluttu lämpötila aloitetaan hartsin valuttaminen aiemmin esivalmisteluosiossa (2.6.1) mainittuun kreppipaperista tehtyyn suppiloon staattorin N-päähän. Valutusvaihetta jatketaan läpivalumiseen tarvittavan ajan. Kun hartsi rupeaa valumaan staattorin D-päästä merkiksi läpivalumisesta, lasketaan staattorin kulmaa haluttuun astelukuun ja aloitetaan kreppipaperisuppilon poistaminen. Kun paperi on poistettu, tehdään molempien käämi-
päiden huolellinen kastelu. Tämän jälkeen lämpötilaa aletaan nostamaan, jolloin hartsi rupeaa geeliintymään. Geeliintymisvaiheen aikana staattori kastellaan hartsilla vielä kertaalleen molemmista päistä. Geeliintymisvaiheen loppupuolella staattoria voidaan puhdistaa räiteillä roiskuneesta hartsista ja tämän jälkeen se jätetään lämpiämään koneeseen vielä syötetyn kovetusvaiheen ajaksi.



Kuvio 5 Hartsausprosessin valutusvaihe

2.6.3 Viimeistely ja loppukovetus

ABB:n (sisäinen tietolähde, 11.9.2024) valutuskyllästysohjeen mukaan kovetusvaiheen loputtua staattori nostetaan siltanosturilla viimeistelypöydälle, jossa työntekijä irrottaa vaihejohdoista liittimet sekä puhdistaa staattorin sisäpuolelle roottoriaukkoon valuneet hartsiroiskeet. Puhdistuksen jälkeen hartsatun staattorin paino kirjataan ylös ja sitten se nostetaan uuniin rullaradalle asetetulle alustalle. Ennen uuniin ajamista lisälaittejohtojen ja liitäntäkaapelien suojauskituksen kunto tarkistetaan ja koneeseen merkitään työkortista tarvittavat tiedot. Lopuksi staattori ohjataan rullarataa pitkin uuniin.



Kuvio 6. Viimeistelypöytä ja uunirata.

3 Kemiaallisten aineiden jakelujärjestelmät

Kemiaallisten aineiden jakelujärjestelmät koostuvat samoista komponenteista, joita käytetään muidenkin nesteiden kuljettamiseen. Näissä järjestelmissä tulee kuitenkin olla täysin tietoinen kuljetettavan aineen ominaisuuksista ja vaarallisuudesta, jotka tuovat järjestelmälle tiettyjä lisävaatimuksia. Tässä osiossa perehdytään jakelujärjestelmiin tai niiden osiin hartsin pumppaamisen ja kuljettamisen näkökulmasta sen sijaan, että käytäisiin läpi laajalti eri kemikaaleja.

3.1 Pumput

Pumppujen tehtävä on muuttaa mekaaninen teho hydrauliseksi. Pumpuille mekaaninen teho tulee yleisimmin pyörivän liikkeen muodossa joko sähkö- tai polttomoottorilta (Kauranne ym., 2013, s. 137). Pumppuja käytetään monien eri nesteiden siirtämiseen erilaisilla tilavuusvirroilla ja nostokorkeuksilla (Motiva, i.a.). Pumpputyyppejä on useita erilaisia ja niillä kaikilla on myös useita eri käyttökohteita. Teollisuudessa käytettävien pumppujen käyttökohteet ovat usein esimerkiksi voimalaitoksissa, tehtaissa ja kemian laitoksissa (Axflow, i.a.). Pumput voidaan jakaa niiden ominaisuuksien ja rakenteen puolesta kahteen päätyyppiin, joita ovat keskipakopumput ja syrjäytyspumput. Koska pumpputyyppejä on olemassa todella laajalti, käydään tässä osiossa läpi yleisiä käytössä olevia pumpputyyppejä, jotka voisivat soveltua viskoosisten aineiden, kuten hartsin, liikuttamiseen.

Keskipakopumpuiksi kutsutaan yleisesti pumpputyyppejä, joka käyttää keskipakovoimaa nesteiden siirtämiseen paikasta toiseen (AxFlow, i.a.). Yksinkertaisin keskipakopumpun rakenne on pumpun pesään sijoitetusta siipipyörästä. Siipipyörän pyöriessä sen keskikohtaan muodostuu alipaine sekä pyörän kehälle muodostuu virtausta sekä painetta, joka poistuu paineyhteestä eli pumpun ulostulokohdasta. Keskipakoisilla pumpuilla voidaan tehdä painetta ilman virtausta. Keskipakovoimaiset pumput voidaan jakaa vielä sekoitusvirtauspumppuihin sekä aksiaalityyppisiin pumppuihin.

Syrjäytyspumput voidaan jakaa kierrätyspumppuihin ja edestakaisin liikkuviin mäntä- ja kalvopumppuihin (AxFlow, i.a.). Riippumatta pumpputyypistä toimintaperiaate on kuitenkin sama. Pumpun toiminta perustuu sen syrjäyttämään nestemäärään jokaisella pyörähdyksellä imupuolelta painepuolelle. Koska pumppu syrjäyttää jokaisella kierroksella vakio-tilavuuden verran nestettä, sen tuotto on suoraan verrannollinen pyörimisnopeuteen. Tästä syystä

annostelukäytössä syrjäytyspumput toimivat hyvin. Seuraavissa luvuissa kerrotaan vielä tarkemmin erityyppisten syrjäytyspumppujen toimintaperiaatteesta ja soveltuvista käyttökohteista.

3.1.1 Mäntäpumput

Mäntäpumpuissa nesteen tai kaasun siirtäminen tapahtuu syrjäytyselimen eli männän avulla (Kauranne ym., 2013, s. 164). Mäntäpumput voidaan jakaa mäntien sijoittelun perusteella vielä kolmeen alaryhmään, joita ovat rivi-, radiaali- ja aksiaalimäntäpumput. Mäntäpumpuissa tilavuusvirta ei ohjaannu automaattisesti imupuolelta painepuolelle vaan ne tarvitsevat erillisen paineohjauksen imu- ja paineventtiileille tai pakko-ohjauksen, joka tehdään jakokaroilla tai -levyillä. Pumpun toiminta perustuu mäntien vuorottaisiin imujaksoihin, jolloin pumppukammioon muodostuu alipaine, jonka aikana kammioon päästetään nestettä ja painejaksoihin, jolloin paineventtiili avataan ja mäntä painaa nesteen pumpun painepuolelle.

3.1.2 Kalvopumput

Kalvopumput ovat nesteenannostelua vaativilla aloilla monipuolisesti käytössä oleva pumpputyyppi (AxFlow, i.a.). Kalvopumppuja on perinteisen moottorikäytön lisäksi mahdollista saada paineilmatoimisena sekä sähkötoimisena. Kalvopumput ovat syrjäytyspumppuja, joiden toiminta perustuu metallisen tai kumisen kalvon ja sen molemmilla puolilla olevien takaiskuventtiilien aiheuttamaan kalvon liikkeeseen. Kalvon liikkeessa ulospäin kammion tilavuus kasvaa ja paine alenee. Paineen alentuessa takaiskuventtiili aukeaa, mikä johtaa nesteen pääsemiseen pumppauskammioon. Kalvon liikkeessa sisäänpäin kammion tilavuus taas pienenee aiheuttaen paineen kasvun. Tässä kohtaa imupuolen takaiskuventtiili sulkeutuu ja painepuolen aukeaa, jolloin neste virtaa pumppauskammioista painepuolelle. Kalvopumput sopivat erityisesti tahmaavien aineiden, kuten hartsien, lietteiden ja vaarallisten aineiden pumppamiseen, sillä pumpussa nesteen kanssa kosketuksissa on ainoastaan pumppauskammio, kalvo sekä venttiilit.

3.1.3 Ruuvipumput

Ruuvipumput ovat eri viskositeetin omaavien nesteiden siirtoon soveltuvia syrjäytyspumppuja (AxFlow, i.a.). Ruuvipumput kestävät suurta vastapainetta ja takaavat tasaisen virtauksen

nesteelle. Pumput voivat olla yksi- tai moniruuvisia ja niiden toiminta perustuu ruuvin tai ruuvien pyöriessä muodostuviin onteloihin, joissa neste siirtyy eteenpäin. Ruuvipumput soveltuvat moneen eri käyttötarkoitukseen. Pumpuilla pystytään siirtämään erityisesti öljymäisiä, voitelemattomia tai epäpuhtauksiakin sisältäviä nesteitä.

3.1.4 Hammaspyöräpumput

Hammaspyöräpumput ovat syrjäytyspumppuja, jotka jokaisella kierroksella syrjäyttävät tietyn tilavuuden nestettä (AxFlow, i.a.). Hammaspyöräpumppuja on kahta eri tyyppiä sisäkkäis- ja rinnakkaishammaspyöräisiä. Riippumatta pumpun alatyylisestä pumpulla siirrettävä neste kulkeutuu imuliitännästä paineliitântään pumppukammion seinämän ja hammaslovioiden muodostamassa suljetuissa kammioissa.

Rinnakkaishammaspyöräpumpuissa toinen hammaspyörä on kytketty pyörittävän moottorin akseliin ja toinen pyörii vapaasti käytettävää pyörää vastakkaiseen suuntaan (AxFlow, i.a.). Hammaspyörien pyöriessä rattaiden hammaslovioiden väliin jäävä neste kulkeutuu kehän kautta painepuolelle (AxFlow, i.a.). Hampaiden ja imukammion seinien välyksen ollessa todella pieni estetään nesteen pääseminen ulkokehää pitkin takaisin imupuolelle.

Hammaspyöräpumpun, jossa rattaat ovat sisäkkäin toiminta perustuu moottorilla pyöritettävän ulkorattaan ja vapaana samaan suuntaan pyörivän sisärattaan välisiin tilavuudenmuutoksiin (AxFlow, i.a.). Ryntökohdan jälkeen hammaspyörät eroavat toisistaan aiheuttaen tilavuuden kasvamisen ja imuvaikutuksen syntymisen. Tässä kohtaa imuliitännästä tuleva neste täyttää hammaslovet. Hammaspyörien lähestyessä toisiaan hampaat lomittuvat ja aiheuttavat tilavuuden pienemisen, jolloin neste siirtyy hammaslovista paineliitântään. Hammaspyöräpumppujen yleisimmät käyttökohteet ovat öljyt, polymeerit, kemikaalit sekä teolliset- ja liikuvat hydrauliset sovellukset.

3.1.5 Kemiallisten aineiden pumppaaminen ja ongelmat

Kemiallisten aineiden siirtoon käytettävien pumppujen materiaalin ja varusteiden tulee kestää pumpattavan aineen kemiallisia vaikutuksia (Tukes, 2021). Nesteiden siirtämiseen suositellaan käytettäväksi pumppua, koska aineiden käsittelystä tulee hallitumpaa ja virtaus

pystytään todennäköisemmin pysäyttämään verrattuna painovoimaan perustuvaan aineiden siirtämiseen.

Yleisimpiä ongelmia mihin pumppujen kanssa törmätään ovat (Tukes, 2021):

- Siirrettävän aineen sekä vierasesineiden aiheuttamat tukkeumat
- Akselitiivisteiden ongelmat (reagointi aineen kanssa, kuivakäynti)
- Kavitaatio ja ilman pääseminen putkistoon
- Vääränlaisen pumpun käyttäminen, mikä johtaa turhaan kulumiseen
- Vääränlainen sähkömoottori pumpulle johtaa ylikuumenemiseen
- Laakerien vaurioituminen epäpuhtauksien, kulumisen tai voitelun puutteesta

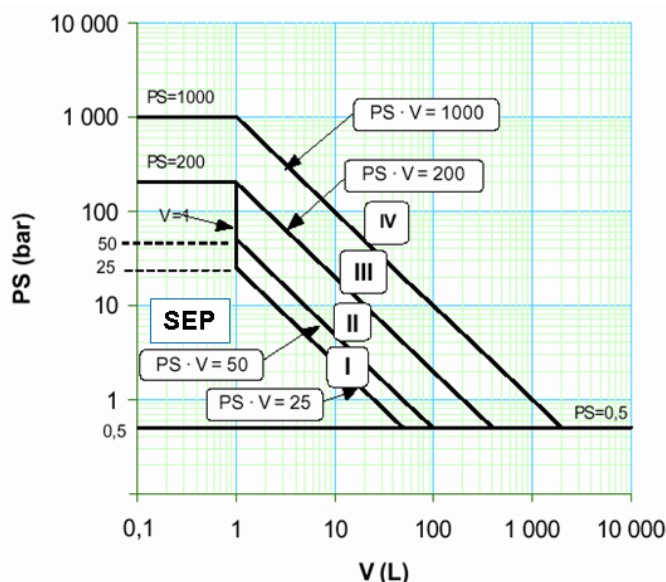
3.2 Putket ja letkut

Laitteistoihin käytettävät putket suunnitellaan ja valmistetaan niin että ne kestävät sille määrätyn kemikaalin vaikutukset sekä pysyvät tiiviinä, vaikka häiriötilanteen sattuessa siihen kohdistuisi ylimääräistä rasitusta (Tukes, 2023). Putkiston turvallinen käyttö vaatii sillä kuljetettavan nesteen ominaisuuksien tuntemista. Kuten putkiston myös sen varusteiden tulee kestää putkistossa kulkevan materiaalin aiheuttavat vaikutukset. Putkistojen varusteilla tarkoitetaan järjestelmässä käytettäviä venttiileitä, pumppuja, mittareita ja suodattimia.

Kemikaalisäädösten mukaan kaikkien vaaralliseksi koettujen kemikaalien kuljettamiseen käytettävien putkistojen tulee täyttää vähintään painelaitesäädösten luokan 1 vaatimukset (Tukes, 2023). Vaatimukset määräytyvät painelaitteen tyyppin, sisällön olomuodon ja sisällön vaarallisuuden mukaan. Luokka voidaan määrittää myös käyttämällä suurinta käyttöpainetta, tilavuutta tai nimellisuuruutta taulukon 7 mukaisesti (Tukes, i.a). Putkistoja suunnitellessa sekä hankkiessa voidaan vastuu jakaa kahdelle osapuolelle, joita ovat valmistaja sekä putkiston tilaaja (Tukes, 2023). Valmistaja pitää huolen putkiston riskiarvioinnista, suunnittelusta ja valmistuksesta, asiakirjoista, vaatimustenmukaisuusvakuutuksesta sekä CE-merkinnästä.

Tilaaajan vastuulle jää taas putkiston oikealainen käyttö, huoltaminen, tarkistaminen sekä työntekijöiden kouluttaminen.

Taulukko 1. Painelaiteluokan määrittäminen ominaisuuksien perusteella (Tukes, i.a.)



Järjestelmissä letkujen käyttö on harvinaisempaa ja niitä käytetään vain, jos käyttö pystytään perustelemaan tarpeelliseksi (Tukes, 2023). Useimmiten letkuja käytetään pumppujen sekä aktiivisesti vaihtuvan kemikaalin käyttöpaikan vuoksi.

3.3 Venttiilit

Venttiileillä ohjataan tai säädetään tilavuusvirran ja paineen suuruutta sekä suuntaa (Kauranne ym., 2013, s. 224). Venttiilit voidaan ryhmitellä suunta-, paine- ja sulkuventtiileihin. Tämän ryhmittelyn lisäksi on olemassa venttiilejä, joita pystytään käyttämään jokaiseen tarkoitukseen tai jatkuvatoimisesti (Keinänen ym., 2007, s. 117).

3.3.1 Vastaventtiilit

Vastaventtiilien tarkoitus on sallia nesteen pääsy haluttuun suuntaan sekä estää pääsy vastakkaiseen suuntaan (Kauranne ym., 2013, s. 231). Ohjattua venttiiliä käytettäessä nesteen pääsy on mahdollista sallia myös vastakkaiseen suuntaan. Venttiili koostuu sulkukappaleesta, joka on usein kartio, kuula tai lautanen, sekä jousesta, joka painaa sulkukappaleen

venttiilin istukkapintaa vasten. Istukkarakenne varmistaa venttiilin vuodottomuuden. Venttiilin toiminta perustuu nesteeseen paineen aiheuttamaan jousen vastaiseen työntövoimaan sulkukappaleeseen, jolloin kappale työntyy venttiilin sisälle sallien nesteeseen pääsemisen läpi.

Ohjattujen venttiilien yleisin ohjaustapa on sähköohjaus, mutta käytössä on myös manuaalisesti, pneumaattisesti ja hydraulisesti ohjattuja venttiileitä (Keinänen ym., 2007, s. 113). Sähköohjaus voidaan tehdä tasa- tai vaihtovirtamagneetin avulla. Tasavirralla tehtyä ratkaisua pidetään luotettavana sen pehmeiden ohjausliikkeiden puolesta sekä vaihtovirralla toteutettua ratkaisua käytetään lyhyen kytkentäajan vaativissa toteutuksissa.

3.3.2 Sulkuventtiilit

Sulkuventtiileitä käytetään nesteeseen pääsyn estämiseen putkiston eri osiin (Keinänen ym., 2007, s. 112). Osalla venttiilirakenteista pystytään vaikuttamaan myös tilavuusvirran suuruuteen ohjaustarkkuuden kustannuksella (Kauranne ym., 2013, s. 229). Sulkuventtiileillä pyritään saamaan järjestelmä täysin vuodottomaksi kiinniolevassa tilassa sekä auki ollessa venttiilin putkistoon aiheuttama virtausvastus pyritään saamaan mahdollisimman pieneksi.

3.3.3 Paineventtiilit

Paineventtiileillä vaikutetaan järjestelmään tai johonkin sen osaan paineeseen halutulla tavalla (Keinänen, ym., 2007, s. 114). Paineventtiili voidaan sille määrätyn tehtävänä perusteella luokitella säädettäväksi tai ohjattavaksi venttiiliksi. Säättökäytössä olevia venttiileitä ovat paineenrajoitus- ja paineenalennusventtiilit.

Paineenrajoitusventtiileillä pidetään järjestelmän paine asetetun painetason alapuolella (Keinänen ym., 2007, s. 114). Paineen saavuttaessa asetetun arvon, venttiili aukeaa ja päästää ylimääräisen tilavuusvirran takaisin säiliöön. Venttiilin toiminta perustuu sulkukappaleen koko pinta-alalle kohdistuvaan tulopaineeseen, jota rajoitetaan toisesta suunnasta jousen avulla.

Paineenalennusventtiileitä käytetään, kun halutaan säätää lähtöpainetta tai halutaan järjestelmän jonkin osan paineen olevan muuta järjestelmää alhaisempi (Kauranne ym., 2013, s. 268). Venttiilin tarkoitus on pitää lähtöpaine vakiona, riippumatta siitä onko tulopaine tasainen vai vaihteleva. Lähtöpaine saadaan alennettua, kun tulopaine lähentyy säädettyä arvoa, jolloin venttiili alkaa sulkeutua ja kuristaa virtausta putkessa. Virtauksen kuristamisen vuoksi

järjestelmän vastus kasvaa ja tällöin tulee pohtia pitääkö pumpun tuottamaan tilavuusvirtaa pienentää tai vaihtoehtoisesti ohjata ylimääräinen tilavuusvirta muuta reittiä takaisin järjestelmään.

3.3.4 Laitteistojen venttiilivaatimukset ja ongelmia

Jokaisen putkia sisältävän kuljetuslaitteiston tulee sisältää vähintään putkistossa olevien laitteiden huoltoa, käyttöä, tyhjentämistä tai erottamista varten tarvittavat tyhjennys- tai sulkuventtiilit (Tukes, 2021). Sulkuventtiilien tulisi olla sijoitettuna helposti tavoiteltavaan paikkaan ja niillä pitäisi pystyä sulkemaan kemikaalilinjat sekä käyttökohteessa että kemikaalisäiliön läheltä. Tämän lisäksi putkistojen kulkiessa eri palo-osastojen lävitse tulisi sulkuventtiilien olla sijoitettuna molemmille puolille. Onnettomuustilanteisiin varautumiseksi putkistoihin pystytään lisäämään myös ohjattavia venttiileitä, jotka pystyvät aukeamaan tai sulkeutumaan haluttujen toimintojen, kuten sähkön tai paineilman katketessa. Jokaisessa käytettävässä venttiilissä pitäisi olla selvästi merkittynä missä asennossa se milläkin hetkellä on.

Venttiilien vikaantuessa usein esiintyviä ongelmia ovat niiden tiivistymisen vajavaisuus, joka aiheuttaa vuotamista tai tihkuamista (Tukes, 2021). Monien venttiilien vikaantumiseen johtaa usein jokin tai useampi näistä asioista:

- Valmistuksessa syntyneet virheet
- Vääränlaiset käytettävät materiaalit
- Asentajan tai käyttäjän aiheuttavat virheet
- Lika putkistossa
- Osien kuluminen ja tärinä

3.4 Automaation ohjausjärjestelmät

Ohjausjärjestelmä, automaatiojärjestelmä ja säätöjärjestelmä ovat nimiä, joilla kutsutaan automaattisten laitteiden ja koneiden eri ohjausmenetelmiä (Keinänen ym., 2007, s. 209). Ohjausjärjestelmällä tarkoitetaan usein ohjausta, joka koskee yksittäistä laitetta tai laitteistoa.

Laajasti käytössä olevia ohjausjärjestelmiä ovat esimerkiksi PLC eli ohjelmoitava logiikka sekä PID-säädin (mts. 210). Ohjausjärjestelmät sisältävät myös koneen käyttäjälle tarpeellisen käyttöliittymän, jonka avulla sen toimintaan pystytään vaikuttamaan.

3.4.1 PLC-ohjaus

PLC eli ohjelmoitava logiikka on mikroprosessorilla varustettu tietokone, jota voidaan käyttää melkein minkä tahansa tuotantoprosessin, koneen tai linjan ohjaamiseen (Keinänen ym., 2007, s. 212). Kompaktilla ohjelmoitavalla logiikalla korvataan aiemmin käytössä olleet releohjaukset, jotka laajoissa järjestelmissä vaativat valtavasti komponentteja sekä sekavat johdotukset. Ohjelmoitavat logiikat voidaan jakaa kahteen ryhmään sen perusteella koostuvatko ne erillisistä moduuleista vai sisältävätkö ne kiinteän IO-määrän (mts. 222). Moduuleista koottu logiikka pystytään kokoamaan jokaiseen tarpeeseen sopivaksi käyttäjän valitsemista sisään- ja ulostulo sekä kenttäväylämoduuleista, kun taas kiinteässä yksinkertaisiin ja pienempiin käyttötarkoituksiin soveltuvassa paketissa niitä ei pystytä muokkaamaan.

Ohjelmoitava logiikka koostuu erillisistä komponenteista, joita ovat tulopiirit, lähtöpiirit, keskusyksikkö, ohjelmamuisti sekä erillinen ohjelmointilaitte (Keinänen ym., 2007, s. 225–226). Logiikat itsessään eivät tarvitse erillistä jännitelähdettä, mutta tulo- ja lähtöpiireihin liitetyt laitteet tämän vaativat. Logiikan toiminta perustuu käyttäjän vapaasti valitulla logiikkaohjelmointikielillä koodattuun ohjelmaan, joka koostuu logiikkaporteista. Porttien lisäksi ohjelmat sisältävät erilaisia käskytyksiä, joilla pystytään esimerkiksi käynnistämään ohjelman sisäisiä ajastimia tai laskureita. Logiikka itsessään pyörittää ohjelmakiertoa, joka lukee käyttäjän ohjelmoituja rivejä nopeudella 0,0005–0,1 ms/rivi sekä tarkkailee tulojen ja lähtöjen tilaa.

Logiikan tulopiireihin liitetyt laitteet ovat erilaisia antureita, kytkimiä tai valokennoja (Keinänen ym., 2007, s. 225–226). Nämä voivat antaa logiikalle binäärisiä eli kaksitilaisia tai analogisia eli sekalaisia arvoja. Keskusyksikkö vastaanottaa logiikan tulopiireihin tulleet signaalit ja toteuttaa sen ohjelmamuistiin tehdyn logiikkaohjelman mukaisesti käskyt, ohjaukset sekä laskutoimitukset. Näiden toimintojen tekemiseen keskusyksikössä on käytössään pieni määrä työmuistia. Logiikan suoritettua ohjelmoitavat käskyt lähtöpiirit antavat ohjaussignaalin toimilaitteille. Erilaisia toimilaitteita voivat olla esimerkiksi kontaktorit, releet, lamput ja venttiilit.

3.4.2 PID-säädin

Teollisten prosessien säätämien on mahdollista toteuttaa esimerkiksi käyttäjän manuaalisesti tehdyillä ohjaustoimenpiteillä (Harju & Marttinen, 2000, s. 9). Automatisoiduissa laitteistoissa säätöprosessi on toteutettu automaattisilla säätimillä ja räätälöity ohjaamaan laitetta tai prosessia, jonka toiminta tiedetään ennaltaan. Tällaiset säätimet saavat kenttälaitteiden prosessimittauksesta takaisinkytkennällä tietoa, jonka perusteella säätimet muokkaavat lähetettyä ohjaussignaalia. Säätimet ovat osana säätöpiiriä, johon kuuluvat itse prosessi toimilaitteen, anturit ja lähettimet sekä säädin (mts. 13). Erilaisia PID-säätimiä ovat PI, P, PD ja PID (mts. 67). PID-säätimien lisäksi on olemassa lukuisia muita säädinmalleja.

PID-säätimen tai muiden eri varianttien toiminta ja nimi tulee sen toiminnasta. Säätimen P-osa tarkoittaa suhdetermiä eli yksinkertaistettuna säädin kertoo sen saaman lähtöarvon P-osaan annetulla kertoimella (Harju & Marttinen, 2000, s. 69). P-osaa muokkaamalla saadaan säätimen lähtösuuretta suurennettua tai pienennettyä riippuen onko tulosuure negatiivinen vai positiivinen. Säätimen I-osa on integroiva säätö, jossa säätimen signaalin vakiotaso korvataan ajan funktiona muuttuvalla erosuureen integraalilausekkeella (mts. 72). Tämä tarkoittaa ohjauksen ohjaussuureen muuttumista niin kauan kunnes säätöpoikkeamaa ei enää ole. Integroimalla ohjaus saadaan muuttumaan tasaisesti eikä isoilla loikkauksilla kuten pelkässä P-säätimessä. PID-säätimessä D-osa tarkoittaa derivoivaa säätöä (mts. 73). Derivoivalla säädöllä tarkastellaan ero- tai mittaussuureen muuttumisnopeutta eli matemaattisesti kulmakerointia. Muutosnopeuksiin ennakoivalla tavalla reagoimisen vuoksi säädintä käytetään häiriöiden kompensointiin, jolloin oikein säädettynä säätimeen tulevat äkkinäiset signaalipiikit kompensoidaan vastakkaisella nopealla piikillä. Yhdistämällä nämä kolme P-, I- ja D-säätimet saadaan yksi PID-säädin, joka laskee ohjauksen näiden kolmen erikseen säädetyin osan summasta (mts. 67).

4 Automatisointisuunnitelman kokoaminen

Toimeksiantajan tavoitteet työlle olivat nopeuttaa hartsin saamista työpisteille sekä vähentää tai poistaa kokonaan työntekijöitä rasittavat nostoliikkeet. Näiden ongelmien ratkaisemiseksi mietittiin ratkaisua automatisoida nykyistä manuaalista hartsin kuljetusta ja käyttöä valutus-
kyllästyksessä.

Hartsin kuljetuksen ja prosessiin syöttötavan muuttamisesta pidettiin tiivistä yhteyttä toimeksiantajan kanssa sekä selvitettiin millaista järjestelmää tai mitä järjestelmältä odotettaisiin. Samalla keskustelujen edetessä työ laajeni niin suureksi, että suunniteltu aikataulu ei millään riittäisi. Siksi työtä rajattiin alkuun suunnitellusta koko hartsaamo kattavasta pumppaus- ja jakelujärjestelmästä yhteen hartsikoneeseen kohdistuvaan valutuksen automatisointisuunnitelmaan. Myöhemmäksi projektiksi jäisi muille hartsikoneille samantyylisten järjestelmien suunnittelu sekä lopuksi yhteinen hartsisyöttö varastolta. Vision selkiytyessä siitä, millaista järjestelmää kohteeseen tarvittaisiin, ruvettiin tekemään selvitystyötä hartsauslaitteisiin perehtyneistä laitevalmistajista sekä käytössä olevan hartsin toimittajalta.

4.1 Newtech

Hartsikoneeksi, jolle hartsin automatisoitu syöttö sekä valutus ensimmäiseksi suunnitellaan, valikoitui Newtech. Koneen valinnassa huomioon otettavia seikkoja olivat sen pyöritys- ja virransyöttölaitteiston automaation taso sekä koppimainen ja turvaovilla varustettu rakenne. Newtech on ABB:n hartsaamon suurin hartsikone kantavuuden ja virransyötön puolesta. Newtech:llä hartsataan enimmäkseen runkokoon 400, 450 ja 500 staattoreita. Suuren kokonsa puolesta nämä staattorit vievät myös eniten hartsia, mikä näkyy suoraan käyttäjän hartsausprosessin aikana tehtyjen nosto- ja kannatteluliikkeiden määrässä. Newtechin rakenteen ja turvaominaisuuksien takia, valutusjärjestelmällä saataisiin tehostettua hartsausprosessia verrattuna nykyiseen. Käsin hartsattaessa työntekijän tulee avalla koneen turvaovia, mikä johtaa virransyötön katkeamiseen ja staattorin lämpötilan laskemiseen. Hartsaustapaa muuttamalla turvaovia ei hartsauksen aikana tarvitsisi juurikaan avalla, mikä nopeuttaisi huomattavasti hartsauksen kestoa ylläpitämällä virransyöttöä.



Kuvio 7. Newtech-hartsauslaitteisto.

4.2 Lähtötiedot ja laitevalmistajien kartoitus

Ennen valutuslaitteiston kokonaisuuden suunnittelua käytiin läpi mitä hartsauslaitevalmistajilla on markkinoilla tarjolla sekä minkälaista tekniikkaa nykyään on käytössä. Toimeksiantajalla oli ennestään kontakteja eräisiin laitevalmistajiin, jotka esimerkiksi olivat toimittaneet ABB:llä käytössä olevia hartsauskoneita. Tämän lisäksi hartsitoimittajalta tuli tietoon valmistaja, jonka laitteilla oli käytetty samaa hartssia. Laitevalmistajat, joiden valikoimaa käytiin kartoituksessa läpi ovat Technofirma, Hedrich, ViscoTec, Newtech ja Bdtronic.

Toimeksiantajan aiempien kontaktien lisäksi hartsinkäsittelypumpuista ja laitteista saatiin tietoa niin suomalaiselta pumppauslaitevalmistajalta AxFlowilta sekä ottamalla yhteyttä ABB:n toiselle sähkömoottoritehtaalle Kiinaan Shanghaihin, minne samantapainen automaatio- ratkaisu oli aikaisemmin ostettu. Kiinaan rakennetusta järjestelmästä saatiin suuntaa siihen, millaista laitteistoa olisi järkevää rakentaa. Kiinan tehtaalta tuotekehityspuolen insinöörit jakoivat myös tietoa laitteiston epäkohdista ja ongelmista.

4.3 Laitteiston spesifikaatioiden määrittäminen

Toimeksiantajan hyväksymän ja toimivan valutusjärjestelmän tulee täyttää ennalta määrätyt ehdot sekä toimia halutun toimintakierron mukaisesti. Jotta automaatiojärjestelmällä saataisiin korvattua käsin hartsaaminen, täytyy sen täyttää edellytykset hyvän hartsaustuloksen saamiseksi sekä olla helppo ja varmatoiminen. Tärkeimpänä hyvän hartsaustuloksen saamiseksi on taata staattorille luja ja kestävä rakenne hyvällä hartsin täytösprosentilla. Täytösprosentin ja hyvien sähköisten mittaustulosten saamiseksi ABB:n tämänhetkinen hartsaus perustuu runsaaseen valutettavan hartsin määrään sekä staattorin kallistamiseen. Näistä ominaisuuksista ei myöskään oltu valmiita luopumaan.

Vaadittujen ominaisuuksien määrittämiseksi taulukoitiin asiakastarpeita. Asiakastarpeiden määrittämiseksi ei laajempaa tutkimusta tarvinnut tehdä, sillä koneenkäyttäjän, tuotekehityspuolen sekä oman hartsauskokemuksen tiedoilla nämä pystyttiin arvioimaan ja taulukoimaan tärkeyden perusteella asteikolla 1–5.

Taulukko 2. Asiakastarpeen ja painoarvon määrittäminen.

	Asiakastarve	Tärkeys (1-5)
1	Nostoista luopuminen	5
2	Hartsausprosessin nopeutuminen	4
3	Laitteiston toimivuus	5
4	Laitteiston helppo viikkohuolto	3
5	Laitteen monipuolinen säätö	4
6	Laitteen helppokäyttöisyys	4

Taulukko 3. Tarkemmat spesifikaatiot asiakastarpeiden perusteella.

Asiakastarve	Tarkempi spesifikaatio	Tärkeys
1,2	Valutus ja hartsin keräys automaattisesti	5
3,5	käyttäjän tulee pystyä säätämään syöttömäärää ja pitää se tasaisena	4
2,5	Syötön nopeus tulee olla tarpeeksi suuri alkuvaiheessa	3
5,6	käyttäjällä tulee olla monipuoliset mutta yksinkertaiset fyysiset säätöpainikkeet	4
3,4	Laitteen tulee olla helppohuoltoinen ja vikatilanteessa ei saa estää manuaalista	3

Tavoitteena laitteiston sijoittelun ja helppokäyttöisyyden suhteen oli, että se asennetaan hartsikoneen yhteyteen ilman, että staattorien kiinnittäminen vaikeutuu. Tämä tapahtuisi paikoittamalla laite niin, että myös valutuslaitteen vikatilanteessa staattoreita olisi mahdollista ajaa vielä vanhalla manuaalisella tavalla huollon ajan.

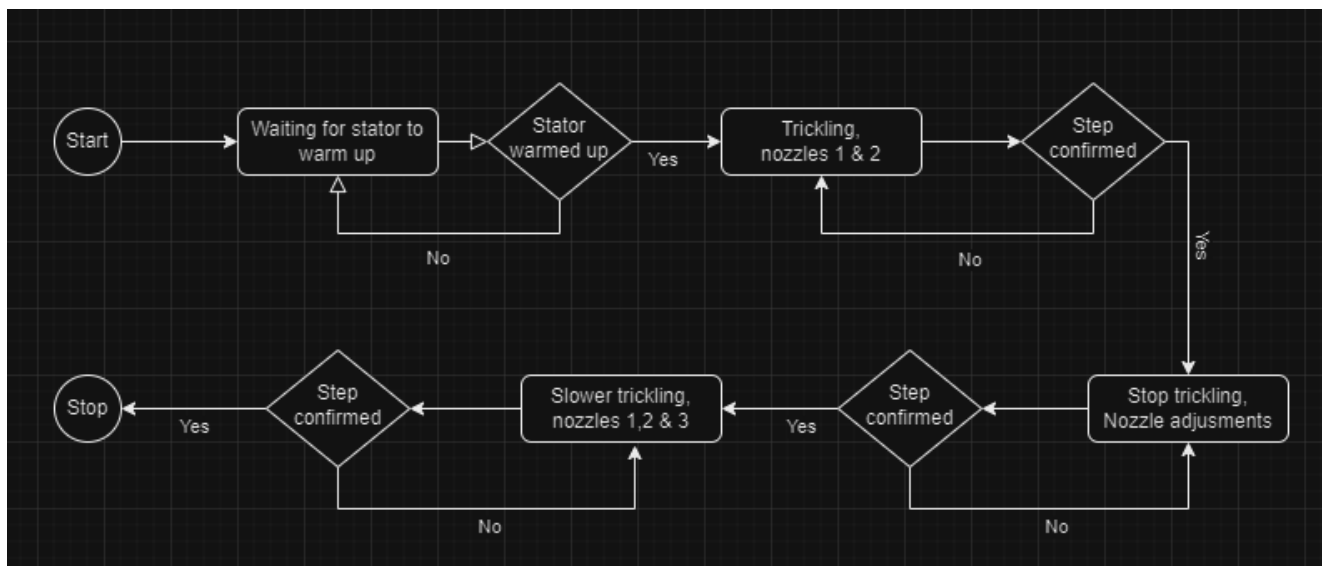
Asiakkaalle tärkeää on hartsin valutuksen ja keräämisen automatisointi, jonka seurauksena nostoliikkeistä pystytään luopumaan. Koko hartsausprosessin automatisointia tämä ei kuitenkaan tarkoita sillä kyseessä on vanhaan koneeseen asennettava lisäosa. Laitteistolta odotetaan myös tuotantokapasiteetin nousua sekä käyttäjäystävällistä kokonaisuutta. Koska valutuslaite hankitaan erillisenä laitteena hartsikoneen yhteyteen, vaaditaan tälle myös oma ohjausjärjestelmä tai integrointi hartsikoneen pyöritys- ja virransyöttölaitteisiin. Laitetyypistä riippumatta koneenkäyttäjälle halutaan näyttöpaneelin lisäksi fyysiset ohjauspainikkeet kosketusnäyttöjen sijasta. Hartsaus- ja maalausikäytössä olleet paneelit ovat toimineet huonosti edellisten kokemusten perusteella.

4.4 Automaatiokuvaus

Koska laitteella ollaan korvaamassa nykyään manuaalisesti tehtävää työtä, voidaan siltä haluttu ohjelmakulku koota ilman erityistä selvitystä poimimalla hartsauksen eri vaiheet ja ketjuttamalla ne peräkkäin muodostaen halutun tyyppisen ohjelman. Koneenkäyttäjälle tulisi ohjelmakierron sujuvaan ajoa varten sisällyttää ohjauspaneeli sisältäen seuraavat ominaisuudet:

- Käynnistys-painike
- Stop-painike
- Reset-painike
- Hätäseis-painike
- Liuku- tai rullasäädin pumpun ohjaukselle
- Vaihekuittaus-painike
- Näyttö parametrien säätöön ajo-ohjelmille sekä anturiarvoille

Valutusohjelman haluttiin vastaavan nykyistä menetelmää. Ohjelmaa ajettaessa käyttäjän tulisi edelleen seurata hartsausprosessia ja säätää syöttöpumppua sekä tehdä vaihekuittauksia valutus, hyytelöimis- ja kovetusvaiheille. Toivotusta valutuslaitteen toiminnasta koostettiin tilakaavio käyttäen draw.io-sovellusta.



Kuvio 8. Valutuslaitteen tilakaavio.

Valutuslaitteen halutusta toiminnasta koostetussa tilakaaviossa on aloituskäskyn jälkeen kahdeksasta tilasta koostuva ohjelma. Ohjelman siirtyminen eri vaiheiden välillä vaatii jokaisessa välissä käyttäjän manuaalisen kuittauksen sekä erilaisten ajastimien tai anturiarvojen, kuten lämpötilan, täyttymisen. Valutusohjelman haluttu kulku on kuviossa 8 nähtävien etappien mukaisesti:

1. Valutuslaitteen ja ajo-ohjelman käynnistyksen jälkeen jäädään odottamaan hartsikoneelta tulevaa signaalia staattorin saavuttamasta valutuslämpötilasta.
2. Lämmityskuittauksen jälkeen aloitetaan valutus staattorin kreppipaperilla valmisteltuun N-päähän suuttimista 1 ja 2.
3. Staattorin läpivaluessa koneenkäyttäjä pysäyttää valutuksen vaihekuittauksella. Tässä vaiheessa myös kreppipaperi poistetaan ja suuttimet suunnataan uudelleen.

4. Vaihekuittauksella valutusta jatketaan alkua hitaammalla valutuksella N-pään suuttimista käämin sisä- ja ulkopinnalla sekä D-pään eli liitäntäpäähän suuttimesta numero 3 käämin koko leveydelle.

5. Viimeisellä vaihekuittauksella valutus lopetetaan sekä ohjelma palaa aloitustilaan.

5 Selvitys laitevalmistajille

Tässä työn osassa käydään läpi millaisia tuloksia laitevalmistajilta saatiin heille kohdistettuihin kysymyksiin laitteistoista. Kyselyssä haettiin työssä määriteltyjen spesifikaatioiden täyttävää sekä määritellyn valutusohjelman omaavaa laitteistoa toimeksiantajalle.

5.1 Automaattiset valutuslinjastot

Usealla laitteistovalmistajalla oli tarjolla automaattisia valutuslinjastoja. Valutuslinjastoilla pystyttäisiin hartsaamaan useita staattoreita yhtäaikaisesti valuttamalla monella vierekkäisellä vaakatasossa pidettävällä tuurnalla ja kuljettamalla ne linjastoa pitkin kuivausuuniin. Vaihtoehtona löytyi myös asiakkaan tarpeen mukaan laajennettava robottilinjasto, jossa valmiit paketit viedään robotin toimesta uuniin. Linjastoja oli myös muille hartsaustyypeille, kuten upotuskyllästykseksi ja vakuumikyllästykseksi. Automaattiset linjastot kuitenkin painottuivat pienen ja keskikokoisten staattorien hartsaamiselle. Tämä sulkee jo selvityksen alkuvaiheessa usean valmistajan pois, sillä hakukriteereinä pidettiin suurta kokoluokkaa sekä hartsaustyyppiltä valutushartsausta.

5.2 Tarkkaan hartsimäärään perustuva valutus

Toisena vaihtoehtona olisi nykyisin enemmän käytössä oleva sekoittaja ja suutin ratkaisu, joka perustuisi hartsin tarkan määrän laskemiseen ja valuttamiseen hitaasti staattorin käämitykseen. Laitteistossa hartsi pumpattaisiin tynnyreistä sekoitinsäiliöön, josta se pumpattaisiin edelleen erityisen tarkkaa mittaavia antureita sisältävien suutinpäiden läpi käämityksen pinnalle. Toimiakseen suunnitellusti laitteen ajo-ohjelmalle tulisi määrittää tarkasti staattorin vaatiman hartsin määrä. Koska ABB:n hartsaamossa jokainen staattori on hieman erilainen sekä tarkkojen hartsimäärien määrittäminen on lähestulkoon mahdotonta, ei laitteen operaattori pystyisi täyttämään koneen vaatimia arvoja. Lisäksi hartsin valutus tulisi tapahtua varsin hitaasti, jotta käämin olisi mahdollista vastaanottaa syötetty hartsi pudottamatta sitä altaaseen. Näistä syistä vaarana olisi hartsausprosessin liiallinen pitkittyminen sekä hartsauksen laatu saattaisi kärsiä väärin syötettyjen arvojen seurauksena.



Kuvio 9. Kuva sekoittaja ja suutin -laitteistosta. (ViscoTec, 2020).

Tähän laitteistopakettiin ei myöskään sisälly ratkaisua sille, mihin ja miten valutussuuttimet itse hartsausprosessiin asennetaan. Hartsauslaitteistoon valutusjärjestelmän asentamiseksi pitäisi ulkopuoliselta yritykseltä pyytää tarjous asennuksen suunnittelusta sekä toteutuksesta. Hintaa laitteistolle on vaikea arvioida juuri erillisten suunnittelu- ja asennustöiden kilpailuttamisen vuoksi.

5.3 Kustomoitu valutuslaite

Kolmantena vaihtoehtona oli vaatimuksia vastaava kustomoitu valutuslaite. Vaatimukset täyttävän valutuslaitteiston toimittajaksi tulisi Newtech, joka on valmistanut myös alkuperäisen hartsikoneen, jolle automatiikkaa oli ensimmäisenä tarkoitus suunnitella. Valutuslaitteisto rakentuisi Newtechillä tarjolla olevan valmiin suunnitelman päälle, josta muokattaisiin ABB:n tarpeisiin soveltuva. Selvitystä tarvitsisi tehdä pumpun virtausmääristä, hartsin viskositeettiarvoista sekä muista parametreista. Valutuslaite koostuisi hartsauslaitteen ulkopuolelle sijoitettavasta pumppuyksiköstä, ohjauspaneelistä sekä laitteen kopin sisäpuolelle asennettavasta runko-osasta, johon asennetaan letkut, venttiilit sekä anturit. Newtechin tarjoaman laitteen hinnaksi arvioitiin noin 70 000 euroa.

Koppiin asennettavan valutuslaitteiston runko tulisi olemaan putkesta tai metallisesta palkista valmistettu puomi, joka kiinnitettäisiin lukittavalla saranalla hartsauslaitteen kääntyvään

takalevyyn. Tämä mahdollistaisi esteettömän tilan kytkentävaiheessa, missä staattoria liikuttellaan siltanostimella tuurnalle. Lisäksi valutuksen kallistusvaiheessa kehys kääntyisi hartsikoneen takalevyn mukana, poistaen ongelmat mahdollisesta puomin ja staattorin yhteentörmäyksestä. Jykevä kehys toimisi kiinnitysalustana ulkoisesta pumppauslaitteesta tuleville jämäkästä taivuteltavasta materiaalista tehdyille hartsiletkuille sekä niiden päähän kiinnitettävälle suuttimille. Taivuteltavan letkun ansiosta suuttimet pystytään kääntämään käyttäjän itse valitsemaan asentoon. Tämän lisäksi puomiin kiinnitettävät letkut asennetaan manuaalisesti säädettäviin kannattimiin. Manuaalisen säädön, vuotojen ja suutinhuoltojen helpottamiseksi jokaisen suuttimen eteen asennetaan myös manuaalisesti toimiva sulkuventtiili.



Kuvio 10. Kuva valutuslaitteen runko- ja suutinosasta (Alliance winding, i.a.).

Koneen ulkopuolinen pumppuyksikkö tulisi olemaan jämäkkäprofiilinen hartsivaunu. Vaunun edessä on pienet ohjurit hartsitynnyrin kiinnittämistä helpottamaan. Vaunun päälle on sijoitettu moottori- sekä pumppuyksikkö, jolla sivulle kiinnitetystä tynnyristä saadaan hartsiliikkeelle. Pumpputyypinä toimisi todennäköisesti hammaspyöräpumppu. Itse vaunun sisällä on moottorin ohjaukseen käytettävä säädettävä taajuusmuuttaja sekä paineen ja hartsimäärän seurantaan käytettävät sensorit.

Pumppauslaitteen taajuusmuuttajan ohjaus sekä hartsausohjelmien valintaa ohjataan Siemensin ohjelmoitavalla logiikalla ja tähän asennettavalla HMI-näyttöpaneelilla.

Ongelmaksi kustomoidulla valutuslaitteella jää staattorin ylivaluvan hartsin kerääminen. Valutuslaitteisto saadaan syöttämään hartsia työn toimeksiantajan haluamalla tavalla, mutta ylivaluva hartsi jää edelleen kerättäväksi manuaalisesti.

5.4 Tulokset ja ratkaisu

Selvityksen tulosten perusteella nykyisin käytössä olevan manuaalisen hartsaustavan automatisointi osoittautui melko haastavaksi. Eri toimittajilta saatujen vastausten perusteella karsiutui moni vaihtoehto heti alkutekijöissä pois. Oikeastaan lähes kaikkia haluttuja vaatimuksia täyttäviä ratkaisuja löytyi vain yhdeltä selvitykseen vastanneelta valmistajalta Newtechiltä. Puuttuvaa valuneen hartsin keräämisjärjestelmää pidettiin kuitenkin tärkeänä osana laitteen kokonaisuutta. Tästä syystä valmistajan kanssa tehtiin lisäselvitystä kertaalleen lämmenneen hartsin kelpoisuudesta uudelleenkierrätykseen. Käytetty hartsi voitiin myöhemmin todeta käyttökelpoiseksi, jolloin laitevalmistajalta voitaisiin pyytää tarjous hartsin keräämiseen tarkoitusta valutuslaitteen osasta.

Hartsin keräyslaite lisäosana valutuslaitteeseen maksaa noin 30 000 euroa. Hartsin kierrätyslaite koostuu uudesta valutusaltaasta, välisäiliöstä sekä erillisestä pienemmästä pumpusta. Altaan kautta valuva käytetty hartsi kulkeutuu suodattimen läpi välisäiliöön. Välisäiliöstä hartsipinnan tason noustessa pinnankorkeutta mittaava anturi aktivoituu sekä käynnistää erillisen pumpun syöttämään hartsia uudelleen erillistä putkea ja suutinta pitkin takaisin valutusprosessiin.

6 Pohdinta ja yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja selvittää tapaa automatisoida sähkömoottorien staattorihartsausprosessia. Tarkoituksena oli muuttaa nykyinen käsityönä tehtävä hartsausprosessi niin, että toistuvat työntekijöitä kuormittavat nostot jäisivät kokonaan pois. Täten työergonomiaan saataisiin huomattavia parannuksia sekä mahdollista tuottavuuden nousua.

Työ aloitettiin selvittämällä pintapuolisesti, minkälainen nykyinen hartsausprosessi on ja mitä sen automatisoinnilta todella lähdetään hakemaan. Seuraavassa vaiheessa kerättiin toimeksiantajalta jo ennalta olevia kokemuksia pumppauslaitteista sekä tiedossa olevia kontakteja laitevalmistajiin. Saatujen kontaktien sekä internetin avulla selvitettiin, millaisia jo olemassa olevia laitteita laitevalmistajilla on markkinoilla.

Hartsauslaitevalmistajien selvityksen jälkeen pystyttiin muodostamaan hyvä yleiskuva siitä, millaisia laitteita on tällä hetkellä markkinoilla ja mihin ne kykenevät. Selvityksen yhteydessä hartsaamon käyttöön soveltuvan valutuslaitteen spesifikaatioiden määrittäminen pystyttiin aloittamaan. Määrittely suoritettiin selvittämällä toimeksiantajan asiakastarpeet ja niiden arviointi tärkeys asteikolla 1–5.

Asiakastarvemäärittelyn jälkeen nykyisestä käsityönä tehtävästä valutustavasta kerättiin prosessin eri työvaiheet sekä luotiin niiden perusteella selvitettävän valutuslaitteen automaatio-ohjelman toiminta sekä sitä kuvaava tilakaavio.

Työn suunnitteluosassa syntyneiden asiakastarvemäärittelysten ja halutun automaatio-ohjelmakuvauksen perusteella pystyttiin selvitykseen osallistuvilta hartsauslaitevalmistajilta pyytää tarjouksia vaatimuksia vastaavista laitekokonaisuuksista. Tulokset jakautuivat kolmeen erityyppiseen ratkaisuun. Ensimmäisenä oli automaattinen linjasto, jossa useita pieni- ja keskikokoisia staattoreita pystytään hartsaamaan ja kuljettamaan uuniin yhtäaikaisesti. Toisena oli täsmälliseen ennalta määritettyyn hartsimäärään perustuva valutus sekoituslaitteiston ja siitä lähtevien letkujen ja suutinten kautta. Kolmantena oli laitevalmistajan valmiin pohjaratkaisun päälle suunniteltu kustomoitu valutusjärjestelmä.

Yhteenvetona saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että hartsinkäsittelyyn ja vanhoihin hartsikoneisiin liitettäviä lisälaitteita ei ole suoraan saatavissa miltään valmistajalta, vaan jokainen tulee suunnitella omana kokonaisuutena. ABB:n hartsaamon suurimmalle hartsikoneelle Newtechille saatiin selvitettyä laitteistokokonaisuus, joka paperilla täyttää toimeksiantajan tarpeet.

Tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista nähdä millainen laite olisi fyysisesti ja kuinka se todella toimisi verrattuna käsityönä tehtävään hartsaukseen. Hankinnan lisäksi laitteisto vaatisi kehitystyötä sekä täysin uusien parametrien, kuten pumpun syöttömäärien, suuttimien ohjausten ja lämpötilojen määrittelyä ja tutkimista laitteen täyden hyödyn saamiseksi. Työn alussa suunnitelma valutuslaitteesta vaikutti yksinkertaiselta, mutta selvityksen ja suunnittelun edetessä huomattiin, että hartsinkäsittelyyn käytettävien laitteiden ja vanhaa tekniikkaa sisältävien hartsauskoneiden kanssa työskentely ei ole niin suoraviivaista.

Lähteet

ABB. (i.a. -a). *ABB Oy, ABB lyhyesti*. <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>

ABB. (i.a. -b). *Komponenttivalmistus*. Haettu 13.5.2024. ABB:n IMS-hallintajärjestelmä.

ABB. (17.7.2023). *Kokoonpanon työohje*. Haettu 14.5.2024. ABB:n IMS-hallintajärjestelmä.

ABB. (19.9.2023). *Insulation systems of low voltage motors*. Haettu 14.3.2024. ABB:n IMS-hallintajärjestelmä.

ABB. (2024). *Kemikaalien seurantajärjestelmä Chemical Manager*. Haettu 4.6.2024. ABB:n kemikaalien seurantajärjestelmä.

ABB. (11.9.2024). *Valutuskyllästysohje*. Haettu 15.5.2024. ABB:n IMS-hallintajärjestelmä.

ABB. (2004). *Driveit Pienjännitteiset vakiomoottorit*. <https://library.e.abb.com/public/f99be400a43336a8c1257b130056f076/Drive%20IT%20pienjannitteiset%20vakiomoottorit%20FI%2010-2004.pdf>

Aura, L. & Tonteri, A. (2009). *Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet* (3.–6. painos). WSOY.

Axflow. (i.a.). *Pumput*. <https://www.axflow.com/fi-fi/luettelo/tuotteet/pumput>

Bdtronic. (i.a.). *Trickling*. <https://www.bdtronic.com/en-en/impregnation-methods/trickling/>

Harju, T. & Marttinen, A. (2000). *Säätötekniikan koulutusmateriaali*. https://www.automaatio-seura.fi/site/assets/files/1426/pid_kirja_1-1.pdf

Hietalahti, L. (2011). *Muuntajat ja sähkökoneet*. Tammertekniikka.

Kauranne, H., Kajaste J. & Vilenius M. (2013). *Hydrauliteknikka* (2. uudistettu painos). Sanoma Pro.

Keinänen, T., Kärkkinen, P., & Lähetkangas, M. (2007). *Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat*. WSOY.

Motiva. (i.a.). *Energiatehokkaat pumput*. https://www.motiva.fi/files/5343/Energiatehokkaat_pumput.pdf

Alliance winding. (i.a.). *Resin impregnation equipment*. <https://www.alliance-winding.com/shop/automation-range/resin-impregnation>

Seppälä, J. (2005). *Polymeeritekniikan perusteet* (5. tarkastettu ja korjattu painos). Ota-tieto.

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). (31.8.2021). *Vaarallisten kemikaalien käsittely ja varastointi*. <https://tukes.fi/vaarallisten-kemikaalien-kasittely-ja-varastointi#kemikaalien-kasittely-ja-varastointipaikka-laitosalueella>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). (i.a.). *Painelaitteiden suunnittelu, valmistus ja vaatimustenmukaisuuden arviointi*. <https://tukes.fi/tietoa-tukesista/materiaalit/painelaitteet/painelaitteiden-suunnittelu-valmistus-ja-vaatimustenmukaisuuden-arviointi>

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). (1.6.2023). *Kemikaaliputkiston turvallisuusvaatimukset*. <https://tukes.fi/teollisuus/kemikaaliputkistot> , <https://tukes.fi/kemikaaliputkistojen-turvallisuusvaatimukset>

Työturvallisuuskeskus (Ttk). (15.10.2019). *Käämien hartsikyllästys*. <https://ttk.fi/wp-content/uploads/2022/04/Kaamien-hartsikyllastys.pdf>

ViscoTec. (15.12.2020). *ViscoTec dispensing systems for trickling applications in e-mobility*. <https://www.youtube.com/watch?v=5CN-iCa3aFs>

ViscoTec. (i.a.). *Trickle impregnation of electric motors*. <https://www.viscotec.de/en/news/whitepaper/trickle-impregnation-of-electric-motors/>

Yritys, N. (2023). *Yksikomponenttihartsin testaus valutuskäytöksessä* [AMK-opinnäytetyö, Seinäjoen ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202304296967>