

SAIMAAN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikka, Lappeenranta
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotantotekniikan ja kunnossapidon suuntautumisvaihtoehto

Antti Saira

HARTSAAMON KÄYTTÖÖNOTTO THE SWITCH DRIVE SYSTEM OY:LLE

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

Antti Saira

Hartsaamon käyttöönotto The Switch Drive System Oy:lle, 41 sivua, 10 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka, Lappeenranta

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotantotekniikan ja kunnossapidon suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö, 2010

Ohjaajat: Lehtori Veli-Pekka Jurvanen, Saimaan ammattikorkeakoulu; Tuotantopäällikkö Marko Karhunen, The Switch Drive System Oy

Opinnäytetyöni aiheena oli suunnitella ja toteuttaa hartsaamon käyttöönotto Lappeenrannassa sijaitsevilla The Switch Drive System Oy:lle. Käyttöönotto suoritettiin teoriassa ja käytännössä.

Työn kulku pohjautuu systemaattiseen toimintaan yrityksen ja tiedonhankinnan välillä. Työn suorittamiseen sisältyivät kyselyt eri alihankkijoilta, keskustelut suunnittelijan kanssa ja oma osallistuminen paikan päällä käytännön työhön.

Työni alussa perehdytään aiheeseen yleisesti. Seuraavaksi tarkastellaan aihetta syvemmin eri vertailujen kautta ja perehdytään aiheeseen yrityksen kannalta. Tämän jälkeen suoritetaan tarvittavat valinnat prosessille ja syvennytään yksityiskohtaisemmin prosessiin.

Olenaisena osana työtä kuului toimintaohjeiden luominen. Työn loppupuolella kaikkien käsiteltyjen tietojen ja oman käyttökokemuksen perusteella luotiin toimintaohjeet. Lopputuloksena saavutetaan prosessille tarvittavat työ- ja huolto-ohjeet. Ohjeiden perusteella tehtaan henkilöstö voi suorittaa prosessin turvallisesti ja käyttövarmasti.

Viimeisenä opinnäytetyössäni on pohdintaosio, jossa tarkastellaan koko työn suorittamista ja käydään läpi käyttöönotettavaa prosessia.

Avainsanat: harts, hartsaus, roottori, polymeeri, ohjeistus

ABSTRACT

Antti Saira

Introduction of resinifying plant to The Switch Drive System Oy

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Technology, Mechanical and manufacturing technology

Manufacturing engineering and maintenance

Thesis, 2010

Instructors: Mr. Veli-Pekka Jurvanen, Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences; Mr. Marko Karhunen, Production Manager, The Switch Drive System Oy.

The purpose of the thesis was to design and engineer introduction of resinifying plant to The Switch Drive System Oy in Lappeenranta.

The introduction was performed in theory and in practice.

The thesis is based on systematic operations and technical details. Thesis is built on different inquiries from subcontractors, designer consulting and my own contribution in the factory.

First the topic was studied in general and then a closer and comparative look was taken the varying resinifying processes. After that, some selections were made considering the process from the point of view of the company and finally, the process was acquainted with.

The major art of this work consisted of writing the instructions for working and maintenance. All instructions are based on technical details and on my own personal experience. As a result all necessary instructions for the process are available now. With these instructions the staff can safely complete the process.

At the end of my thesis there is a reflection section, in which out the function and the implementation of the process are estimated more in detail.

Keywords: resin, resinifying, rotor, polymer, specs

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT.....	3
SISÄLTÖ.....	4
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn kohde.....	7
1.2 Yritysesittely	7
2 HARTSAUS	9
2.1 Muovien polymeerikemia.....	9
2.2 Polyesterihartsit.....	11
2.3 Epoksihartsi.....	12
2.4 Valinta	12
2.5 Roottori.....	13
2.6 Sähkögeneraattori	14
2.6.1 Sähkögeneraattorin valmistusprosessi	15
2.6.2 PMR 450- ja PMR 560 -generaattori.....	16
3 HARTSAUSPROSESSI	18
3.1 Pinnoitusmenetelmät	18
3.1.1 Valutuskyllästysmenetelmä.....	18
3.1.2 Upotuskyllästysmenetelmä	19
3.1.3 Tyhjökylästysmenetelmä.....	20
3.2 Menetelmän valinta	21
4 PROSESSI.....	22
4.1 Hartsaustila	22
4.2 Prosessi.....	22
4.2.1 Roottorin suojaus.....	24
4.2.2 Esilämmitys.....	24
4.2.3 Roottorin kasto.....	24

4.2.4 Uunitus.....	25
4.3 Laitteisto	26
4.3.1 Paineilma.....	27
4.3.2 Suodatin.....	28
4.3.3 Venttiilit	29
4.3.4 Säiliöt.....	30
4.3.5 Uuni	31
5 LÄPIMENO JA HARTSIN KULUTUS.....	33
5.1 Läpimenoaika.....	33
5.2 Hartsin kulutus.....	34
6 TOIMINTAOHJEET.....	35
6.1 Laadinta.....	35
6.2 Käyttöohjeet	35
6. 2.1 Terveyshaitat	36
6.2.2 Hartsin ympäristövaikutukset	36
6.2.3 Hartsijätteen käsittely.....	36
6.3 Työturvallisuusohjeet.....	37
6.4 Huolto-ohjeet	37
7 POHDINTAA.....	39
KUVAT	40
TAULUKOT.....	40
LÄHTEET.....	41

LIITTEET

Liite 1 Hartsaushoitotaso

Liite 2 Hartsin turvalomake

Liite 3 Hartsin tekniset tiedot

Liite 4 PI-kaavio

Liite 5 Huoltokohdelomake

Liite 6 Työohjeet

Liite 7 Työturvallisuusohjeet

Liite 8 Suojavälineiden käyttö

Liite 9 Huolto-ohjeet

Liite 10 Hartsausuunin käyttöohjeet

1 JOHDANTO

Tänä päivänä on avainasemassa uusiutuvan energian käyttö energian tuotannossa ja sen merkitys korostuu koko ajan. Tuulivoima on yksi uusiutuvan energian muoto. Sen käyttö on kasvanut koko ajan ja sen merkitys tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Tämä insinöörityö on tehty The Switch Drive System Oy:lle, joka on sähkökoneiden valmistajana erikoistunut toimittamaan sähkögeneraattoreita tuulivoimaloiden OEM-valmistajille. OEM-valmistajat (original equipment manufacturer) ovat suurempien laitekokonaisuuksien toimittamiseen erikoistuneita yhtiöitä, jotka teettävät osan työstään aliurakointina.

1.1 Työn kohde

Tässä insinöörityössä valmistellaan hartsaamon käyttöönotto ja siihen liittyvät toimintaohjeet. Hartsaus on työvaihe sähkögeneraattorin kokoonpanossa. Aiemmin hartsaus suoritettiin alihankintana. Nyt halutaan panostaa osaamiseen ja laatuun omasta toimesta. Tässä työssä selvittää työvaiheen toimintaprosessi ja siihen liittyvät kokonaisuudet. Tämä työ mahdollistaa hartsauksen käyttöönoton yrityksessä.

1.2 Yritysesittely

The Switch tarjoaa asiakkailleen hajautettuun sähköntuotantoon ja teollisuusprosesseihin yksilöllisiä tehonmuokkausjärjestelmiä, tehonmuuntimia, koneita ja muita sähkölaitteita. Asiakkaat käyttävät The Switchin tuotteita ja järjestelmiä osana omia koneitaan ja järjestelmiään tuuliturbiineissa ja muissa uusiutuvan energian tuotannon sovelluksissa ja energiaa säästävissä sovelluksissa.

The Switch syntyi joulukuussa 2006, kun kolme yhtiötä, Rotatek Finland, Verteco ja Youlity, yhdistyivät. Sähkökoneisiin erikoistunut Rotatek Finland sijaitsee Lappeenrannassa ja on nykyisin nimeltään The Switch Drive System. Tehon-

muuntimia tuottava Verteco Vaasassa kantaa nykyisin myös nimeä The Switch Drive System. Amerikan Yhdysvalloissa, Hudsonissa sijaitseva tehonsäätimiä ja tehonmuuntimia tuottava Youtility on nykyisin The Switch Controls and Converters. Vuoden 2008 alussa The Switch avasi tehtaan Lu`aniin, Kiinaan.

Rotatek Finlandin nimellä vuonna 1996 aloittanut The Switch Drive System on erikoissähkökoneiden toimittamiseen erikoistunut yritys. Yritys on perustamisestaan lähtien tehnyt tiivistä yhteistyötä Lappeenrannan teknillisen yliopiston kanssa.

The Switch Drive System Lappeenrannassa valmistaa sähkögeneraattoreita, muuttuvanopeuksisia käyttölaitteita ja muita sähkökoneita. Sähkögeneraattorit toimitetaan yleisimmin tuulivoimasovelluksiin, kun taas muita sähkökoneita käytetään yleisimmin alipainepumppujen käyttölaitteina sellu- ja paperiteollisuudessa.

Sähkögeneraattoreiden suuren kysynnän takia yritys laajensi toimintaansa ja avasi uuden tehtaan keväällä 2009 Selkäharjun teollisuusalueelle (The Switch 2009).

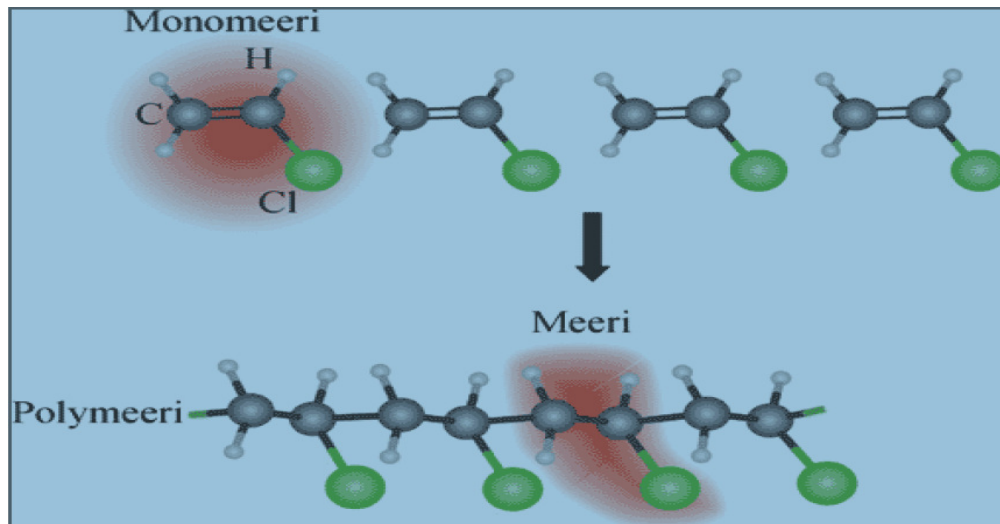
2 HARTSAUS

Sähkögeneraattoreiden hartsikyllästyksellä eli hartsauksella tarkoitetaan käämityksen kyllästämistä hartsilla. Tällä toimenpiteellä käämitys sidotaan yhtenäiseksi ja mekaanisesti kestäväksi, jotta käämitys kestäisi kuormituksen aiheuttamat värähtelyt ja voimavaikutukset (Jokiniemi & Paloniemi 1964). Hartsauksella pinnoitetaan myös muita sähkögeneraattoreiden osia.

2.1 Muovien polymeerikemia

Hartsi on monen kemiallisen yhdisteen kiinteä tai jähmeä seos, jolla ei ole selvää sulamispistettä. Muoviteollisuudessa nimitetään lisäksi hartsiksi puolivalmistetta tai polymeeriä, jota ei ole muokattu (Kurri, Malen, Sandell & Virtanen.1999).

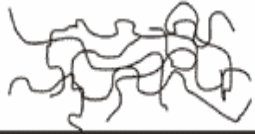
Muovit jaetaan ominaisuuksiensa perusteella kesto- ja kertomuoveihin. Kestomuovit ovat suurimolekyylisiä polymeereja. Polymeerit ovat yhteen liittyneistä pienemmistä rakenneyksiköistä eli monomeereista koostuvia suuria molekyyliä (Kuva 1). Monomeerien lukumäärä voi vaihdella. Yleensä yhdessä polymeerimolekyylissä on vähintään satoja tai tuhansia monomeerimolekyyliä liittyneinä toisiinsa (Seppälä 2005). Kestomuoveissa molekyylit muodostavat pitkiä polymeeriketjuja, joiden välillä ei ole kemiallisia sidoksia. Kestomuoveja lämmittäessä molekyylejä yhdessä pitävät voimat heikkenevät, ja näin niitä voidaan muokata lämmön ja paineen avulla. Yleisin kesto- muovi on polyeteeni. Polyeteeniä käytetään esimerkiksi auton lokasuojissa ja putkissa (Kurri ym.1999).



Kuva 1. Monomeerien polymeroituminen (Materiaalit ja materiaalien valinta 2004)

Kuvasta 1 voidaan havaita, kuinka polymeeriketju muodostuu monomeereistä.

Kertamuoveissa polymeeriketjut ovat sidoksissa toisiinsa pitkittäin ja poikittain (Kuva 2). Polymeerirakennetta ei voi irrottaa toisistaan lämmön avulla kuten kestumuoveissa. Yleisimpiä kertamuoveja ovat tyydyttymättömät polyesterihartsit ja epoksihartsit. Tyydyttymättömät polyesterit ovat käytetyin kertamuovi joutuksen sen helpposta työstettävyydestä ja kemikaalien kestävydestä. (Muovit ja kumit 2001).

Käyttäytyminen	Yleisrakenne	Kuva
Termoplastinen (kestomuovit)	Joustavia lineaarisia ketjuja	
Termoseptinen (kertamuovit)	Jäykkä kolmi- ulotteinen verkko	

Kuva 2. Kesto- ja kertamuovien rakenne (Materiaalit ja materiaalien valinta 2004)

Kuvasta 2 voidaan havaita kestomuovien ja kertamuovien rakentuminen sekä niiden eroavaisuus toisistaan.

2.2 Polyesterihartsit

Tyydyttämätön polyesterihartsit koostuu tyydyttämättömästä polyesteristä, monomeeristä ja katalyytistä. Monomeeri on polymeerin lähtöaine, joka reagoi toisien molekyylien kanssa ja muodostaa molekyyliketjun tai polymeerin (Kurri ym.1999). Monomeeri pienentää hartsin viskositeettia ja reagoi polyesterin kanssa kovettumisreaktion aikana. Monomeerinä polyesterihartsin kovettamiseen käytetään styreeniä. Styreeni on orgaaninen yhdiste, joka parantaa kestävyysominaisuuksia. Katalyytti on aine, joka käynnistää kovettumisreaktion tietyssä lämpötilassa (Seppälä 2005).

2.3 Epoksihartsi

Epoksihartsit ovat epoksimuovien lähtöaineita. Epoksihartseja käytetään pääasiallisesti kaksikomponenttisissa maaleissa, lakoissa ja liimoissa. Epoksihartsien molekyyliessä on tavallisesti kaksi reaktiivista epoksiryhmää. Hartsimolekyylit sidotaan yhteen kovettimen avulla, jolloin muodostuu liukenematonta kovaa epoksimuovia. Kaksikomponenttituotteissa on erillinen kovetinosa, joka lisätään hartsin joukkoon vasta vähän ennen käyttöä. Yksikomponenttisissä tuotteissa kovettumisreaktio käynnistetään yleensä kuumentamalla.

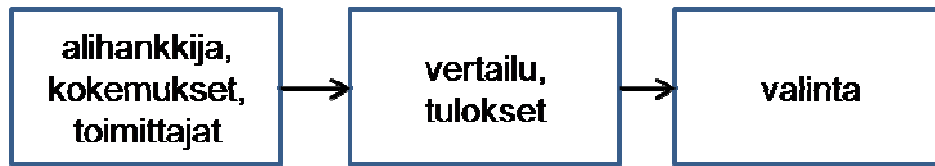
Kovetteina käytetään yleensä happoanhydridejä. Happoanhydridit reagoivat kemiallisesti hartsin kanssa ja aiheuttavat kovettumisen. Lisäksi epoksihartsiin käytetään erilaisia lisäaineita, joiden tarkoituksena on parantaa polymeerin lämmönkestävyyttä ja estävät sen ennenaikaisen kovettumisen (Hartsikyllästys 2007). Epoksihartseja käytetään nykyisin yhä enemmän sähköteollisuudessa pinnoittamiseen, johtuen niiden sopivista ominaisuuksista ja edullisesta hinnasta.

2.4 Valinta

Roottorien hartsaukseen valittiin ennalta saatujen kokemusten perusteella ja hartsien toimittajien kautta 1-komponenttinen polyesterihartsi (Kuva 3). Hartsin valintaan vaikuttivat erityisesti sen ominaisuudet.

Valittu hartsi on hajuton ja haihtumaton sekä liuotinvapaa ja sillä on korkea leimahduspiste. Korkean leimahduspisteen takia sitä ei luokitella palavaksi aineeksi (Stenbacka, Hartsin tuoteinfo 2009).

Hartsi soveltuu hyvin roottorien hartsaamiseen, koska sen ominaisuuksiin kuuluu hyvä tunkeutuminen hartsattavaan kappaleeseen. Tämän ansiosta saadaan aikaiseksi luja- ja tiivisrakenteinen suojapinta roottorin pinnalle. Hartsilla on myös erinomainen suoja kosteutta ja kemikaaleja vastaan.

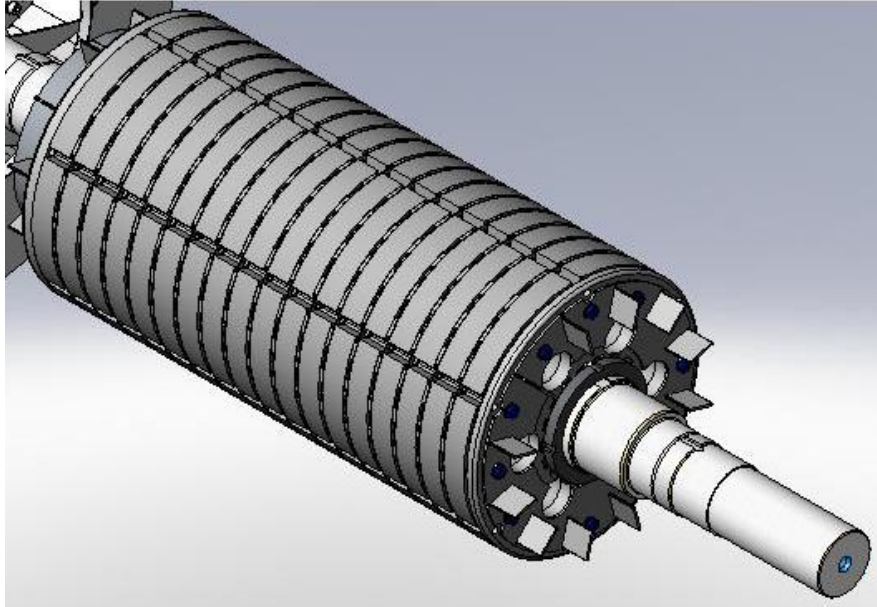


Kuva 3. Valintaprosessi

Kuvasta 3 voidaan havaita valintaprosessi yksinkertaisesti selitettynä. Valintaprosessi alkaa taustatutkimuksesta ja käyttökokemuksista. Vertailujen kautta pystytään valitsemaan sopiva hartsi.

2.5 Roottori

Sähkökoneen pyörivä osa (pyörimis akseli) on roottori. Roottori koostuu roottori-levyistä ja magneeteista (Kuva 4). Roottorin hartsauksella parannetaan kosteuden ja korroosion kestävyttä, lämmönjohtavuutta, magneettien kiinnittymistä ja eristysvastusta.



Kuva 4. Roottorin rakenne (The Switch)

Kuvasta 4 voidaan havaita roottorin rakenne ja muoto.

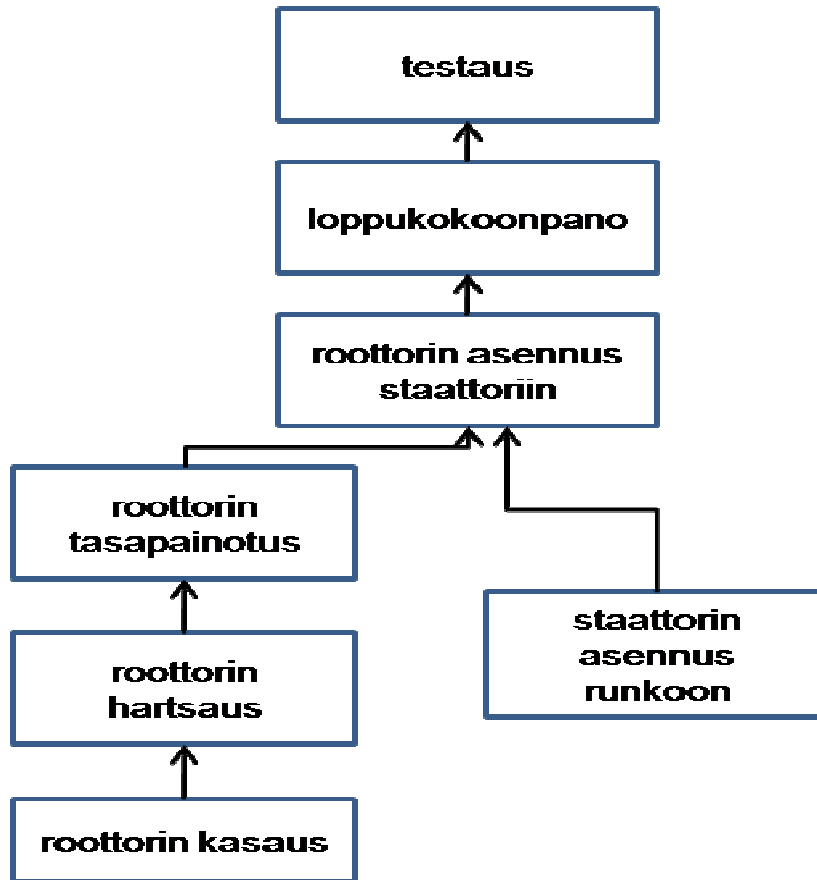
2.6 Sähkögeneraattori

Sähkögeneraattori koostuu kahdesta pääosasta, roottorista eli pyörijästä ja staattorista eli seisojasta. Sähkögeneraattorien toiminta perustuu liike-energian muuttumisella sähköenergiaksi. Roottorissa on magneetteja, jotka muodostavat magneettikentän generaattoriin.

Roottorin pyöriessä magneettikentässä indusoituu sähkömotorinen jännite ja sitä kautta sähkövirta. Ilmiötä kutsutaan sähkömagneettiseksi induktioksi. Indusoituminen on fysiikan perusilmiö, joka liittyy magneettikentän muutokseen. Indusoituneen jännitteen suuruus riippuu magneettikentän voimakkuudesta, johdinten pituudesta ja sen pyörimisnopeudesta magneettikentässä eli magneettivuon vaihtelusta (Aura & Tonteri 1996). The Switch Drive System valmistaa monia erikokoisia ja tehoisia sähkögeneraattoreita. Kaksi yleisintä tuotetta ovat nimeltään PMR 450- ja PMR 560 -generaattorit.

2.6.1 Sähkögeneraattorin valmistusprosessi

Sähkögeneraattorin kokoonpano muodostuu monesta erilaisesta vaiheesta, jotka pystytään jakamaan eri osa-alueisiin (Kuva 5). Tarkoituksena on suoraviivainen tuotanto ilman tuotannon pysähtymistä missään valmistusvaiheessa.



Kuva 5. Generaattorin valmistusprosessi

Kuvasta 5 voidaan havaita, kuinka sähkögeneraattorin valmistusprosessi etenee. Alussa kokoonpano jakautuu kahteen vaiheeseen, roottoriin ja staattoriin, jonka jälkeen nämä vaiheet yhdistyvät loppukokoonpanoksi. Lopussa generaattori testataan.

2.6.2 PMR 450- ja PMR 560 -generaattori

PMR 450- generaattorityyppi on yleisin yrityksen valmistama generaattori (Kuva 6). Sen tuottama teho on 950 kilowattia ja sen roottori pyörii 1500 kierrosta minuutista. Generaattorista on valmistettu muokattuja malleja, joihin on tehty parannuksia ja ne ovat hyötykäyttösuhteiltaan parempia. Merkintä 460 tarkoittaa korkeutta maasta akselille eli akseli on koneen alareunasta 460 millimetrin korkeudella.

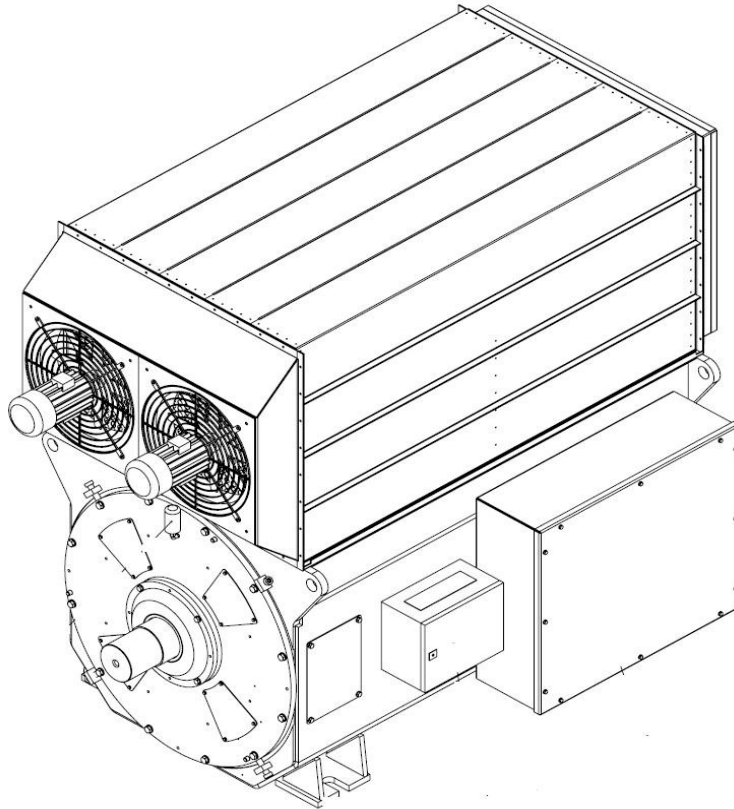


Kuva 6. PMR 450 -generaattori (The Switch)

Kuvasta 6 voidaan havaita millainen on kokoonpantu generaattori. Rungon päällä on tuulettimet, jotka viilentävät generaattorissa olevaa ilmaa.

PMR 560 -generaattori (Kuva 7) on hieman tehokkaampi kuin PMR 450 - generaattori. Sen tuottama teho on 2640 kilowattia ja sen roottori pyörii 1650 kierrosta minuutista. Generaattorista on valmistettu muokattuja malleja, joihin on tehty

parannuksia ja ne ovat hyötykäyttösuhteiltaan parempia. Merkintä 560 tarkoittaa korkeutta maasta akselille eli akseli on koneen alareunasta 560 millimetrin korkeudella.



Kuva 7. PMR 560 -generaattori (The Switch)

Kuvasta 7 voidaan havaita PMR 560 -generaattorin rakenne. Rungon sivustolla on sähkökaappi ja rungon päällä tuulettimet.

3 HARTSAUSPROSESSI

3.1 Pinnoitusmenetelmät

Nykyään hartsaus on tullut yhä tärkeämmäksi tekijäksi sähkögeneraattoreiden valmistuksessa. Hartsaamiseen on tarjolla monia erilaisia menetelmiä. Valittaessa sopivaa menetelmää on kiinnitettävä huomiota hartsattavaan kappaleeseen. Esimerkiksi kappaleen muoto, koko, rakenne ja sähköiset ominaisuudet on selvitettävä. Menetelmää valittaessa on huomioitava valmistusmäärät ja laitteiston ominaisuudet. Hartsattavat kappaleet ja valmistusmäärät asettavat omalta osaltaan tietyt laatuvaatimukset, jotka täytyy ottaa huomioon menetelmää valittaessa. Roottorien hartsausmenetelmät ovat jaettu kolmeen yleisimpään hartsausmenetelmään (Hartsikyllästys 2007). Nämä kolme menetelmää ovat:

- valutuskyllästysmenetelmä (trickling)
- upotuskyllästysmenetelmä (dip & blake)
- tyhjökylästysmenetelmä.

3.1.1 Valutuskyllästysmenetelmä

Valutuskyllästysmenetelmässä hartsi (kylästysaine) valutetaan esilämmitettyyn kappaleeseen. Valutuksen voi suorittaa vaakatasossa, jolloin valutuspiisteet ovat yleensä kappaleen molemmissa päissä (Kuva 8). Yhdellä valutuspiisteellä toteutetussa valutuksessa kappale käännetään 5 - 20 asteen kulmaan vaakatasosta (Hartsikyllästys 2007). Valutusmenetelmässä kappaletta pyöritetään sopivalla nopeudella niin, että hartsi ehtii valumaan tasaisesti. Hartsattu kappale siirretään uuniin, jossa tapahtuu hartsin kovettuminen kappaleen pinnalle.

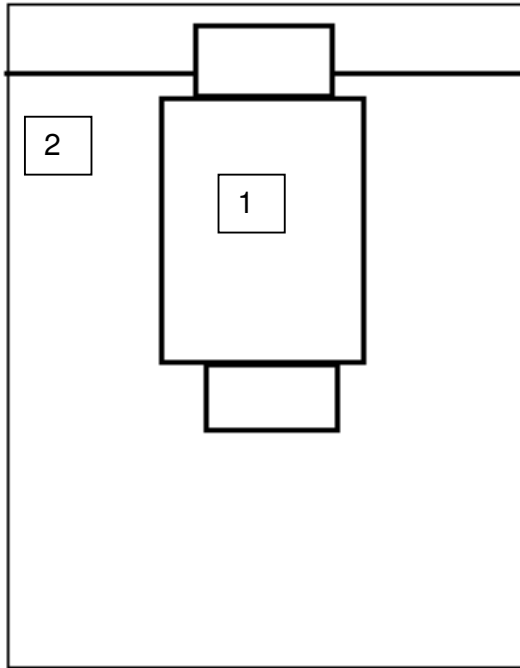


Kuva 8. Valutuskyllästysmenetelmän periaatekuva (directindustry.com)

Kuvasta 8 voidaan havaita eri valutuspiisteet vaakatasossa ja yhden valutuspiisteen, kun kappaleen valutuskulmaa muutetaan.

3.1.2 Uputuskyllästysmenetelmä

Uputuskyllästysmenetelmää kutsutaan myös kastopinnoitukseksi. Menetelmässä esilämmitetty kappale sijoitetaan altaaseen, johon pumpataan hartsia (Kuva 9). Kappale pidetään hartsissa niin kauan, kunnes ilmakuplat ovat hävinneet altaan pinnalta. Hartsia pumpataan pois ja ylimääräisen hartsin annetaan valua varastoaltaaseen (Hartsikyllästys 2007). Hartsattu kappale nostetaan uuniin, jossa hartsia kuivuu ja kovettuu kappaleen pinnalle.

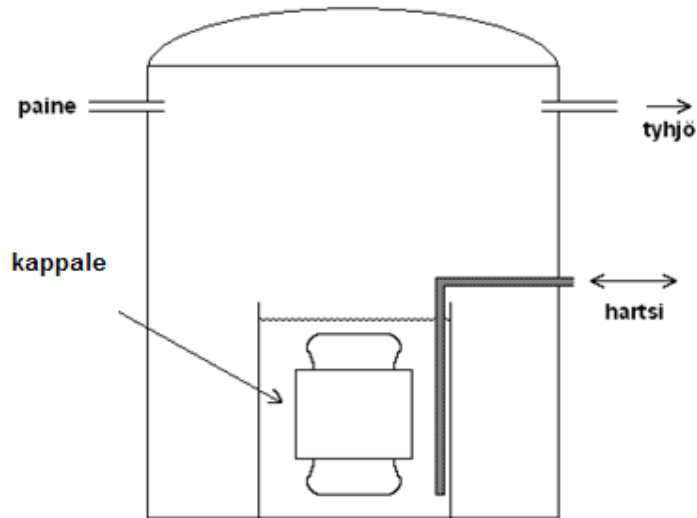


Kuva 9. Upotuskylästysmenetelmän periaatekuva

Kuvasta 9 voidaan havaita, kuinka kappale on upotettu altaaseen. Numero yksi tarkoittaa roottoria, joka on upotettu hartsiin (numero kaksi). Hartsin pumppaus sisään ja pois tapahtuu altaan pohjasta.

3.1.3 Tyhjäkylästysmenetelmä

Tyhjäkylästysmenetelmässä esilämmitetty hartsi levitetään lämmön ja alipaineen avulla kappaleen pinnalle. Kappale asetetaan kylästys säiliöön, josta imeetään ilma pois. Tällöin säiliöön muodostuu tyhjä, johon hartsi pumpataan. Kappale on hartsiin upotettuna muutaman minuutin, jonka jälkeen säiliöön nostetaan ylipaine (Kuva 10). Ylipaineen avulla hartsi pääsee tunkeutumaan paremmin kappaleen rakoihin. Tämän jälkeen hartsi pumpataan takaisin varastosäiliöön (Hartsikylästys 2007). Ylimääräinen hartsi valutetaan kappaleesta pois ja kappale nostetaan uuniin kuivumaan.



Kuva 10. Tyhjökyllästysmenetelmä periaatekuva

Kuvasta 10 voidaan havaita, että miten kappale sijoitetaan säiliöön ja kuinka paine ja tyhjiö saadaan säiliöön. Samalla voidaan huomata kuinka harts siirtyy säiliöön ja säiliöstä pois.

3.2 Menetelmän valinta

Roottorien hartsausmenetelmäksi valittiin upotuskyllästysmenetelmä, koska se on yksinkertaisin ja nopein tapa suorittaa roottorin hartsaus. Valintaprosessiin vaikuttivat hinta, toimintatapa ja alihankkijan kokemukset. Upotuskyllästysmenetelmän suorittaminen on edullista ja se soveltuu parhaiten laitteistoltaan roottoreiden hartsaamiseen. Upotuskyllästysmenetelmän suunnittelu suoritettiin ulkopuolisen suunnittelijan avulla ja laitteiston valmistus suoritettiin lähialueen alihankkijalla.

4 PROSESSI

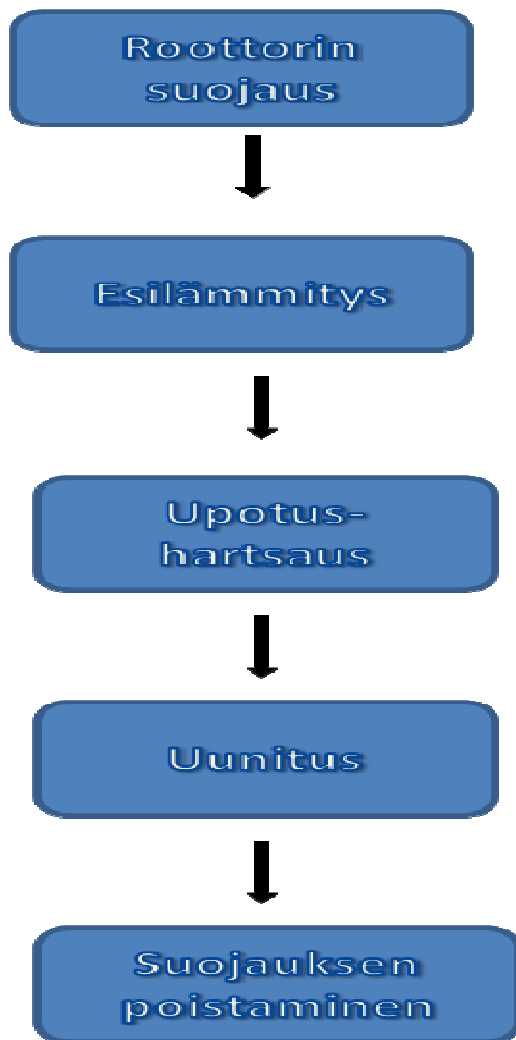
4.1 Hartsaustila

Hartsausprosessi vaatii puhtaan ja oman erillisen tilan. The Switch Drive System Oy:ssä hartsaustila sijaitsee erillisenä rakennuksena tehdasalueella.

Hartsaustilassa on oma erillinen ilmanvaihto ja palohälytinjärjestelmä. Hartsaustilassa käsitellään hartsia ja muita kemikaaleja, joten se pidetään erossa muusta tuotannosta. Hartsaustila sisältää siltanosturin, hartsauslaitteiston, hartsin varastotilan ja uunin.

4.2 Prosessi

Hartsausprosessi on monivaiheinen ja se alkaa roottorin esivalmistelulla, johon sisältyy roottorin suojaus (Kuva 11). Suojauksen jälkeen roottori nostetaan uuniin, jossa suoritetaan esilämmitys. Esilämmityksen jälkeen roottori nostetaan hartsausäiliöön, jossa se hartsataan. Hartsauksen jälkeen roottori kuivatetaan uunissa. Hartsausprosessin kulku on esitetty yksityiskohtaisemmin liitteissä 4 ja 6.



Kuva 11 Hartsausprosessi

Kuvassa 11 voidaan havaita hartsausprosessi kokonaisuudessaan. Kuvaan on lajiteltu prosessin viisi eri vaihetta.

4.2.1 Roottorin suojaus

Hartsin kiinnittymistä tarpeettomiin pintoihin estetään suojavaseliinin avulla. Roottorin suojaamiseen käytetään vaseliinia, joka muodostaa suojaavan kalvon pintaan, johon hartsi ei tartu. Roottorista suojataan akselien päät ja akselien päissä olevat kierrereiät. Hartsattavaksi jää roottorin keskiosa, jossa magneetit sijaitsevat. Roottori suojataan ennen esilämmitystä ja suojaus poistetaan uunituksen jälkeen puhdistamalla pinnat puhdistusliinujen avulla.

4.2.2 Esilämmitys

Esilämmityksellä on tärkeä rooli hartausprosessissa. Käytettävä polyesterihartsi on liuotinvapaa ja korkea viskositeetiltaan. Johtuen sen korkeasta viskositeetista voidaan viskositeettia alentaa eli ohentaa esilämmittämällä roottoreita ennen hartsausta. Esilämmityksen avulla voidaan myös parantaa hartsin tarttuvuutta roottoreiden pintaan.

Esilämmittämällä roottorit ensin noin 100 °C lämpötilaan saadaan niistä pois kosteus ja muut haihtuvat ainesosat. Ennen roottorien hartsausta on niiden lämpötilan annettava laskeutua riittävän alhaiseksi, ettei pääse tapahtumaan hartsin ennen aikaista kovettumista. Hartsin riittävä tunkeuma saadaan roottorin ollessa 40 - 50 °C:n lämpötilassa.

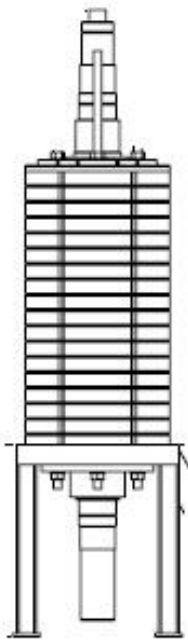
4.2.3 Roottorin kasto

Roottori nostetaan hartsisäiliöön, johon hartsi nostetaan varastosäiliöstä. Roottorin asento täytyy huomioida oikein. Roottori täytyy nostaa tietty pää pystyssä hartsisäiliöön, jotta saadaan magneettien kolot täyttymään hartsista.

Hartsattava roottori pidetään hartsaussäiliössä niin kauan kunnes ilmakuplat ovat hävinneet hartsin pinnalta. Ilmakuplien häviäminen ilmaisee sen, että hartsi on tunkeutunut magneettien koloihin.

4.2.4 Uunitus

Hartsattu roottori nostetaan roottoritelineeseen, joka sijaitsee uunivaunulla (Kuva 12). Roottoriteline pitää roottorin pystyasennossa. Hartsattu roottori kuivataan tietyn aikaa tietyssä lämpötilassa. Polyesterihartsin kemikaalisiin ominaisuuksiin kuuluu sen kovettuminen tietyssä lämpötilassa. Kovettumisen myötä hartsista muodostuu suojaava pinnoite roottorin pintaan.



Kuva 12. Roottoriteline (The Switch)

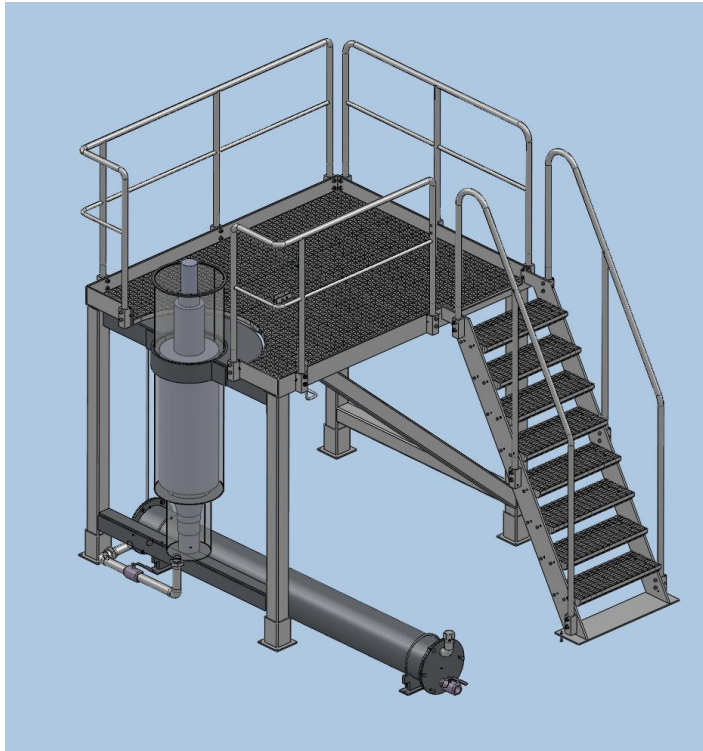
Kuvassa 12 on roottoriteline, joka pitää roottorin pystyasennossa uunituksen aikana.

4.3 Laitteisto

Upotuskyllästyslaitteiston hankinta ja valmistus toteutettiin lähiseudun metallikonepajalla. Laitteiston toimivuus ja tiiveys suoritettiin valmistuksen yhteydessä veden kanssa. Laitteiston asennuksen jälkeen suoritettiin vielä koekäyttö veden kanssa, jotta saatiin varmuus laitteiston toimivuudesta henkilökohtaisesti.

Alun perin suunnitelmissa oli asentaa laitteistoon pumppu, jonka avulla hartsi pumpattaisiin säiliöön, mutta valmistuksen yhteydessä huomattiin, että hartsia voidaan pumpata säiliöön ilman pumppua, ylipaineen avulla. Ylipaine tarkoittaa kohteen suurempaa painetta verrattuna ympäristöön. Ylipaineen vallitessa hartsi työntyy ylöspäin putkistoa pitkin.

Laitteisto koostuu monesta eri komponentista (Kuva 13), joista kerrotaan tarkemmin seuraavissa luvuissa. Laitteiston ympärille on rakennettu hoitotaso, jotta työskentely ja kunnossapidolliset toiminnot sujuisivat paremmin.



Kuva 13. Hartsaus - laitteiston rakenne

Kuvasta 13 voidaan havaita hartsauslaitteiston pää rakenne ja hoitotason sijoittuminen laitteiston ympärille.

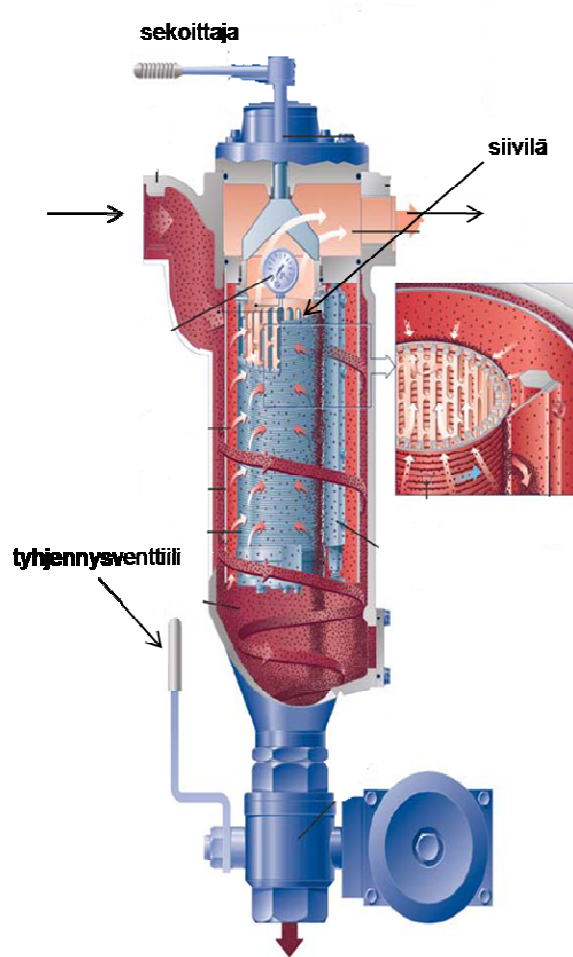
4.3.1 Paineilma

Laitteiston toiminta perustuu ilmanpaineeseen. Ilmanpaine tulee suoraan tehtaan paineilmaverkosta. Paineilmaverkosta saatava ilmanpaine on noin 10 baria. Hartsausprosessiin tarvittava ilmanpaine on noin 0,5 baria, joten suoraan paineilmaverkosta tulevaa painetta täytyy pienentää paineenalentimen avulla. Paineenalennin pienentää tulevan paineen prosessille sopivaksi. Paineilman päälle kytkentä tapahtuu pallohanan avulla.

4.3.2 Suodatin

Upotuskylästyslaitteistossa on yksi suodatin, jonka tarkoituksena on suodattaa hartsia. Suodattimen tarkoituksena on sekoittaa tulevaa hartsia, koska hartsi on viskositeetiltaan korkea. Hartsin korkea viskositeetti voi aiheuttaa tukoksia putkistoon. Voidaan todeta vertauksena, että vedellä on pieni viskositeetti ja hartsilla korkea, jähmeämpi viskositeetti.

Suodatin sisältää pyörivän siivilän, joka on täynnä pieniä reikiä. Suodattimen sekoittajaa pyörittämällä saadaan siivilä pyörimään ja aiheuttamaan pyörrevirran suodattimeen (Kuva 14). Siivilän avulla hartsi kulkeutuu nopeammin prosessissa ja hartsin mukana kulkeutuneet epäpuhtaudet jäävät suodattimen pohjalle. Suodatin toimii manuaalisesti käsin pyörittämällä. Suodatin sisältää tyhjennysventtiilin, jonka avulla epäpuhtas hartsi voidaan poistaa säännöllisin väliajoin. Suodatin toimii hartsisäiliötä täytettäessä.



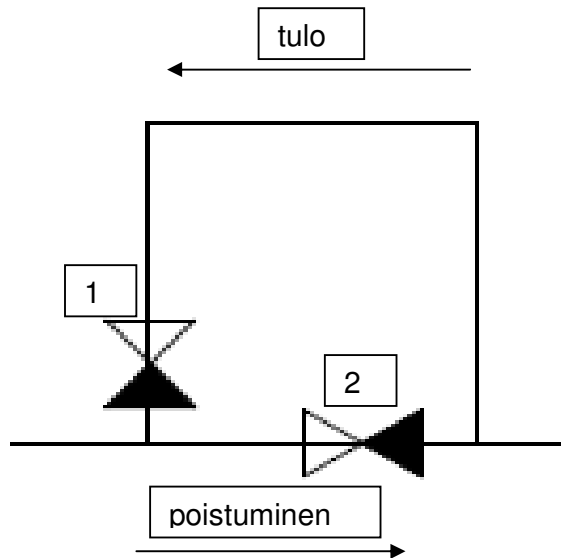
Kuva 14. Suodattimen rakenne (mahle.com)

Kuvasta 14 voidaan havaita suodattimen rakenne läpileikkauksena. Hartsia tulee suodattimeen, jossa se suodattuu ja jatkaa virtaustaan eteenpäin.

4.3.3 Venttiilit

Laitteisto sisältää kahdenlaista eri venttiilityyppiä, palloventtiiliä ja takaiskuventtiiliä. Palloventtiilit ovat käsikäyttöisiä ja niiden käyttötarkoituksena on estää virtauksen kulkua. Laitteistossa palloventtiilejä käytetään putkiston tyhjennykseen huollon ja hartsin vaihdon yhteydessä.

Takaiskuventtiilit eli toiselta nimitykseltään yksisuuntaventtiilit ovat automaattiventtiilejä, joiden tarkoituksena on päästää hartsi virtaamaan vain haluttuun suuntaan ja estää virtaus toiseen suuntaan (Kuva 15).



Kuva 15. Takaiskuventtiilien sijainti (The Switch)

Kuvasta 15 voidaan havaita takaiskuventtiilien sijainti prosessissa ja niiden toimintaperiaate. Nuolet ilmaisevat hartsin kulkusuunnan. Ensimmäinen takaiskuventtiili estää hartsin virtauksen varastosäiliöön täytettäessä hartsisäiliötä. Toinen takaiskuventtiili estää hartsin virtauksen hartsisäiliöön hartsin poistuessa takaisin varastosäiliöön.

4.3.4 Säiliöt

Laitteisto sisältää kaksi säiliötä, varastosäiliön ja täyttösäiliön. Säiliöiden tarkoituksena on toimia varastona ja kastoaltaana. Säiliöt ovat valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Teräksen laatu on ISO 1.4404 ja ne ovat valmistettu standardin EN-10025 mukaan. Kyseisellä ruostumattomalla teräksellä on erinomainen korroosionkestävyys, joka perustuu sen sisältämään kromiin. Ruostumat-

tomassa teräksessä kromi reagoi hapen kanssa ja muodostaa suojaavan kalvon teräksen pinnalle.

Hartsattavissa roottoreissa on voimakas magneettikenttä, joten säiliöt eivät voi olla magneettisia. Kyseinen teräslaatu ei ole lämpökäsiteltynä magneettinen.

4.3.5 Uuni

Laitteistoon kuuluu uuni, jossa hartsattujen roottoreiden esilämmitys ja kuivatus tapahtuu. Uuni on suunniteltu sopivaksi hartsauskäyttöön.

Uuni on valmistettu profiiliteräksestä ja ohuesta teräslevystä hitsaamalla. Rungon tiiveyteen on kiinnitetty erityistä huomiota, koska hartsissa on terveydelle haitallisia kemikaaleja, jotka vapautuvat tietyssä lämpötilassa.

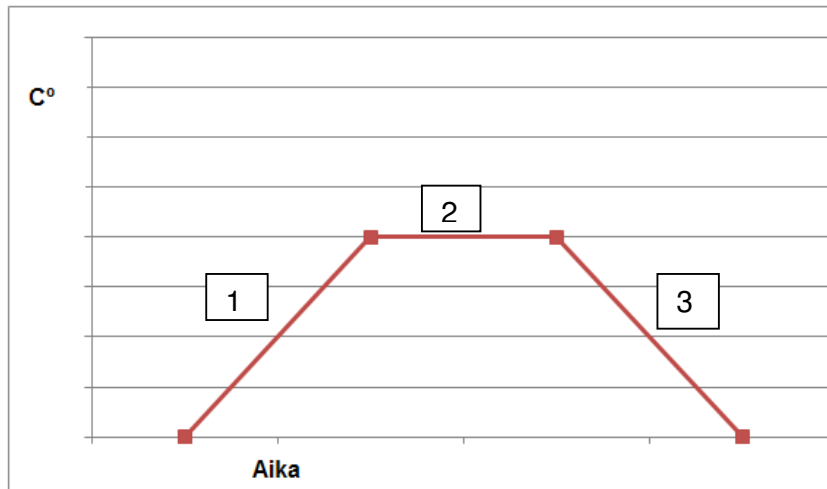
Uunissa on vaunu, joka on varustettu kuulalaakeroiduin teräspyörin. Vaunun liikuttelu tapahtuu vaihdemoottorin avulla kiskojen päällä. Vaunun päällä on teräsritilä, jonka päälle roottorit sijoitetaan. Vaunuun mahtuu kerrallaan kolme roottoria.

Vaunun pohjalla on ruostumattomasta teräksestä valmistettuja astioita, joihin ylimääräinen hartsi valuu uunituksen aikana. Nämä astiat käsitellään suojavaselinillä, jolloin kuuma hartsi ei tarraudu astian pintaan vaan jää suojavaseliniin pinnalla. Kuivunut hartsi on helppo poistaa astian pinnalta.

Uuni sisältää erilaisia puhaltimia, poistoilmapuhaltimen, kiertoilmapuhaltimen ja tuloilmapuhaltimen. Puhaltimien tarkoituksena on tuoda, poistaa ja kierrättää ilmaa uunissa. Uunissa on poistoimuri, joka imee ilmaa uunin olleessa päällä. Poistoimurin yhteydessä sijaitsee levytyyppinen suodatin, joka puhdistaa ilmaa hartsipisarat. Ulkoilmaan ei näin ollen pääse hartsipäästöjä.

Uuni sisältää automaattisen sammutusjärjestelmän, joka toimii tulipalon sattuessa tai kun uunin ylin sallittu lämpötila ylittyy.

Uunin lämpötilan säätö tapahtuu Jumo Imago ohjelman mukaan. Ohjelman avulla ohjataan automaattisesti ja manuaalisesti lämmitystä, kiertoilmapuhallinta ja poistoimuria. Ohjelmaan ohjelmoitiin kaksi ohjelmaa. Ohjelmilla ohjataan esilämmitystä ja hartsin kovettamista (Kuva 16).



Kuva 16. Uuniohjelman rakenne

Kuvasta 16 voidaan havaita uunin lämmitysohjelman kulku kaaviomallina. Ohjelma sisältää kolme eri vaihetta. Ensimmäinen vaihe sisältää lämmityksen tiettyyn lämpötilaan tietyssä ajassa. Toinen vaihe sisältää pitotilan tietyssä lämpötilassa tietyn ajan. Kolmas vaihe sisältää lämpötilan jäähtymisen aloituspisteeseen.

5 LÄPIMENO JA HARTSIN KULUTUS

5.1 Läpimenoaika

Hartsausprosessi kestää tietyn ajan ja se voidaan jakaa neljään päävaiheeseen, roottorin suojaukseen, esilämmitykseen, kastoon ja kovetukseen. Nämä neljä päävaihetta voidaan eritellä erikseen ja muodostaa kunkin vaiheen kesto ajallisesti.

Keston määrittämisen perusteella voidaan havaita, kuinka kauan prosessiin kuuluu aikaa ja kuinka monta roottoria pystytään yhdessä vuorossa hartsaamaan.

Läpimenoaika muodostetaan teoreettisesti generaattorin PMR 450 - generaattorin roottorin mukaan. Teoreettinen läpimenoaika (Taulukko 1) on suuntaa antava, mutta sen avulla pystytään muodostamaan käsitys prosessin kestosta.

Uunitukset kestävät ajallisesti pidempään, joten ilmaistaan ne ensimmäiseksi. Uunia tarvitaan kaksi kertaa prosessin aikana, esilämmitykseen ja kuivatukseen.

Taulukko 1. Teoreettinen läpimenoaika roottorille

PMR-450 roottori	Aika (min)
Esilämmitys	75 min
Kuivatus	210 min
Suojaus	10 min
Kasto	30 min
Yhteensä	325 min

Teoreettinen läpimenoaika yhteenlaskettuna

Esilämmitys (75 min) + kuivatus (210 min) + suojaus (10 min) + kasto (30 min)

Läpimeno kokonaisuudessaan on 325 min (5,4 h)

Läpimenoaikaan täytyy ottaa myös huomioon roottorin siirrot siltanosturilla. Siirrot ovat ajallisesti pieniä, että niitä ei ole otettu huomioon läpimenoaikaa laskiessa.

Teoreettinen läpimeno aika on laskettu yhden roottorin mukaisesti. Parhaimmillaan uunin vaunuun mahtuu kolme roottoria kerrallaan. Voidaan todeta, että kolmen roottorin hartsaamisen aikana uunitusajat pysyvät vakiona, mutta muihin toimenpiteisiin kuluu enemmän aikaa.

Teoreettisesti lasketun läpimenoajan perusteella yhden vuoron (8h) aikana pystytään hartsaamaan kolme roottoria.

Läpimenoaika tulee lyhenemään, kun saadaan käyttökokemusta hartauksesta ja prosessi alkaa toimia säännöllisesti. Käytännön toiminnan kautta saadaan säädettyä roottorin kuivatukselle sopiva lämpötila ja pitoaika.

Uunitusajat laskettiin hartsin toimittajan antamien ohjeiden mukaan. Uunituslämpötilojen nostaminen tulee kysymykseen, kun tarvitaan nopeampia läpimenoaikoja. Uunituslämpötiloja nostamalla hartsin kovettumisreaktio tapahtuu nopeammin ja läpimenoaika lyhenee.

5.2 Hartsin kulutus

Hartsia kuluu tietty määrä roottoria kohden, joten varastosäiliön hartsimäärää on tarkkailtava säännöllisesti.

Valittu hartsi on erittäin hyvä ominaisuuksiltaan, koska sen toiminta-aika on yli 18 kuukautta. Toiminta-aikaa voidaan pidentää rajattomasti lisäämällä varastosäiliöön säännöllisesti tuoretta hartsia (Stenbacka 2009).

Varastosäiliö olisi hyvä puhdistaa ja vaihtaa hartsista esimerkiksi kahden vuoden välein riippuen tuotantomääristä. Suuri tuotantomäärä pitää hartsin vaihtuvuuden nopeana, jolloin kokonaisvaihtamista ei tarvita. Pienemmän tuotantomäärän vallitessa tulee hartsin vaihtaminen kyseeseen säännöllisin väliajoin.

6 TOIMINTAOHJEET

6.1 Laadinta

Hartsausprosessi tarvitsee toimiakseen dokumentoidut toimintaohjeet. Toimintaohjeet on laadittu kyselyjen ja käytännön kokemusten perusteella. Toimintaohjeiden tarkoituksena on ohjeistaa ja neuvoa työntekijöitä turvalliseen ja oikeaan työskentelyyn. Toimintaohjeita täytyy noudattaa, ettei mitään ongelmia tai tapaturmia sattuisi työskentelyn aikana.

Seuraavissa luvuissa tullaan perehtymään erilaisiin ohjeisiin, jotka kuuluvat prosessiin.

6.2 Käyttöohjeet

Hartsaamon käyttöohjeet sisältävät työohjeet ja PI-kaavion. Työohjeistus sisältää hartsausprosessin käytännön ohjeistuksen. Työohjeissa neuvotaan, miten prosessi toimii ja mitä toimenpiteitä pitää tehdä, jotta voidaan suorittaa hartsaus. Työohjeiden mukana on selventäviä valokuvia, jotka takaavat turvallisen ja oikean työskentelyn hartsaamossa. Liitteessä 6 on kerrottu yksityiskohtaisemmin vaihe vaiheelta työohjeistus.

PI-kaavio (Prosessin Instrumentointi) on laadittu selventämään hartsauslaitteistoa. PI-kaaviosta ilmenee putkiston, säiliöiden ja venttiilien sijainti ja tyyppimer-

kinnät. PI-kaavio on laadittu helpottamaan työntekoa ongelma- ja kunnossapito-tapauksissa.

Käyttöohjeisiin kuuluu myös hartsin tekniset tiedot, terveyshaitat, ympäristöhaitat ja jätteenkäsittely.

6.2.1 Terveyshaitat

Käytettävässä hartsissa on kemiallisia aineita, jotka voivat iholle osuessaan aiheuttaa ihon herkistymistä. Hartsin sisältämä styreeni, joka syntyy haitalliseksi hartsin kovettumisen aikana. Hengityssuojaimia tulee käyttää varmuuden varalta kuivatuksen jälkeen, uunin luukkua avatessa, jolloin styreenihöyryjä voi esiintyä.

6.2.2 Hartsin ympäristövaikutukset

Hartsin ympäristövaikutukset aiheutuvat pääasiassa VOC-päästöistä, joka tarkoittaa haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. VOC on yhteinen nimitys metaanille ja muille kaasumaisille yhdisteille.

Kovettunut hartsin ei ole haitallista ympäristölle tai ihmisille. Nestemäisessä muodossa hartsin voi aiheuttaa pitkäaikaisia haittavaikutuksia vesiympäristössä. Hartsaamossa ei ole lattiakaivoa, joten vuototapauksissa hartsia ei voi imeytyä ympäristöön.

6.2.3 Hartsijätteen käsittely

Nestemäinen hartsin on ongelmajätettä, joka tulee tarvittaessa toimittaa ongelmajätetepisteisiin. Kovettunut hartsin ei ole haitallista, mutta se tulee sijoittaa omaan astiaan, josta se toimitetaan jätteenkeruun kautta ongelmajätetepisteeseen.

6.3 Työturvallisuusohjeet

Turvallinen työskentely on suunnitelmallista ja perustuu ennakolta hyväiksi todettuihin käytäntöihin. Hartsaamon työturvallisuutta suunniteltaessa on otettu huomioon mahdolliset riskit. Riskienhallinta kuuluu suurena osana työturvallisuutta. Työntekijän kuuluu tietää työnsä vaarat ja haitat sekä edistää omalla toiminnallaan työturvallisuutta.

Nestemäisen hartsin kanssa työskenneltäessä on muistettava, että hartsit saattavat aiheuttaa ihon herkistymistä. Sopivaa suojavaatetusta on käytettävä työskenneltäessä hartsaamossa. Paljaat ihoalueet on suojattava ja käytettävä suojalaseja. Hartsaamossa työskenneltäessä pitää käyttää turvakenkiä. Hartsaamossa on tarvittavat ensiapu- ja suojavälineet. Liitteessä 7 ja 8 on kerrottu tarkemmin hartsaamon työturvallisuudesta ja suojavälineiden käytöstä.

6.4 Huolto-ohjeet

Laitteiston huollosta vastaa pääsääntöisesti käyttäjät, jotka suorittavat laitteistolle päivittäis-, viikko-, ja kuukausihuollon ja sekä neljän kuukauden välein suoritettavan määräaikaishuollon. Nämä toimenpiteet suoritetaan laaditun ohjekirjan mukaisesti ja samalla täytetään seurantalomaketta, josta ilmenee mahdolliset laitteiston viat ja kunnossapitotoimet. Viasta ilmoitetaan työnjohdolle, joka päättää tarvittavat toimenpiteet vian ratkaisemiseksi.

Hartsaamo sisältää kaksi kokonaisuutta, hartsauslaitteiston ja uunin. Molemmille on laadittu omat huolto-ohjeet, joista ilmenee huollettavat komponentit ja kohteet. Päivittäishuollot perustuvat silmämääräiseen tarkastukseen.

Seuraavassa on esitetty luettelon muodossa hartsaamossa suoritettavat huolto-toimenpiteet.

Päivittäishuolto työvuoron alussa:

- silmämääräinen tarkastus venttiileille, liitosten pitävyys
- yleinen toimivuus
- uunin tiivisteiden pitävyys
- uunin tuulettimien pyörimisen tasapainon tarkistus
- uunin astioiden suojausten tarkistus / lisääminen.

Kuukausihuolto:

- hartsauslaitteiston suodattimen puhdistus
- uunivaunun astioiden puhdistus hartsista / suojarasvan lisääminen.

Määräaikaishuolto:

- liitosten pitävyyden tarkistus / kiristäminen
- poistoilmasuodattimen levykeräimen puhdistus
- poistoilmasuodattimen tuulettimen puhdistus
- uunin sisälevyjen puhdistus hartsista.

7 POHDINTAA

Hartsausprosessin käyttöönoton laadinta oli haastavaa ja mielenkiintoista, koska toimintaa ei ollut aikaisemmin harjoitettu yrityksessä. Hartsaus-laitteisto suunniteltiin prosessille sopivaksi, joten sen toimintaperiaatteen sisäistäminen ja testaus olivat oma haasteensa.

Opinnäytetyön tekeminen oli alusta alkaen haastavaa, koska pääosa työstä perustaa omaan tiedon hankintaan ja kokemukseen käytännön kautta. Hartsaus on työvaiheena melko yksinkertainen, mutta sen käyttöönoton laadinta vaati erittäin paljon työtä.

Opinnäytetyön tekoa helpotti aikaisempi työkokemus muualta ja työkokemus edeltävältä vuodelta, jolloin olin yrityksessä töissä.

Sain laatia alusta pitäen hartsaamon käyttöönoton. Tähän liittyivät taustatutkimus hartsauksesta, keskustelut laitteiston suunnittelijan kanssa, keskustelut uunin valmistajan kanssa ja muiden asiaan osallistuvien henkilöiden kanssa sekä oma käytännön panostus paikan päällä.

Tarkoituksena oli laatia käyttöönotto hartsausprosessille toimintaohjeineen. Mielestäni tähän tavoitteeseen päästiin kaikin tavoin teoriassa ja käytännössä.

Työn lopuksi haluan kiittää kaikkia työhön osallistuneita ja opastaneita henkilöitä. Erityiskiitokset haluan antaa koko työn ajan suorittamisen ajan mukana olleille Marko Karhuselle, Matias Touralle, Jari Tähkälle ja Saimaan ammattikorkeakoulun puolelta työtä ohjanneelle Veli-Pekka Jurvaselle.

KUVAT

Kuva 1 Monomeerien polymeroituminen, s.10 (IMS: materiaalit ja materiaalien valinta : polymeeri: http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv_4_4.php)

Kuva 2 Kesto - ja kertamuovien rakenne, s.11 (IMS: materiaalit ja materiaalien valinta : polymeeri: http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv_4_4.php)

Kuva 3 Valintaprosessi, s.13

Kuva 4 Roottorin rakenne, s.14 (The Switch, suunnittelu, Intranet, luettu 4.3.2010)

Kuva 5 Generaattorin valmistusprosessi, s.15

Kuva 6 PMR 450 -generaattori, s.16 (The Switch, suunnittelu, Intranet, luettu 4.3.2010)

Kuva 7 PMR 560 -generaattori, s.17 (The Switch, suunnittelu, Intranet, luettu 4.3.2010)

Kuva 8 Valutuskyllästysmenetelmän periaatekuva, s.19 (Valutuskyllästysmenetelmä: <http://www.directindustry.com/prod/tecnofirma-spa/resin-impregnation-plant-trickling-38406-409874.html>, luettu 25.2.2010)

Kuva 9 Uputuskyllästysmenetelmän periaatekuva, s.20

Kuva 10 Tyhjökylästysmenetelmän periaatekuva, s.21

Kuva 11 Hartsausprosessi, s.23

Kuva 12 Roottoritelineen rakenne, s.25 (The Switch, suunnittelu, Intranet, luettu 4.3.2010)

Kuva 13 Hartsaus-laitteiston rakenne, s.27 (The Switch, suunnittelu, Intranet, luettu 4.3.2010)

Kuva 14 Suodattimen rakenne, s.29 (Mahle:rakosuodatin: <http://www.mahle.com/C125705E004FDAF9/CurrentBaseLink/W276LFZG642WEBBEN>, luettu 5.3.2010)

Kuva 15 Takaiskuventtiilien sijainti, s. 30

Kuva 16 Uuniohjelman rakenne, s. 32

TAULUKOT

Taulukko 1 Teoreettinen läpimenoaika roottorille, s.33

LÄHTEET

Aura L & Tonteri A.1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Porvoo: WSOY

Jokiniemi M & Paloniemi P. 1964. Sähkökoneiden eristeistä ja eristyksestä. Helsinki: Strömberg Oy

Kurri V, Malen T, Sandell R & Virtanen M.1999. Muovitekniikan perusteet. Hakapaino Oy

Muovit ja Kumit.2001. Metalliteollisuuden Keskusliitto, MET. Raaka-ainekäsikirja. Tampere: Tammer-Paino Oy

Seppälä J. 2005. Polymeeritekniikan perusteet. Helsinki: Otatieto

Eristysteknillinen koulutusmateriaali, 2009
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/2408/Eristystekninen%20koulutusmateriaali.pdf?sequence=1> (Luettu 3.3.2010)

Hartsikyllästys 2007: <http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/59167E57-255B-40CF-B8DF-90033BEF0923/0/Hartsikyll%C3%A4stys.pdf> (Luettu 1.2.2010)

Materiaalit ja materiaalien valinta, 2005
http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv_4_4.php (Luettu 28.2.2010)

Stenbacka, Hartsin tuoteinfo 2009:
<http://stenbackashopyp.bootti.net/userimages/10150prdocfi-FI.pdf> (Luettu 1.3.2010)

The Swich intranet (Luettu 14.2.2010)

Valutuskyllästysmenetelmä, 2009
<http://www.directindustry.com/prod/tecnofirma-spa/resin-impregnation-plant-trickling-38406-409874.html> (Luettu 28.1.2010)