



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# **Karkaisulaitos KL12 karkaisupuhaltimien Online- kunnonvalvonnan suunnitelma**

Tuomas Sällinen

Opinnäytetyö  
Lokakuu 2016  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Automaatiotekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Automaatiotekniikan suuntautumisvaihtoehto

SÄLLINEN, TUOMAS:

Karkaisulaitos KL12 karkaisupuhaltimien Online- kunnonvalvonnan suunnitelma

Opinnäytetyö 73 sivua, joista liitteitä 2 sivua  
Lokakuu 2016

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Cosmos-värähtelyjärjestelmän sopivuutta karkaisulaitos KL12:n karkaisupuhaltimille. Työ suoritettiin toimeksiantona Pilkington yritykselle, mutta itse työ suoritettiin itsenäisesti. Työni tarkoituksena oli perehtyä lasin valmistukseen, lasin karkaisuprosessiin ja siihen, kuinka karkaisupuhaltimien kunnonvalvonta tulevaisuudessa hoidetaan. Karkaisupuhaltimet ovat hyvin kriittisiä linjan toiminnan kannalta. Karkaisulaitos KL12:n karkaisupuhaltimille ei ole vielä olemassa kunnonvalvontaa, vaan puhaltimille on tehty vain määräaikaista tarkastuksia.

Lasin karkaisuprosessin avulla lasin mekaaninen lujuus paranee, ja tämän seurauksena lasi kestää paremmin iskuja, vääntöä ja kuormitusta sekä lämpötilojen vaihtelua. Lasin rikkoontuessa karkaistu lasi hajoaa pieniksi siruiksi. Niinpä se pienentää loukkaantumisriskiä. Toisinkuin karkaistu lasi tavallinen lasi lohkeaa hajotessaan teräviksi kappaleiksi.

Kunnonvalvonnan yksi tärkeimmistä tavoitteista on käyttövarmuuden parantaminen. Kunnonvalvonnan tarkoituksena on estää suunnittelemattomat käyntihäiriöt sekä seisokit, jotka olisi voitu välttää kunnonvalvonnan ja määräaikaishuoltojen avulla. Lisäksi karkaisupuhaltimien kunnonvalvonnalla voidaan estää tapaturmia.

Työssä on selvitetty karkaisupuhaltimien tämän hetkinen kunto, huoltosuunnitelma, kriittiset varaosat sekä laakerin ja siipipyörän vikaantumisen mahdollisia syitä. Työssä on perehdytty Kojan tarjoamaan Cosmos-värähtelyjärjestelmään eli Online-kunnonvalvontaan, jonka seuraaminen toisesta paikasta on mahdollista internetyhteyden avulla. Työssä on kerrottu pintapuolisesti Kojan tarjoaman Cosmos-värähtelyjärjestelmän asennettavuudesta, käytönaikaisesta valvonnasta ja siitä, mihin tulisi kiinnittää huomiota. Työni lopussa käydään lävitse puhaltimille vuoden 2016 aikana suoritettut mittaukset ja tarkastukset.

Opinnäytetyön avulla saatiin selville, että Cosmos-värähtelyjärjestelmä on mahdollista asentaa karkaisulaitos KL12:n karkaisupuhaltimille, ja tämä onkin tarkoitus toteuttaa vuoden 2017 aikana.

Yritykset käyttävät etäkunnonvalvontaa vielä melko vähän, mutta sen avulla on mahdollista parantaa karkaisupuhaltimien käyttövarmuutta sekä työturvallisuutta. Etäkunnonvalvonta tulee myös yleistymään mobiiliteknologian kehittyessä.

---

Asiasanat: karkaisupuhallin, karkaisuprosessi, värähtelymittaus, online-kunnonvalvonta, kunnonvalvontasuunnitelma

## ABSTRACT

Tampereen Ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical Engineering  
Option of Automation Engineering

TUOMAS SÄLLINEN:

Online condition monitoring plan for quenching fans in quenching factory KL12

Bachelor's Thesis 73 pages, appendix 2 pages  
October 2016

---

The purpose of this Thesis was to study how Cosmos vibration systems suit to quenching fans. This Thesis explores quenching fans for Online condition monitoring plan. This study was commissioned by Pilkington but all the work was made independently. Specifically, this thesis investigates glass manufacture, glass quenching process and how quenching fans in conditioning monitoring could carry out in future. Quenching fans are very critical to ensure that quenching factory works faultless. Quenching fans in KL12 have not yet condition monitoring, but fans are carried out only inspections in fixed period.

Quenching of glass improves glass mechanical strength-, and helps glass to resist hits, torsions, loads and temperature differences. If quenched glass gets broken, it breaks to scrubby shard of glass. Quenching of glass reduce injury risks for humans. Normal glass breaks to sharp pieces.

The main goal of conditioning monitoring is better dependability. The other goal of condition monitoring is to avoid unscheduled working faults and stoppages, which could be avoid with condition monitoring and scheduled maintenance. Conditioning monitoring of quench fans can also reduce accidents.

In this thesis I have found condition of quenching fans in quenching factory KL 12. I also did a service plan for critical spare parts. In addition, I investigated possible fail reasons of bearings and impeller. I also became familiar with Cosmos vibration system served by Kojax. It is possible to monitor this vibration system in online with Internet connection. Thesis also demonstrates installation of Cosmos vibration systems, and what are the main issues- workers should monitor while using the vibration system. In the end of thesis I explore the measurements and inspections made for the fans during 2016.

The main conclusion of this study is that Cosmos condition system is possible to install to quenching fans of quenching factory KL 12. The goal is to install these quenching fans during 2017.

In general, the online-condition monitoring is not used widely in companies these days. However, the online condition monitoring will become general among many companies while it helps to improve quenching factory's dependability.

---

Key words: Quenching fan, quenching process, vibration measurement, online-condition monitoring, condition monitoring plan

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	YRITYKSEN ESITTELY.....	8
	2.1 Pilkington Automotive Tampereen tehdas .....	8
3	LASIN VALMISTUS PÄÄPIIRTEITTÄIN.....	10
	3.1 Lasin ominaisuudet .....	12
	3.2 Lasin esikäsittely.....	13
	3.3 Lasin karkaisu yleisesti .....	15
4	KARKAISULAITOS KL12:n ESITTELY .....	19
	4.1 Karkaistulle lasille suoritettavat testit.....	23
5	KARKAISULAITOS                    KL12                    KARKAISUPUHALTIMIEN KUNNONVALVONNAN SUUNNITELMA .....	29
	5.1 Karkaisupuhaltimien kunnonvalvonta .....	40
	5.1.1 Taajuusmuuttaja kunnonvalvonnan apuna.....	42
	5.1.2 Riskien arviointi .....	42
	5.2 Karkaisupuhaltimien kriittiset varaosat .....	43
	5.3 Laakerien vikaantumisen syyt ja vikaantumisnopeudet .....	45
	5.4 Värähtelyn mittaaminen.....	49
6	KOJAN TARJOAMA COSMOS-VÄRÄHTELYJÄRJESTELMÄ.....	53
	6.1 Cosmos-värähtelyjärjestelmän asennus, käyttöönotto ja huolto.....	55
	6.2 Puhaltimien käytönaikainen valvonta .....	61
	6.3 Kojan suorittamien mittauksien ja tarkastusten läpikäynti .....	63
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	66
	LÄHTEET.....	70
	LIITTEET .....	72
	Liite 1. Karkaisupuhallin 12.1:n NDT-tarkastuksen pöytäkirja.....	72
	Liite 2. Karkaisupuhallin 12.2:n NDT-tarkastuksen pöytäkirja.....	73

## ERITYISSANASTO

<b>Float-lasi</b>	Tavallinen lasi
<b>Fx-laitteisto</b>	Värähtelyantureiden värähtelytieto menee anturin kaapelia pitkin Fx-laitteistolle, joka lähettää tiedon pilvipalveluun
<b>Ilmateollisuus Oy</b>	Yritys tarjoaa asiakkailleen kustannus- ja energiatehokkaita ilmakehäsäilyratkaisuja sekä puhaltimia, yritys tunnetaan nykyisin nimellä Fläkt Woods Oy
<b>Karkaisu</b>	Prosessi, jonka vaikutuksesta lasista tulee kestävämpi ja lasin rikkoontumistilanteessa hajoaa pieniksi siruiksi
<b>Kriittinen osa</b>	Tärkeä osa, joka on hyvä pitää saatavilla
<b>Koja Oy</b>	Yhtiöt tarjoaa asiakkailleen kustannus- ja energiatehokkaita ilmakehäsäilyratkaisuja sekä puhaltimia
<b>Neitseellinen</b>	Puhdas raaka-aine
<b>NDT</b>	Non Destructive Testing, rikkomaton aineenkoetustarkastus
<b>Pallorasteritesti</b>	Testi, jonka avulla etsitään lasista vääristymiä.
<b>Polarisaatiotesti</b>	Testi, jossa lasista tarkastetaan nettovoima jännitykset
<b>Potaska</b>	Potaska on kaliumkarbonaatista käytetty yleisnimitys
<b>RMS</b>	Lyhenne sanoista Root Mean Square ja tarkoittaa tehollisarvoa.
<b>Taivutussyvyys</b>	Taivutuksen syvin kohta
<b>Turvalasi</b>	Yleisnimitys karkaistulle ja laminoidulle lasille, joka hajotessaan estää henkilövahingot
<b>SIL</b>	Safety Integrity Level, turvallisuuden eheyden taso
<b>Siru</b>	Karkaistu lasi hajoaa pieniksi tylppäkärkisiksi siruiksi
<b>Sirutesti</b>	Testi, jolla voidaan määrittää karkaisun onnistuneen
<b>Tärinävaimennin</b>	Tärinävaimentimien tarkoitus on vaimentaa värähtelyä kahden kappaleen välillä
<b>Vyöhykealue testi</b>	Testi, joka suoritetaan työkoneen tuulilasille, joka kulkee yli 40 km/h

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö suoritettiin Pilkington Automotive Oy:n ajoneuvolasien Tampereen Myllypuron tehtaalla. Opinnäytetyöni ensimmäisenä tarkoituksena oli perehtyä karkaisulaitos KL12:n toimintaperiaatteeseen. Opinnäytetyöni käsittää Tampereen tehtaan lasin karkaisuprosessin periaatteen, eli mitä lasin karkaisuprosessissa tehdään lasille ja miten karkaistun lasin karkaisu todetaan onnistuneeksi.

Opinnäytetyöni toisena tarkoituksena oli tehdä kartoitus karkaisulaitos KL12:n karkaisupuhaltimien tämänhetkisestä kunnosta ja selvittää, onko näille mahdollista asentaa etäkunnonvalvonta, jonka avulla nähdään puhaltimien tämänhetkinen kunto. Kunnonvalvonnan tarkoituksena on estää käyntihäiriöt ja suunnittelemattomat seisokit, jotka olisi voitu välttää kunnonvalvonnan ja määräaikaishuoltojen avulla. Kunnonvalvonnan yksi tärkeimmistä tavoitteista on käyttövarmuuden parantaminen. Lisäksi työssä tarkastellaan, miten taajuusmuuttajilta ulos saatavaa tietoa voidaan käyttää hyödyksi puhaltimien kunnonvalvonnassa.

Koja-yhtiöt tarjoaa asiakkailleen kustannus- ja energiatehokkaita ilmankäsittelyratkaisuja sekä puhaltimia yli 80 vuoden kokemuksella. Koja on tarjonnut karkaisulaitos KL12:n karkaisupuhaltimille huoltosuunnitelmaa ennaltaehkäisevän kunnonvalvonnan, varaosalistauksen ja kuntokartoituksen toteuttamiseksi. Kojan tarjoama huoltosuunnitelma pitää sisällään etäkunnonvalvonnan eli Online-kunnonvalvonnan, jota on käsitelty tässä opinnäytetyössä. Kojan tarjoama karkaisupuhaltimien Online-kunnonvalvonta ei käsitä sähkömoottoreita vaan ainoastaan puhaltimien kunnonvalvonnan, sillä nämä ovat kriittisiä karkaisulaitos KL12:n toiminnan kannalta.

Työni koostuu viidestä pääluvusta, jossa ensimmäisessä luvussa 2 esitellään kohdeyritys Pilkington Automotive Oy. Luvussa 3 perehdytään lasin valmistukseen pääpiirteittäin. Luvussa 4 esitellään Tampereen tehtaan karkaisulaitos KL12 ja karkaistavalle lasille suoritettavat testit. Luvussa 5 syvennytään karkaisulaitoksen karkaisupuhaltimien kunnonvalvontasuunnitelmaan yksityiskohtaisesti. Luvussa 6 käydään lävitse Kojan tarjoama värähtelyjärjestelmä ja esitellään asiat, joihin tulee kiinnittää huomiota käytön aikana. Lisäksi esitellään puhaltimille kuluneen vuoden aikana suoritettujen mittausten ja tarkastusten tulokset. Kokonaisuudessa opinnäytetyö on osa isompaa kokonaisuutta, jossa karkaisulaitos KL12 päivitettiin nykyisten vaatimusten mukaiseksi. Tämä opin-

näytetyö rajattiin kuitenkin käsittelemään karkaisuprosessia ja karkaisulaitos KL12:n karkaisupuhaltimien kunnonvalvontaa.

Karkaisuprosessia tehdään sekä lasille että metallille, mutta koska tässä opinnäytetyössäni keskityn lasin karkaisuprosessiin, esittelen seuraavaksi lyhyesti lasin historiaa ja perusominaisuuksia.

Ihmisen yksi yleisimmin valmistamista materiaaleista on lasi, ja sen tiedetään olevan noin 5000 vuotta vanha keksintö. Lasin tarkkaa alkuperää ei kuitenkaan tunneta. Ensimmäiset havainnot ihmisen valmistamista lasiesineistä ovat noin 3000 eaa. Ensimmäiset ontot lasiesineet arvellaan valmistuneen n. 1500 eaa. Lasin pääraaka-aine on hiekka. Soodaa käytetään laskemaan sulamispistettä. Kalkkia tarvitaan lasin kovuuteen ja kestävyiden parantamiseen. Suomen ensimmäinen lasitehdas sijaitti Uudessakaupungissa, jonne se perustettiin vuonna 1681. (Rainamo & Riikonen 1999, 13.)

Lasi on kiinteässä olomuodossa olevaa nestettä. Lasi on myös amorfinen aine, sillä ei siis ole kiinteille aineille ominaista kiderakennetta. Amorfinen aine tarkoittaa kiinteän aineen toista esiintymismuotoa kiteisen aineen lisäksi. Lasilla ei ole olemassa varsinaista sulamispistettä. Muutokset nestemäisestä olomuodosta kiinteään ja toisinpäin tapahtuvat melko leveällä lämpötila-alueella, joka lasille on tavallisimmin noin 500 °C. (Rainamo & Riikonen 1999, 13.)

## 2 YRITYKSEN ESITTELY

Pilkington Automotive Finland on tänä päivänä osa NSG- (Nippon Sheet Glass) konsernia. Pilkington-niminen yritys perustettiin vuonna 1826 ja, se listautui Lontoon pörssiin vuonna 1970. Vuonna 2006 Pilkingtonista tuli osa NSG-konsernia. (Tietoa yhtiöstä.)

Japanilainen NSG-konserni on yksi maailman johtavista lasin valmistajista kolmella suurella liiketoiminta-alueella. Yritys valmistaa lasituotteita rakennusteollisuudelle, ajoneuvoteollisuudelle sekä teknisille markkinoille. NSG-konserni on perustettu vuonna 1918. NSG-konsernilla on tuotantoa noin 30 eri maassa ja myyntiä 130 maassa. Yhtiö työllistää noin 27 000 ihmistä ympäri maailmaa. Yrityksen liikevaihto vuonna 2015 oli noin 4,8 miljardia euroa. Maantieteellisesti 39 % konsernin myynnistä suuntautuu Eurooppaan, 25 % Japaniin, 18 % Pohjois-Amerikkaan ja loput 18 % muihin maihin. (Tietoa yhtiöstä.) NSG on yksi neljästä suurimmasta lasiyrityksistä maailmassa. Muita suuria ovat Asahi Glass, Saint-Gobain ja Guardian Industries. Yhtiö on Tokion pörssiin listattu. (Company overview.)

Pilkington Automotive Finlandilla on ajoneuvojen lasitehtaat Laitilassa ja Tampereella, ja Espoossa toimii varaosalasien tukkuliike. Laitilan tehdas valmistaa linja-autojen ja työkoneiden laminoituja tuulilaseja. Laitilan tehtaan yhteydessä toimii Pilkington Marine, joka suunnittelee laivojen lasituksia. Pilkington Automotive Finland työllistää Suomessa noin 700 henkilöä. Liikevaihtoa yrityksellä oli vuonna 2015 reilu 100 miljoonaa euroa. (Tietoa yhtiöstä.)

### 2.1 Pilkington Automotive Tampereen tehdas

Pilkingtonin Tampereen tehdas valmistui vuonna 1973 Myllypuron teollisuusalueelle. Tontti oli suuri, ja sinne suunniteltiin omaa float-lasia valmistavaa tehdasta, joka ei kuitenkaan toteutunut. Float-lasilla tarkoitetaan tavallista lasia. Uusi tehdas oli karkaistuun lasiin erikoistunut tehdas, ja karkaistun lasin valmistus alkoi vuonna 1973, jolloin yritys toimi nimellä Lamino Oy. Tehdas perustettiin valmistamaan linja- ja henkilöautoihin karkaistuja sivulaseja. Jo 1960-luvun lopulla tuulilaseja alkoi valmistaa yhä useampi



yritys ja Pilkingtonin Tampereen tehdas sai kilpailijoita. Myöhemmin yritys alkoi valmistaa myös rakennuslaseja. (Koivisto 1999, 14.)

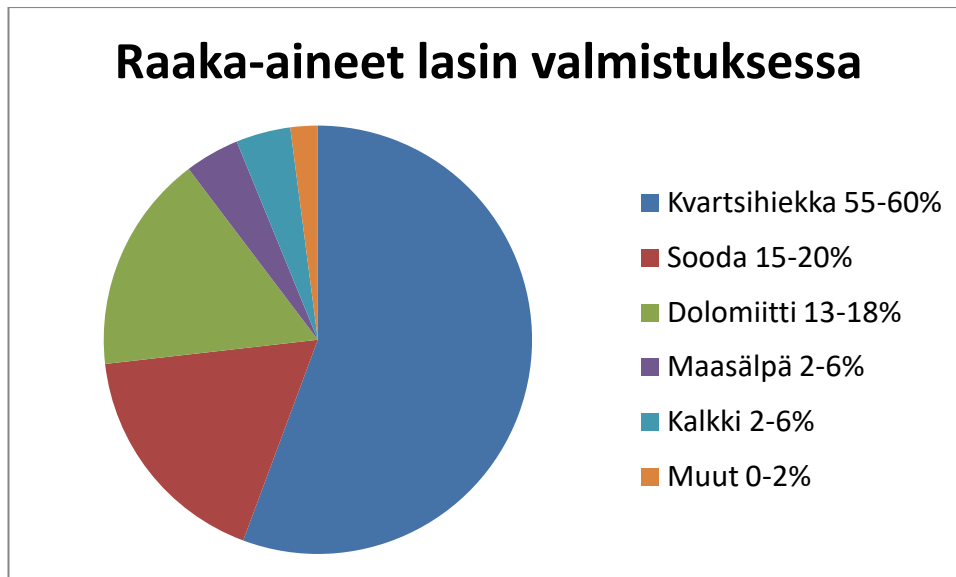
Pilkingtonin tehtaalla Tampereella valmistetaan tänä päivänä lasia puimureihin, traktoreihin ja työkoneisiin sekä linja-autoihin. Suurimpia asiakkaita ovat mm. työkonepuolella John Deere, Case New Holland ja linja-autopuolella MAN, Daimler Evobus ja Scania. Tehdas on keskittynyt erikoisajoneuvojen lasien valmistukseen, minkä vuoksi tehtaalla tehtävät kappalemäärät ovat varsin pieniä ja siellä on keskitytty erityisesti vaikeisiin tuotteisiin. Tampereen Myllypuron tehdas työllistää tällä hetkellä noin 250 henkilöä. Sukupuolijakauma on noin 80/20, eli ala on melko miespainotteinen niin kuin tekniikan alat yleensä. (Jääskeläinen 2016.) Kuvassa 1 on Tampereen tehdas vuonna 1973.



KUVA 1. Tampereen tehtaalla karkaistun lasin tuotanto alkoi vuonna 1973 (Rainamo & Riikonen 1999, 15.)

### 3 LASIN VALMISTUS PÄÄPIIRTEITTÄIN

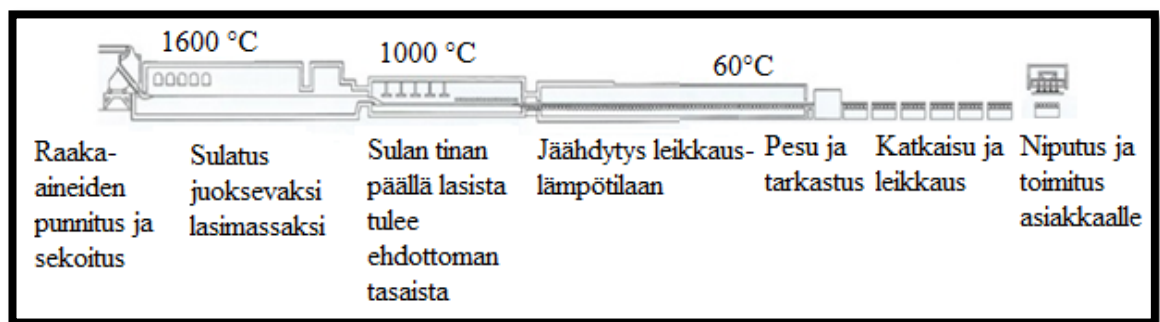
Float-lasin valmistaminen alkaa raaka-aineiden sekoittamisella. Lasin valmistuksessa tarvittavat pääraaka-aineet ovat kvartsihiekkä, dolomiitti eli kemialliselta koostumukseltaan kalsiummagnesiumkarbonaattia ja sooda. Kuvasta 2 voidaan nähdä raaka-aineiden prosentuaaliset osuudet. Valmistuksessa käytetään neitseellisiä eli puhtaita raaka-aineita. Näiden lisäksi valmistuksessa käytetään pieniä määriä kalkkia, maasälpää, potaska, rautaoksidia ja hiiltä. Potaska on kaliumkarbonaatista käytetty yleisnimitys. Tämän lisäksi joukkoon lisätään kierrätettyä lasia, joka on uudelleen sulatettua. Raaka-aineiden puhtaus ja raekoko vaikuttavat lasin laatuun. (Rainamo & Riikonen 1999, 13.) Pääraaka-aineiden lisäksi voidaan käyttää lisäaineita esimerkiksi värillisten lasien valmistuksessa.



KUVA 2. Raaka-aineet, joita käytetään lasin valmistuksessa (Rainamo & Riikonen 1999, 13.)

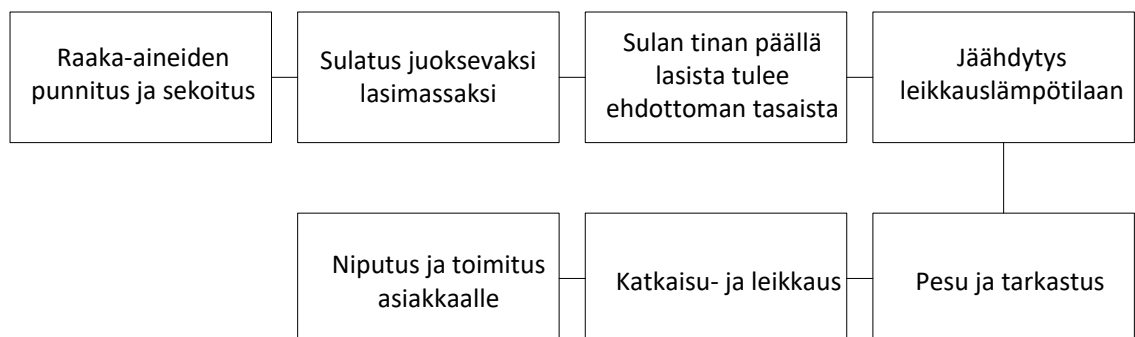
Raaka-aineet toimitetaan tehtaalte, ja tämän jälkeen ne puretaan kuljettimilla siiloihin, josta ne annostellaan kuljettimen avulla vaakojen kautta. Raaka-aineet sekoitetaan myllyssä oikeassa suhteessa. Raaka-aineiden sekoittamisprosessi on miehittämätön prosessi, jonka koneet hoitavat.

Kuva 3 havainnollistaa float-lasin valmistusprosessia. Lasiuunin lämpötila on sulatusvaiheessa noin 1600 °C, jotta raaka-aineet sulavat. Sulatusvirtaus ja sulatuslämpötila vaikuttavat lasin laatuun. Float-prosessissa sulanut lasi valutetaan sulatusuunissa suljetussa tilassa olevan sulan tinan päälle, jonka lämpötila on noin 1000 °C. (Rainamo & Riikonen 1999, 16.) Lasin tasaisuus perustuu suurimmaksi osaksi tinakylpyyn. Tinakylvyssä käytetään reunakoneita, joilla varmistetaan lasin tasaisuus. Lasin jäähtytys on suoritettava tasaisesti, sillä epätasainen jäähtyminen voi näkyä virheinä lasissa. Jäähtytysvaiheen jälkeen seuraa jälkikäsittely, jossa lasinauha katkotaan levyiksi. Tämän jälkeen lasi on valmis toimitettavaksi asiakkaalle.



KUVA 3. Kaavio Float-lasin valmistusprosessista (Rainamo & Riikonen 1999, 16, muokattu.)

Lasin valmistuksessa hyödynnetään myös laadunvalvontaa, jolla tarkistetaan lasin laatu erilaisilla kokeilla ja mittauksilla sekä silmämääräisesti. Sulamattomat raaka-aineet saattavat aiheuttaa pistemäisiä virheitä lasissa. (Rainamo & Riikonen 1999, 16.) Lasiuuni pidetään lämpöisenä ympäri vuorokauden ja ainoastaan huoltoseisokin aikana se pysäytetään (Jääskeläinen 2016.) Kuvassa 4 on esitetty float-lasin valmistuksen pääkohdat.



KUVA 4. Kaavio Float-lasin valmistusprosessista (Rainamo & Riikonen 1999, 16, muokattu.)

Pilkington Lahden lasitehtaalla valmistettiin float-lasia, mutta vuonna 2012 Lahden lasitehdas suljettiin. Pilkingtonin Tampereen tehtaalle lasin toimittaa Saksalainen lasitehdas Gladbeck. Lasin valmistus tapahtuu Gladbeckin tehtaalla Saksassa tai Sandomierzin tehtaalla Puolassa. Lasia toimitetaan Tampereen tehtaalle kuukaudessa noin 2000 tonnia, joka on pinta-alana noin 3 miljoonaa neliometriä. Lasit toimitetaan määrämittaan leikattuina ja halutun värisinä. Kuljetus Tampereen tehtaalle tapahtuu laiva- ja maarahtina. (Jääskeläinen 2016.)

### 3.1 Lasin ominaisuudet

Lasilla on homogeenisesti järjestäytymätön molekyyli rakenne. Aurinkoenergia ja valo voivat läpäistä sen, eli ihminen voi nähdä lasin läpi. Tässä mielessä lasi on ainutlaatuisen suhteessa muihin materiaaleihin. Kirkas float-lasi läpäisee aurinkoenergiaa jopa 88 % asti, näkyvää valoa jopa 91 %. Lasi ei läpäise aurinkoenergiaa, jonka aallonpituus on alle 300 nm tai yli 4000 nm. Lasi vaatii melko vähän huoltoa ja on lähes ikuinen ja ympäristöystävällinen. (Perustietoa lasista.)

Lasin tiheys on  $2500 \text{ kg/m}^3$ , mikä tarkoittaa käytännössä sitä, että lasi painaa 2,5 kertaa enemmän kuin vesi. Tiheys ilmaisee kappaleen massan suhteen tilavuuteen. 4 mm:n paksuinen ja pinta-alaltaan  $1 \text{ m}^2$ :n kokoinen pala painaa siis 10 kg. Lämmönjohtavuutta lasilla on  $1,0 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  ja lämpölaajenemiskerroin on  $9 \cdot 10^{-6} /\text{K}$ . (Rainamo & Riikonen 1999, 14.) Taulukossa 1 on esitetty vielä laajemmin lasin teknisiä ominaisuuksia.

TAULUKKO 1. Lasin teknisiä ominaisuuksia. (Rainamo & Riikonen 1999, 14, muokattu.)

Tiheys	2500 kg/m <sup>3</sup>
Puristuslujuus	1*10 <sup>9</sup> Pa
Vetolujuus	1*10 <sup>8</sup> Pa
Taivutuslujuus	1*10 <sup>5</sup> kN/m <sup>2</sup>
Lämpölaajenemiskerroin	9*10 <sup>6</sup> /K
Ominaislämpökapasiteetti	0,84 kJ/K*kg
Lämmönjohtavuus	1,0 W/ m*K
Kimmokerroin	7*10 <sup>10</sup> Pa
Kovuus	n. 6 Moh'nin asteikolla
Taitekerroin	1,5
Äänen eristävyys (Rw, 6mm lasi)	32 dB

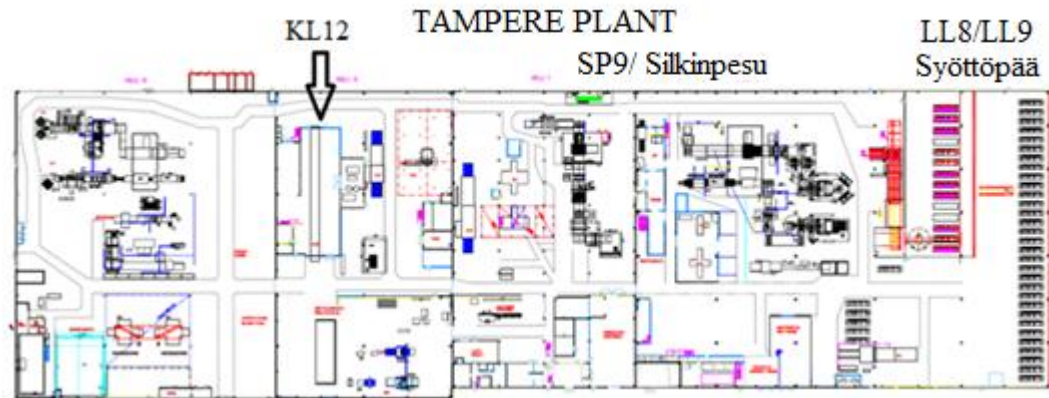
Tänä päivänä Pilkington tarjoaa myös laseja markkinoille, jotka soveltuvat erilaisiin kohteisiin. Tällaisilla kohteilla tarkoitetaan paikkoja, joilta vaaditaan lämmöneristystä, auringonsuojausta, palonsuojausta, ääneneristystä tai itsepuhdistuvuutta. (Lasifakta 2015.)

### 3.2 Lasin esikäsittely

Lasin esikäsittely tarkoittaa, että lasi täytyy työstää ennen sen karkaisua. Tässä tapauksessa lasille tehdään lasin muotoleikkaus, reunahionta, poraus, peseminen sekä silkkipaino. Lasin silkkipainossa käytetään Seri-painotekniikkaa. Silkkipaino tarkoittaa, että lasiin painatetaan tässä tapauksessa tuoteleima ja painatus lasin reunoihin. Lämmityspiiri voidaan tehdä silkkipainossa lasiin hopeapastalla. Lasit valmistetaan asiakkaiden piirustuksien mukaisesti.

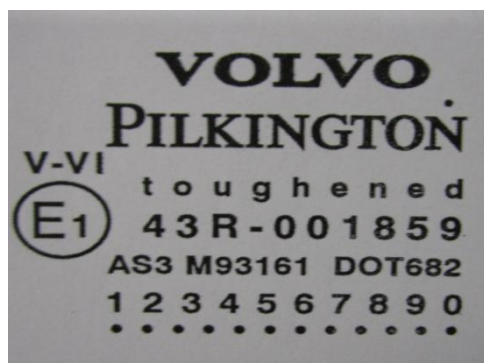
Kuvasta 5 nähdään Tampereen tehtaan pohjakuva. Raakalasin työstö alkaa kuvan 5 oikeassa päässä olevasta LL8/LL9 syöttöpäädästä, josta lasi toimitetaan leikkuulinjalle, jossa se leikataan. Tämän jälkeen lasi toimitetaan silkkipainoon. Näiden vaiheiden jälkeen lasi on valmis karkaisuun toimitettavaksi. Lasin jokaisessa työvaiheessa lasille tehdään silmämääräisiä tarkastuksia, joissa tarkastetaan, että lasi on hyväksytyssä kunnossa. Jos

lasista löytyy virheitä, niin se hylätään. Virhe voi olla tässä tapauksessa naarmu, halkeama tai jokin muu visuaalinen virhe. Hylkyyn menevä lasi voidaan jatkojalostaa esimerkiksi lasivillaksi.



KUVA 5. Kuvassa on pohjapiirustus Tampereen tehtaasta

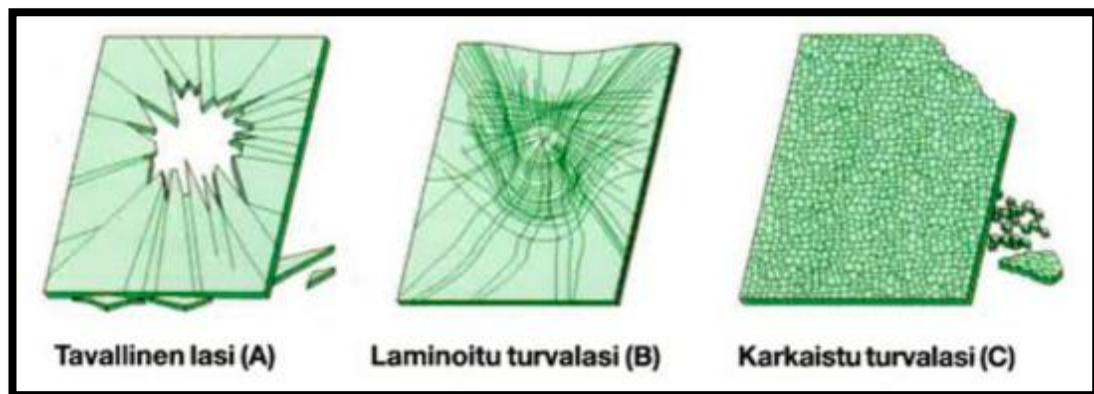
Kaikista karkaistuksista ja laminoiduista lasista on löydyttävä hyväksynnästä kertova tuoteleima, joka painetaan silkkipainossa lasiin. Tästä karkaistun lasin leimasta on kuva 6. Leimasta selviää seuraavat asiat: koska ja missä lasi on valmistettu, valonläpäisyluokka, millä mantereella leima on hyväksytty, lasin vahvuus, lasin väri ja eristyslaseissa elementin vahvuus. Kuvassa 6 on Pilkington sanan viimeisen N-kirjaimen yläpuolella piste. Tämä tarkoittaa sitä, että lasi on valmistettu Tampereen tehtaalla. (Toivonen 2016.)



KUVA 6. Karkaistussa lasissa on oltava tuoteleima

### 3.3 Lasin karkaisu yleisesti

Karkaisu on yleisin tapa parantaa lasin kestävyyttä laminoinnin ohella. Karkaisuprosessi parantaa lasin mekaanista lujuutta, jonka vaikutuksesta lasi kestää paremmin iskuja, vääntöä ja kuormitusta sekä lämpötilojen vaihtelua. Lasin rikkoutuessa karkaistu lasi hajoaa pieniksi tylppäkärkisiksi siruiksi, jonka ansiosta se vähentää loukkaantumisriskiä. Kuva 7 havainnollistaa, miten karkaistu lasi, laminoitu turvalasi ja tavallinen lasi eroavat toisistaan rikkoontumistilanteessa. Turvalasi on yleisnimitys karkaistulle ja laminoitulle lasille, joka hajotessaan estää henkilövahingot. Kun tavallista lasia kuormitetaan yli murtolujuuden, se lohkeaa teräviksi kappaleiksi, ja tällöin on olemassa suuri viiltovammojen vaara. Laminoitussa turvalasissa kappaleet pysyvät kiinni muovikalvossa, ja näin viiltovammojen sekä loukkaantumisen riski on pieni. Karkaistu turvalasi murenee pieniksi, vaarattomiksi lasisiruiksi. (Turva- ja suojalasit.)



KUVA 7. Lasi hajoamistilanteessa (Porvoon lasi Oy.)

Tänä päivänä lasin lämpökarkaisussa on siirrytty vaakatasossa tapahtuvaan karkaisuun. Vaakakarkaisun lämmitys- ja jäähdytysprosessissa lasia liikutetaan edestakaisessa liikkeessä koko ajan, ja tätä kutsutaan oskilloivaksi menetelmäksi. (Rainamo & Riikonen 1999, 85.) Karkaisu voi tapahtua lasin ollessa pysty- tai vaaka asennossa. Pystykarkaisulla on mahdollista tehdä suurempi ja jyrkempi taivutussyvyys kuin vaakakarkaisulla. Taivutussyvyydellä tarkoitetaan taivutuksen syvintä kohtaa. Lisäksi pystykarkaisulla tehdään taivutus laseihin, jotka ovat fyysiseltä kooltaan suuria. Pystykarkaisun ansiosta lasiin ei tule myöskään vääristymää, koska lasi ei kulje telojen päällä. Pystykarkaisun heikkona puolena voidaan pitää sitä, että kun lasi on pihtien varassa karkaisun ajan niin pihdeistä jää jäljet lasiin. (Kemppinen 2016.)

Pystyuuneilla karkaistulla laseilla sirun laatu on parempi kuin vaakauuneilla karkaistuil- la. Syynä tähän voidaan pitää sitä, että Tampereen tehtaan pystyuuneilla ajetaan pää- sääntöisesti paksumpia laseja, kuin vaakauuneilla. Jos pystyuunilla ajetaan raamilasia, niin sirun laatu voi olla huonompi. Yksi syy tähän on se, että raamimuotit sisältävät pal- jon tukirautoja. Näiden ansiosta ilma ei pääse joka paikkaan karkaisussa ja karkaisun laatu jää huonoksi. Raamilasi on muotti, jossa on vain ulkokehä. (Toivonen 2016.)

Karkaisuprosessi on pääpiirteittäin melko yksinkertainen prosessi. Lasia lämmitetään karkaisu-uunissa noin 650 °C lämpötilaan. Lämmityksen jälkeen lasi jäädytetään lasin kummaltakin puolelta nopeasti. Lasin jäädytyksessä pinnat jäähtyvät lasin sisäosia nopeammin, jonka seurauksena pinnoille syntyy puristusjännitys. Tämän prosessin vai- kutuksena lasin keskiosaan syntyy vetojännitys. Normaalisti lasi rikkoontuu vetojänni- tyksessä helpommin kuin puristusjännityksessä. (Rainamo & Riikonen 1999, 85.) Lasin epätasainen jäähtyminen saattaa näkyä virheinä, joita voivat olla esimerkiksi visuaaliset virheet (Nurmi 2016). Lasin karkaisu on fysikaalisesti mahdotonta alle 610 °C lämpöti- lassa. Lasin lämpökarkaisussa on noin 640–660 °C ja lasin karkaisu loppuu noin 480– 510 °C. Tämän lämpötilan alapuolella alkaa lasin jäähtyminen. Ennen ja jälkeen prosessin lasi on visuaalisesti samanlaista (Setälä 2016.) Lasin pintakovuus, valonläpäisy, lä- pinäkyvyys sekä naarmuuntumattomuus eivät muutu karkaisuprosessissa (Turva- ja suojalasi). Mitä ohuempi lasi on karkaistavana, niin sitä kovempi painešokki tarvitaan, että lasin karkaisu onnistuu. Vastaavasti mitä ohuempi lasi, niin sitä vaikeampi lasi on karkaista.

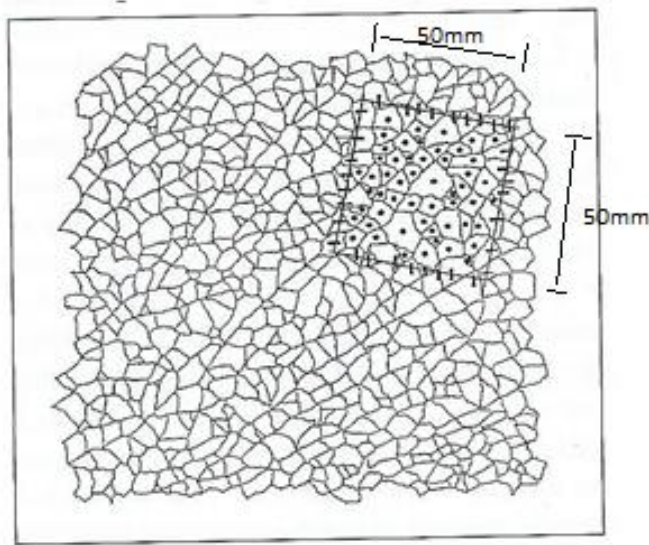
Lämpökarkaisumenetelmän avulla voidaan valmistaa sekä suorita että kaarevia karkais- tuja laseja. Karkaistua lasia voidaan karkaisun jälkeen vielä jatkokäsitellä, kuten teh- dään esimerkiksi eristyslasin valmistuksessa ja laminoinnissa. (Rainamo & Riikonen 1999, 85.) Karkaistua lasia ei voida enää karkaisun jälkeen työstää, eli leikkaus, poraus, reunahionta sekä silkkipaino ovat toimenpiteitä jotka tehdään ennen karkaisu prosessia (Rainamo & Riikonen 1999, 88.)

Karkaistun lasin mitat ja paksuudet voivat vaihdella. Esimerkiksi standardiehdotus prEN 12150 määrittelee rakennuksissa käytettävän yksikerroksisen lämpökarkaistun lasin mittatoleranssit, suoruuden, reunan työstölaadun, tasomaisuuden, sirukokeen, merkinnän sekä muutamia fysikaalisia ja mekaanisia ominaisuuksia, joita lasin on saa- vutettava. Kohteissa, joissa lasiin on olemassa törmäysvaara, lasilta edellytetään suojaa-



vaa ominaisuutta ja lasi luokitellaan myös standardin prEN 12600 mukaan. Taivutettu lasi ei kuulu standardiehdotuksen prEN 12150 piiriin, mutta paksuutta, reunalaatua ja rikkoontumistapaa koskevia vaatimuksia/määräyksiä sovelletaan myös taivutetulle lasille (Rainamo & Riikonen 1999, 86.)

Karkaistuille lasille suoritetaan myös standardoitu sirutesti, jonka perusteella määritetään se, miten lasin täytyy rikkoutua ollakseen karkaistua turvalasia. Kuvassa 8 karkaistulle lasille on tehty rikkoontumiskoe, josta määritellään sirpaleiden lukumäärä ja koko.



KUVA 8. Karkaistulle lasille suoritetaan rikkoontumiskoe, missä neliön muotoiselta alueelta määritellään sirpaleiden lukumäärä. (Rainamo & Riikonen 1999, 86, muokattu)

Kokeeseen otetaan viisi suorakulmion muotoista lasia, joiden koko on 360 mm x 1100 mm. Lasi asetetaan pöydälle, ja testissä sirpaleiden erkaneminen voidaan estää esimerkiksi lasin reunoille laitettavalla puristamattomalla kehyksellä tai lasin pinnalle asetettavalla teipillä. Iskukohta pitää olla lasin pitkältä sivulta 13 mm lasin reunasta keskelle päin. Rikkominen tapahtuu terävällä piikillä, ja tämän seurauksena lasin täytyy särkyä pieniksi tylppäkulmaisiksi sirpaleiksi. Lasin alueelta, lukuun ottamatta 25 mm levyistä reunakaistaa ja 100 mm etäisyydeltä rikkoontumispisteestä olevaa aluetta, etsitään alue, jossa sirujen koko on suurin. Lasiin rajataan alue, jonka koko on 50 mm x 50 mm neliönmuotoinen alue. Tarkoituksena on löytää neliönmuotoinen alue, jossa sirut ovat suurimpia eli niiden lukumäärä on pienin. Neliön muotoisen alueen sisäpuolella olevat sirut lasketaan kokonaisiksi ja sirut, jotka leikkaavat reunaviivaa, lasketaan puolikkaiksi siruiksi. Sirun pituus ei saa ylittää 100 mm, muualla kuin reuna-alueella. Jo-

kaisessa viidessä eri testilasissa erikseen lasketun sirujen lukumäärän täytyy olla vähintään se, mikä on taulukossa 2 eri lasivahvuuksille ilmoitettu. (Rainamo & Riikonen 1999, 86.)

TAULUKKO 2. Sirujen vähimmäismäärä, jolla todetaan, onko lasin karkaisu onnistunut. (Rainamo & Riikonen 1999, 87.)

Lasilaatu	Nimellispaksuus mm	Sirujen lukumäärä vähintään
Float- ja vedetty konelasi	3	15
	4–12	40
	15–19	30
Kuviolasi	4–10	30

Karkaistu lasi on pinnalta puristusjännitetty ja sisältä vetojännitetty, minkä seurauksena lasi kestää mekaanista rasitusta hyvin, mutta se ei kestä teräviä iskuja. Karkaistun lasin pintaan muodostuva puristusjännitys lisää lasin mekaanista lujuutta sekä taivutus- ja murtolujuutta jonkun verran. Samalla myös lasin lämmönsietokyky paranee. (Rainamo & Riikonen 1999, 85.)

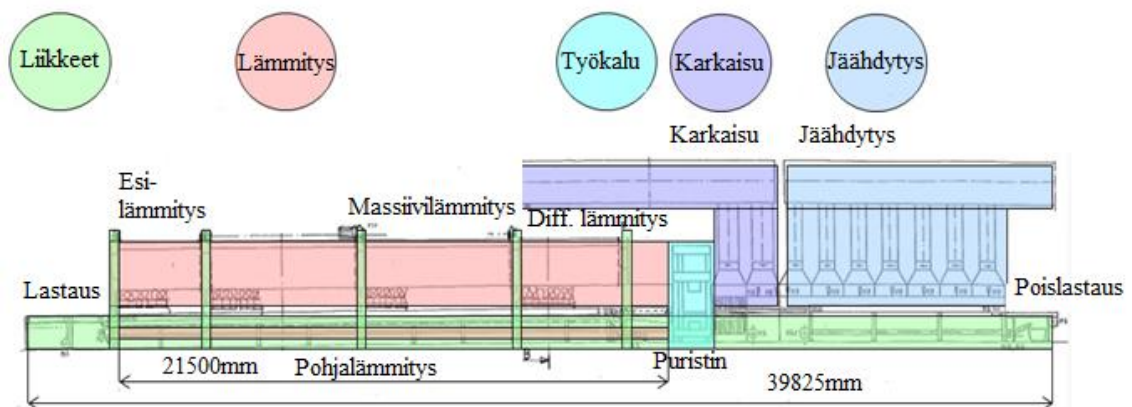
Turvalasia käytetään alueilla, joissa lasin viiltovammojen riski on suurin, ja joissa liikkuu paljon ihmisiä nopeasti, esimerkiksi käytävillä ja porraskäytävissä sekä ovissa ja sisäänkäynnissä. Kaiteiden tulee olla karkaistuja tai laminoituja 0,5 m putoamiskorkeuteen asti ja tämän yläpuolella niiden tulee olla aina laminoituja. (Turva- ja suojalasi.) Karkaistuja laseja käytetään esimerkiksi rakennus- ja sisustuslaseissa, julkisivuissa, valokatteiden laseina, kulkuneuvojen laseina ja kattoikkunoissa. Tänä päivänä autojen tuulilasit eivät kuulu tähän ryhmään ja ne ovat laminoitua lasia. Auton sivulasit, työkonehyttien lasit, laivojen ja veneiden ikkunat ovat karkaistuja laseja. (Rainamo & Riikonen 1999, 86.)

#### 4 KARKAISULAITOS KL12:n ESITTELY

Tampereen tehtaalla on seitsemän pystykarkaisu-uunia ja kolme vaakakarkaisulinjaa. Kahdella näistä vaakakarkaisulinjoista voidaan tehdä lasiin taivutuksia, ja vaakakarkaisulinjoista KL12 pystyy tekemään vaativimpia taivutuksia. KL12 on erikoistunut traktorien lasien karkaisuun. Karkaisulaitos KL12 työllistää tällä hetkellä yhteensä noin 25 henkilöä, ja työtä tehdään tällä hetkellä viisivuorotyönä.

Vaakakarkaisulaitos KL12 on suunniteltu vuonna 1990, ja tämän jälkeen se on rakennettu Tampereen tehtaalle. Tuotanto vaakakarkaisulaitoksella alkoi vuonna 1992. (KL12 ohjauksen uudistus 2014, 2.) Karkaisulaitoksen valmistajana toimi Lamino Engineering. Lamino on Tampereella vuonna 1952 perustettu yritys, joka oli alkuperäiseltä nimeltä Lasipaino. Vuonna 1971 Lasipainon nimi muutettiin Lamino Oy:ksi, ja vuonna 1995 se osti Pilkington yhtymän Lahden lasitehtaan. Lamino osti vuonna 1995 Pilkington yhtymän Lahden lasitehtaan. Seuraavana vuonna Lamino Oy:n nimi muutettiin Pilkington Lamino Oy:ksi. (Koivisto 1999, 14.)

Kuvassa 9 on karkaisulaitos KL12:ta havainnollinen kuva. Karkaisulaitoksella on pituutta noin 40 metriä ja vastaavasti karkaisu-uunilla on pituutta reilu 22 metriä. Tämä johtuu siitä, että lämmitys vaiheessa ei käytetä oskilloivaa menetelmää, eli lasi liikkuu vain eteenpäin tasaisella nopeudella. Leveyttä uunilla on noin 3 metriä. Kuvassa keskellä näkyy karkaisuvaihe, johon opinnäytetyöni liittyy, sillä se käsittelee karkaisupuhaltimien kunnonvalvontaa.



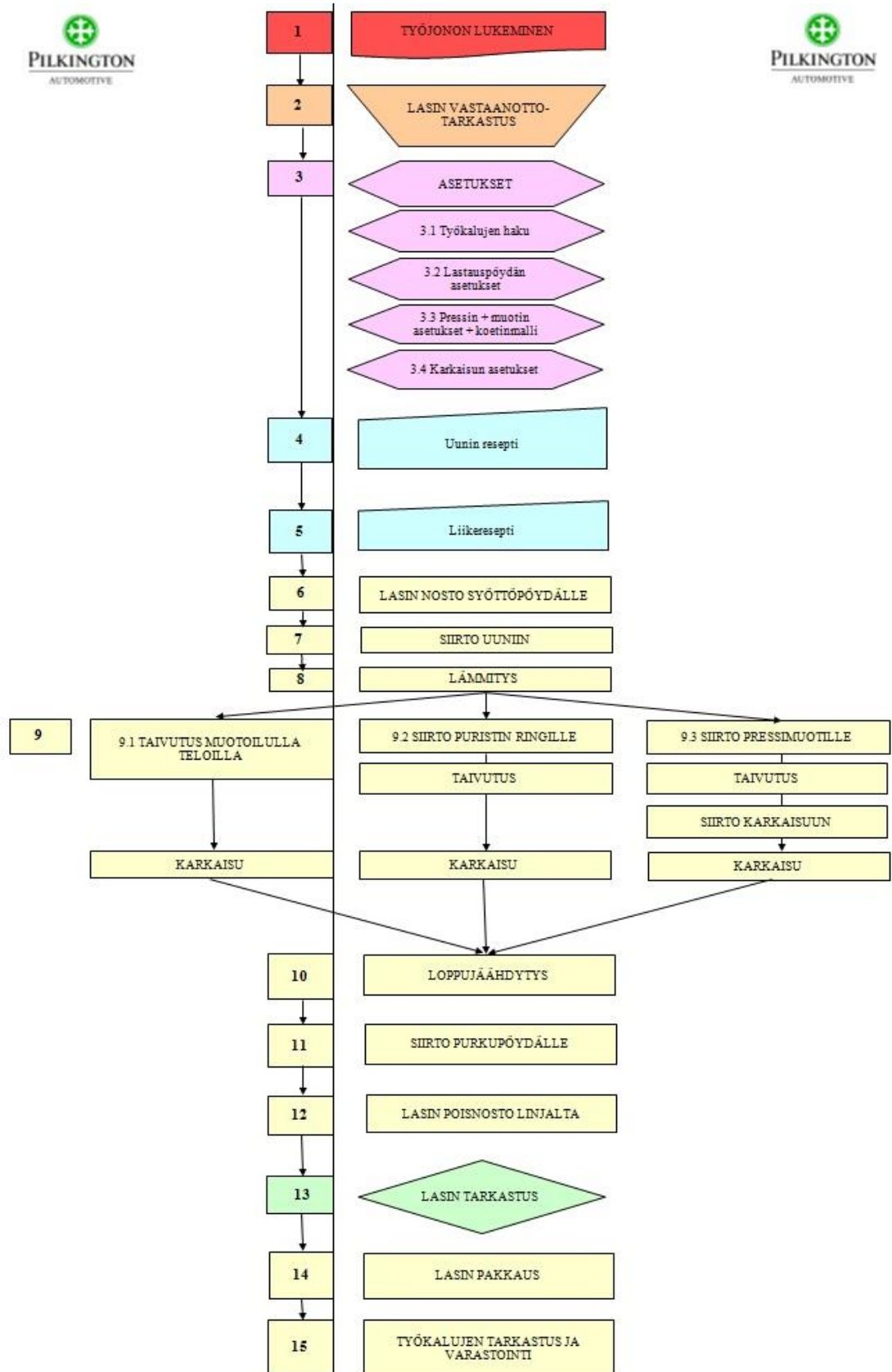
KUVA 9. KL12:n vaakakarkaisu-uunin havainnollinen kuva (KL12 ohjauksen uudistus 2014, 3, muokattu.)

Karkaisu-uunin lämmitys on jaettu kolmeen eri osaan. Näitä ovat esilämmitys, massiivilämmitys ja differentiaalilämmitys. Näiden lisäksi on pohjalämmitys, joka lämmittää lasia alapuolelta. Jos uuni joudutaan jäädyttämään, niin sen alasajo kestää noin kahdeksan tuntia ja ylösajo saman verran. (Setälä 2016.) Uunin jälkeen on puristin, joka tekee lasista muotin muotoisen. Tämän jälkeen tapahtuu karkaisu. Karkaisulinjan työntekijät asettavat parametrit näyttöpäätteeltään karkaisuprosessiin aina ennen uuden lasin laadun karkaisua. Taulukosta 3 havainnollistaa sitä, että lasin karkaisuun tarvittava paine lisääntyy, kun lasi ohenee. Lasin karkaisun jälkeen tapahtuu lasin jäähdytys.

TAULUKKO 3. Karkaistaville lasipaksuuksille vaadittava paine. (Setälä 2016.)

<b>Lasin paksuus</b>	<b>Tarvittava paine</b>
4 mm	10–11 kPa
5 mm	6–7 kPa
6 mm	2–3 kPa
8 mm	1–1,5 kPa
10 mm	0,2–0,5 kPa

Kuvassa 10 on esitetty prosessikaavio lasin karkaisuprosessista. Lasin esikäsitteilyn jälkeen lasi on valmis toimitettavaksi työjonoon. Prosessikaaviosta voidaan huomata, että lasin lämmityksen jälkeen on kolme eri tapaa, jolla lasin puristus tai taivutus voi tapahtua. Tampereen tehtaalla jokaiselle eri mallin karkaistavalle lasille on olemassa oma muottinsa, jonka avulla lasille puristetaan muoto ja näin saadaan halutun mallinen lasi.



KUVA 10. Prosessikaavio karkaisulaitos KL12. (Nurmi 2016.)

Lasikoko, jota voidaan työstää, on maksimissaan 2400 mm x 2000 mm ja minimissään 250 mm x 50 mm. Lasin vahvuuden pitää olla vähintään 3 mm, jos lasin koko on 250 mm x 250 mm tai suurempi. Lasikoon ollessa 1500 mm x 1800 mm, lasivahvuuden tulee olla 4 mm tai enemmän. KL12-karkaistavien lasien paksuus vaihtelee tavallisesti 3–6 mm välillä. Paksuin lasi on 20 mm, jota KL12:ssa voidaan työstää. Taivutusyvyydelle on asetettu maksimiarvo 250 mm. (KL12 ohjauksen uudistus 2014, 2.) Taulukossa 4 on esitetty työstettävän lasikoon tiedot.

TAULUKKO 4. Työstettävän lasin mitat.

	min	max
Lasikoko	250 mm*50 mm	2400 mm*2000 mm
Lasivahvuus	3 mm > 250 mm*250 mm	4 mm >1500 mm*1800 mm
Lasi paksuus	3 mm	20 mm
Taivutusyvyys	-	250 mm

Kun laseja joudutaan karkaisemaan suuria määriä, on suoritusajoilla vaikutusta siihen, montako lasia tietyssä aikayksikössä voidaan työstää. Lasin lämmittämiseksi uunissa on karkea nyrkkisääntö, joka on 40 sekuntia jokaista paksuusmillimetriä kohti. (Setälä 2016.) Lasien lämmitysaika uunissa ei kuitenkaan ole suoraan verrannollinen lasin paksuuteen, koska paksimmat lasit absorboivat enemmän uunin säteilytehoa. Silkkipainatuksen pinta-ala vaikuttaa huomattavasti, koska musta pinta imee itseensä enemmän lämpöä.

Jaksonaika, kun lasia taivutetaan puristimella, on minimissään 30 sekuntia, ja mikäli tehdään karkaisutaivutus, aika on 30 sekuntia. Jaksonaika on tässä tapauksessa aika, joka kuluu yhden lasin taivutukseen puristimella. Useimmiten tyypillinen jaksonaika on 18–26 sekuntia puristimella tai 45–48 sekuntia karkaisutaivutuksella. (KL12 ohjauksen uudistus 2014, 2.)

#### **4.1 Karkaistulle lasille suoritettavat testit**

Tampereen tehtaalla valmistetaan erikoisajoneuvojen laseja, ja standardit eroavat hie-  
man float-laseissa käytettävistä standardeista. Karkaistuille työkoneiden sivu- ja tuuli-  
laseille tehdään ECE-45-standardin mukainen sirutesti, jolla voidaan todeta karkaisu-  
prosessin onnistuneen. Karkaistun lasin sirukokeessa mahdollisesti olevia poikkeamia ei  
sallita. Karkaisussa on määritelty myös rikkomiskohdat, joista jokaisesta rikkomiskoh-  
dasta lasi rikotaan vuorotellen.

ECE-45-merkintää käytetään Euroopassa, ANSI Z26-merkintää käytetään Pohjois-  
Amerikassa ja Jaso-merkintää käytetään Japanissa, sekä CCC-merkintää käytetään Kii-  
nassa. Lasin leimasta selviää, mille mantereelle lasi on hyväksytty. ECE-45-standardin  
täytyy täyttää nämä tiedot, jotka ovat lueteltu taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Ehdot, jotka karkaisulasin on täytettävä, kun siinä on etuliite 43R-01. (leimassa ei saa olla CC 230 hyväksyntää) (Pilkington Automotive, standardi työohje, 2013.)

Ominaisuus	Min	Max	Huom.
Sirujen määrä (50 mm*50 mm alue)	40 kpl	Ei ylärajaa	Jos siru ulottuu tarkasteltavan neliön yli, se lasketaan puolikkaaksi. Jos ollaan lähellä rajoja, ks. kohta 7.
Sirun pituus	-	100 mm	-
Pitkien sirujen päät	-	-	Eivät saa olla ”veitsimäisiä”. Jos pitkät sirut ulottuvat lasin reunaan, sirujen ja reunan välinen kulma on <45°.
Pinta-ala	-	3 cm <sup>2</sup>	Sirun pinta-alan määrittäminen onnistuu vertaamalla sirun pinta-alaa mallipala taulukkoon.
Pinta-ala jos lasin paksuus yli 6 mm	-	2,8 cm <sup>2</sup>	ANSI Z26.1-1996 mukaan on hyväksyttävässä sirukokeessa sirun paino saa olla maksimissaan vain 4,25 g. Leimassa on tällöin ns. DOT-rivi. Esim. M3160 DOT682
Pinta-ala jos lasin paksuus yli 8 mm	-	2,1 cm <sup>2</sup>	

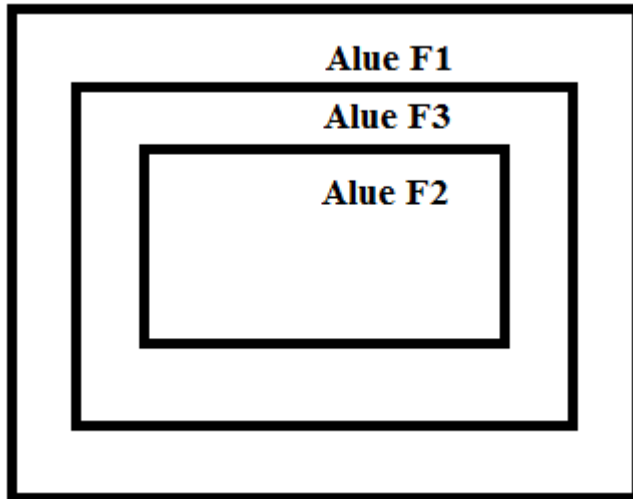


Taulukossa 6 on määritelty, miten usein sirutestejä on tehtävä. Sirutestin onnistumisprosentti on keskiarvallisesti ~90 %. Lasivahvuuden ollessa 3 mm, on hylkyprosentti suurempi, kuin lasivahvuuden ollessa 5–6 mm. (Toivonen 2016.) Tämä johtuu siitä, että mitä ohuempi lasi, sitä suurempi paine tarvitaan, että saadaan šokkivaikutus lasille. Karkaisun onnistuminen saadaan selville vasta sirukokeessa. Karkaisun onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä on useita, mutta seuraavat tekijät ovat tärkeimpiä karkaisun onnistumisen kannalta: lasin oikea lämpötila, lasin paksuus, lasin väri, puristukseen tai siirtoon käytetty aika, reunatyöstöt, puristukset ja karkaisuilma. (Setälä 2016.)

TAULUKKO 6. Tuotannon aikaiset sirutestit, jotka on tehtävä tietyin aikavälein. (Pilkington Automotive, standardi työohje, 2013.)

Valmistuserän suuruus	Testien määrä / Työvuoro	Huom.
< 500 kpl	1 testi/työvuoro 1 kuvallinen testi erän aikana	Kirjaa tulos tehdasjärjestelmään. Kuvallinen sirukoe tehdään AFS:llä
> 500 kpl	2 testiä/työvuoro 1 kuvallinen testi ja 1 koneelta tehty /työvuoro. (yhteensä 2 testiä työvuorossa)	Kirjaa tulos tehdasjärjestelmään. Tee testi tuotantoajon viimeisestä lasista, kirjaa tulos tehdasjärjestelmään. Kuvallinen sirukoe tehdään AFS:llä. 2 kpl sirukokeita on tehtävä jokaisessa vuorossa jossa ko. valmistuserää karkaistaan.
< 20 kpl	1 testi	Kirjaa tulos tehdas järjestelmään

Lisäksi ECE-40 määrittää sen, että työkoneiden tuulilasit täytyy olla vyöhykelaseja, mikäli nämä kulkevat yli 40 km/h. Vyöhykelasista on kuva 11, josta voi nähdä eri vyöhykealueet. Vyöhykelasin hajotessa, näkökentän kohdalle jää isompikokoisia siruja, joiden kohdalta on mahdollista nähdä lasista lävitse, ja työkoneen ohjaaminen liikenteestä sivuun on helpompaa. Vyöhykelasien sirukoetesteissä on määritelty myös lasin rikkomiskohdat, joista tämä rikotaan vuorotellen. (Toivonen 2016.)



KUVA 11. Vyöhykelasi ja sen alueet

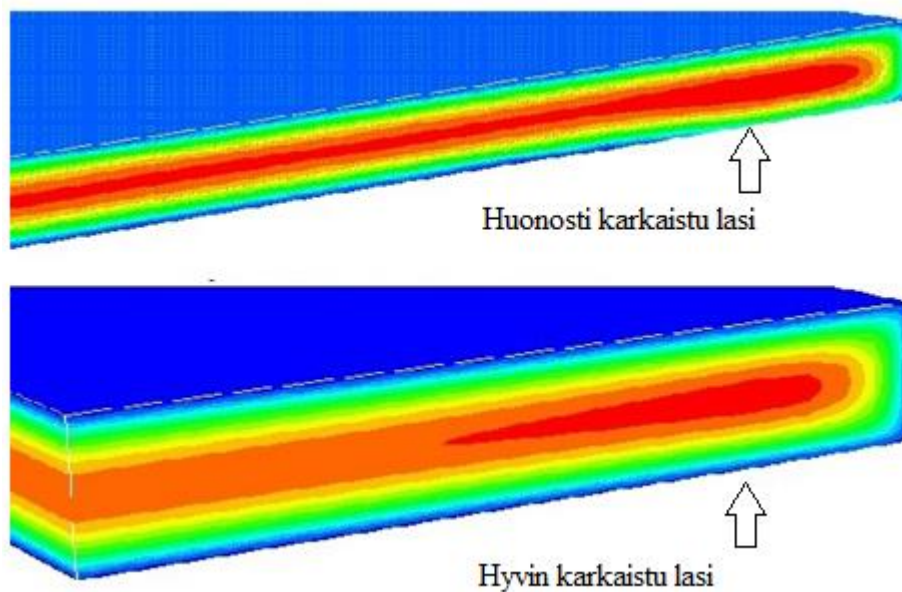
Vyöhykelasi on jaettu kolmeen eri alueeseen, ja näistä oleva tarkennus on selitetty taulukossa 7. Vyöhykekarkaisu saadaan tehtyä kuten tavallinen karkaisu, mutta vyöhykkeen alueelle kohdistetaan pienempi paine. Lisäksi näille vyöhykelasin alueille on myös määritelty sirujen tietty koko ja määrä. Asiakas määrittelee ensisijaisesti vyöhykelasin alueiden koot, jotka sijaitsevat ohjaajan näkökentän keskellä. (Jääskeläinen 2016.)

TAULUKKO 7. Vyöhykealueet. (Pilkington Automotive, standardi työohje, 2013.)

Alue	Tarkennus
Alue F1	Reuna-alue, joka rikkoutuu tasaisesti karkaistun lasin siruiksi. Vähintään 70 mm leveä ja ympäröi kokonaan tuulilasin, sisältää 20 mm leveän ulkokaistaleen, jota ei arvioida
Alue F2	Näkemä alue, joka rikkoutuu vaihtelevasti. Aina vähintään 500 mm*200 mm suurinen alue.
Alue F3	Välialue, joka maksimissaan 50 mm leveä. Rikkoutuminen on alueiden F1 ja F2 väliltä.

Karkaistuille lasille tehdään myös polarisaatiotesti, jokaisessa ajossa ja työvuorossa. Polarisaatiotestissä lasin väriskaalaa verrataan väriskaalataulukkoon. Tässä testissä lasista tarkastetaan nettovoimajännitys, ja mikäli lasissa oleva jännitys on liian suuri, niin lasi menee hylkyyn. Polarisaatiotestissä lasi asetetaan valotaululle ja lasia valaistaan takapuolelta. Lasin eteen asetetaan filmi ja tämän lävitse katsotaan lasia. Tämän jälkeen arvoa verrataan lasin väriskaalataulukkoon. Mikäli lasin väriskaala-arvo menee lähelle taulukon antamia raja-arvoja, niin tehdään lasille hiekkapaperitesti.

Testissä lasin pinta karhennetaan hiekkapaperilla. Mikäli lasi ei hajoa 24 tunnin sisällä testin tekemisessä, lasi läpäisee testin. Lasin hajotessa 24 tunnin sisällä täytyy säätää karkaisuprosessin ohje-arvoja. (Paarmasalo 2016.) Lasi on jäähdettävä nopeasti, jotta lasin sisäosan ja molempien pintojen väliset jännitystasot saadaan oikeiksi. Kuvassa 12 on esitetty huonosti ja hyvin karkaistu lasi. Huonosti karkaistussa lasissa ei ole pinnassa suojakuorta eli sinistä aluetta koko lasin ympäri, johon nuoli osoittaa. Hyvin karkaistussa lasissa vastaavasti suojakuori ympäröi koko lasia.



KUVA 12. Hyvin ja huonosti karkaistun lasin ero (Pilkington: TL Koulutus karkaisu.)

Aina kun jännityksien suunta vaihtuu karkaistussa lasissa, niiden välissä on nolla-alue ja jännitysalue, jota on kuvattu eri väreillä kuvassa. Taulukosta 8 voidaan nähdä, mitä eri-väriset jännitykset tarkoittavat.

TAULUKKO 8. Värit kuvaavat jännityksien eri asteita (Pilkington: TL Koulutus karkaisu.)

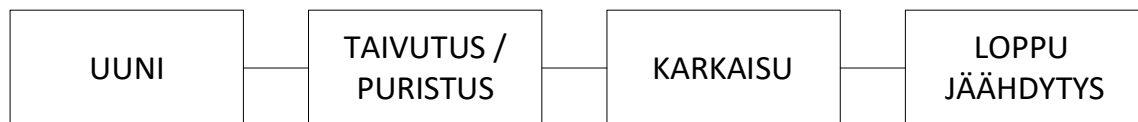
Väri	Jännitystaso
Sininen	Korkea puristusjännitys
Vihreä	Nolla vetojännitys
Punainen	Korkea vetojännitys

Lisäksi karkaistulle ja laminoituille lasille tehdään pallorasteritesti, jonka tarkoituksena on auttaa löytämään lasista optisia vääristymiä. Testissä seinän ja diaprojektorin väliin asetetaan karkaistu tai laminoitu lasi. Lasia käännetään eri asennuskulmiin, jotta lasin optiset virheet tulevat paremmin esille. Testissä nähdään lasin vääristymät, pintaarmut ja jäljet, joita on voinut syntyä karkaisuprosessin aikana karkaisu-uunin rullista tai teloista. (Paarmasalo 2016.)

## 5 KARKAISULAITOS KL12 KARKAISUPUHALTIMIEN KUNNONVALVONNAN SUUNNITELMA

Tässä luvussa käydään lyhyesti lävitse karkaisuprosessin pääkohdat ja sen jälkeen syvennytään karkaisupuhaltimien kunnonvalvonnan suunnitelmaan, joka toteutettiin Pilkington yritykselle vuoden 2016 kesän seisokin aikana yhdessä Koja-yrityksen kanssa.

Kuvassa 13 on esitetty karkaisuprosessin kriittiset vaiheet. Karkaisuprosessi alkaa sillä, että karkaistava lasi menee karkaisu-uuniin. Kun karkaistava lasi tulee ulos karkaisu-uunista, lasin lämpötila on hieman yli 700 °C. Tämän jälkeen kuuma lasi taivutetaan tai puristetaan muottiinsa, ja sen jälkeen tapahtuu lasin karkaisu. Karkaisutoimenpiteen jälkeen alkaa lasin loppujäähdytys. Lasin karkaisupuhaltimien tarkoitus on aiheuttaa painesokki karkaistavalle lasille ja tämän jälkeen jäähdytyspuhaltimet jäähdyttävät lasin.



KUVA 13. Lasin karkaisuprosessin työvaiheet

Taulukossa 9 on kerrottu testit, joiden avulla voidaan todentaa, että lasin karkaisu on onnistunut. Sirutesti, polarisaatiotesti ja pallorasteritesti suoritetaan työkoneen kaikille lasille. Mikäli työkone kulkee yli 40 km/h, niin silloin työkoneen tuulilaseille suoritetaan vyöhykealuetesti.

TAULUKKO 9. Testit, joilla voidaan todeta lasin karkaisuprosessin onnistuneen.

Testi	Mitä tehdään
Sirutesti	Määritetään sirujen vähimmäislukumäärä ja koko
Vyöhykealuetesti	Alueiden määrittäminen, käytetään tuulilaseissa
Polarisaatiotesti	Tarkastetaan nettovoima jännitykset
Pallorasteritesti	Etsitään lasista vääristymät

Paras aika aloittaa puhaltimien kunnonvalvontaan liittyvät mittaukset olisi siinä vaiheessa, kun tuotantolaitoksen linja on käynnistetty ensimmäisen kerran, jolloin saataisiin paras lähtötilanne mittausten kannalta. Värähtelymittauksien kohdalla saataisiin hyvät lähtöarvot ja voitaisiin aloittaa värähtelyarvojen muutosnopeuden seuraaminen. Usein tilanne ei ole näin ideaalinen, ja mittaukset ja seuranta aloitetaan jälkikäteen, niin kuin karkaisulaitos KL12:n kohdalla. Tällöin on viisaampaa seurata muutoksen nopeutta kuin absoluuttista arvoa.

Karkaisulaitos KL12:n karkaisupuhaltimille on tähän mennessä tehty värähtelymittauksia vuosittain, mutta Online-kunnonvalvonta tulee tekemään näistä mittauksista jatkuvia. (Jääskeläinen 2016.) Taulukossa 10 on esitetty karkaisu- ja jäähdytyspuhaltimien teknisiä tietoja. Tekniset tiedot ovat moottorin ja puhaltimien arvokilvissä ilmoitetut tiedot.

TAULUKKO 10. Taulukossa karkaisu- ja jäähdytyspuhaltimien teknisiä tietoja.

Toiminto	Karkaisu	Jäähdytys
Puhallinvalmistaja	Fläkt Woods	Koja
Puhaltimien määrä	2 kpl	2 kpl
Puhaltimien laakerointi	Öljykylpylaakerointi	Erillisrasvalaakerointi
Puhaltimen pyörimisnopeus	1600–1760 rpm	1478 rpm
Puhaltimien teho	350–355 kW	80 kW
Puhaltimen ilmavirran tuotto	17–28 m <sup>3</sup>	-
Puhaltimien siipien halkaisija	1685 mm	1872 mm
Puhaltimien vetotyyppi	Kytkinkäyttöinen	Hihnavetoinen
Puhaltimien valmistusvuosi	1990	1990
Puhaltimen asennusalusta, kpl	Tärinävaimentimien päällä, 14 kpl tärinävaimentimia	Tärinävaimentimien päällä, 7 kpl tärinävaimentimia
Puhaltimien ohjaus	ABB ACS800 Taajuusmuuttaja	-
Taajuusmuuttajien valmistusvuosi	2007	-
Puhaltimien moottorien valmistaja ja maa	Siemens, Saksa	Strömberg, Suomi
Syöttö jännite ja kytkentä	380 V, kolmio	380 V, kolmio
Maksimivirranotto	730 A	170 A
Moottorien teho	400 kW	90 kW
Moottorin pyörimisnopeus	1492 rpm	1478 rpm
Moottorien valmistusvuosi	1990	1990

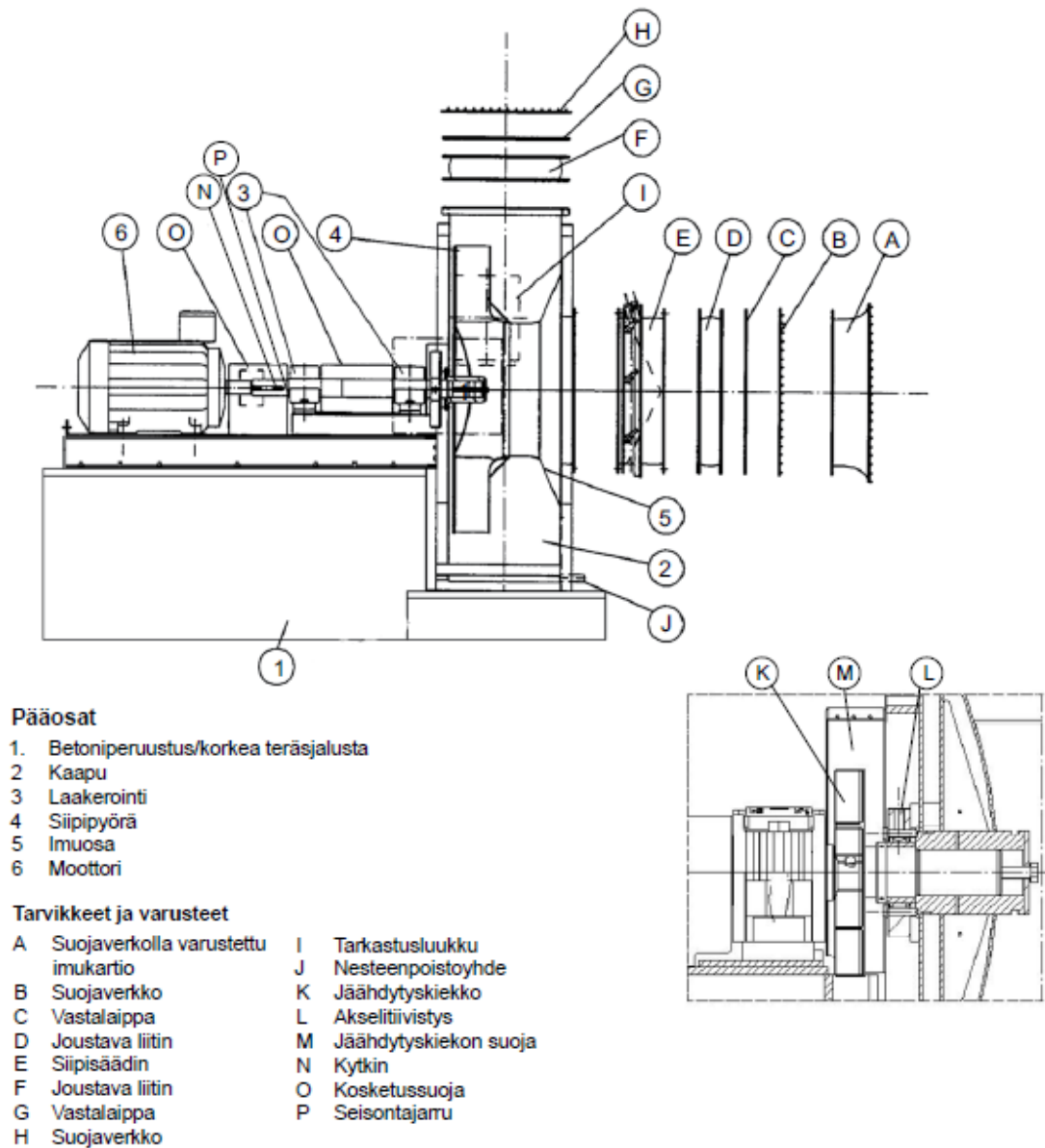
Karkaisulaitos KL12 pitää sisällään yhteensä neljä puhallinta ja saman verran moottoreita. Kaikki puhaltimet ovat tyypiltään keskipakoispuhaltimia. Ilmateollisuuden puhaltimia on kaksi, ja ne ovat karkaisupuhaltimia. Kojan puhaltimia on kaksi ja ne ovat jäähdytyspuhaltimia. Kojan puhaltimet ovat identtisiä keskenään, kuten myös Ilmateollisuuden puhaltimet. Ilmateollisuus Oy tunnetaan nykyisin nimellä Fläkt Woods Oy, ja se tarjoaa asiakkailensa myös ilmankäsittelyratkaisuja sekä puhaltimia.

Taajuusmuuttajilla ohjataan karkaisupuhaltimen moottoreita, ja moottorit pyörittävät puhaltimia. Jäähdytyspuhaltimissa ei ole taajuusmuuttaja-ohjausta, vaan käynnistäminen tapahtuu tähti-kolmiokytkennän avulla, jolla rajoitetaan moottorin käynnistysvirtaa. (Soukko 2016.) Kaikille karkaistuille lasille jäähdytyksessä käytettävä paine on vakio.

Ilmateollisuuden moottorit (400 kW) ovat tehoiltaan reilusti suurempia kuin Kojan moottorit (90 kW), kuten taulukosta 10 voidaan havaita. Ilmateollisuuden puhaltimien tarkoitus on luoda painesokki karkaistavalle lasille, ja vastaavasti Kojan puhaltimien tarkoitus on jäähdyttää lasi.

Kuva 14 havainnollistaa puhallinta, josta näkyy sen tärkeimmät osat. Karkaisuprosessin kannalta kriittisimmät osat kuvassa ovat laakerointi (numero 3) ja siipipyörä (numero 4). Betoniperustukseksi / korkeaksi teräsjalustaksi (numero 1) kutsutaan moottorin alla olevaa petiä. Siipipyörän ympärillä olevaa osaa kutsutaan kaavuksi (numero 2). Kaavun tehtävänä on muodostaa siipipyörän tuottamasta dynaamisesta paineesta staattista. Puhaltimen imuosaksi (numero 5) kutsutaan osaa, joka ohjaa ilman puhaltimeen. Moottori (numero 6) pyörittää kytkinkäyttöistä siipipyörää.





KUVA 14. Puhaltimen havainnollinen kuva (Asennus-, käyttö- ja huolto-ohje 2012, 14, muokattu.)

Puhaltimet on asennettu värinävaimentimien päälle, joita kuvassa 14 ei ole esitetty. Värinävaimentimien tarkoitus on vaimentaa värähtelyä kahden kappaleen välillä, ja lisäksi estää värinän ja äänen siirtymistä sekä lisätä koneen käyttöikää. Värinävaimentimet vaihdettiin puhaltimien alle vuoden 2016 kesäseisokin aikana, eikä niitä ole tietävästi ennen vaihdettu. (Salonen 2016.) Kuvassa 15 on Ilmateollisuuden puhaltimen alla oleva värinävaimentin.



KUVA 15. Ilmateollisuuden puhaltimen alla oleva tärinävaimennin

Kevään 2016 aikana karkaisupuhaltimille toteutettiin käytönaikainen kuntokartoitus, jossa puhaltimille tehtiin kokonaisvärähtelymittaukset ja visuaaliset kuntoarviot yhdessä Pilkingtonin kunnossapitohenkilöstön kanssa (Koja: Service suunnitelma 2016).

Kuntokartoituksen avulla saavutettiin karkea tilannekuvaus puhaltimista ja mahdollisista huoltoa vaativista kohteista. Kartoituksesta laadittiin kirjallinen selvitys, joka käytiin yksityiskohtaisesti läpi Pilkingtonin henkilöstön kanssa. Kuntokartoituksen jälkeen tehtiin suunnitelma tarpeellisista lisätutkimuksista ja huoltotoista, joiden avulla saavutetaan paras mahdollinen pohja puhaltimien riskittömälle käytölle. Kuvassa 16 on Ilmateollisuuden karkaisupuhallin. Puhaltimesta on otettu imukartio irti siipipyörän NDT-tarkastusta varten. NDT on lyhenne sanoista Non Destructive Testing ja tarkoittaa rikkomatonta aineenkoetustarkastusta.

Tarkastus suoritetaan karkeasti seuraavalla tavalla. Ensimmäisenä tarkastettava kappale puhdistetaan huolellisesti puhdistusaineella ja pinnan annetaan kuivua. Tämän jälkeen tarkastettaville pinnoille ruiskutetaan kontrastiväri. Liian paksu kerros voi haitata vikojen havaitsemista. Seuraavana kappale magnetisoidaan sektoreina laitteella ja tarkastettavalle pinnalle ruiskutetaan magneettijauhe. Magneettijauheen annetaan tasaantua. Sen jälkeen magneettijauhe kerääntyy epäjatkuvuuskohtiin eli säröihin, josta ne ovat silmämääräisesti havaittavissa. Viimeisenä magneettijauhe ja kontrastiväri poistetaan vielä kappaleesta. (Aalto 2016.)



KUVA 16. Ilmateollisuuden karkaisupuhallin

Värähtelymittaukset suoritetaan aina koneen ollessa käynnissä, sillä värähtelyä ilmenee ainoastaan silloin. Mittausten avulla saatiin hyödyllistä tietoa puhaltimien tämän hetkestä kunnosta, ja näin tarvittaviin seisokien aikaisiin huoltotöihin voitiin varautua jo ennen kesän seisokkia.

Koja suoritti käytönaikaiset puolivuositteiset mittaukset kriittisille puhaltimille. Värähtelytasomittauksien avulla varmistettiin kaikkien puhaltimien pyörivien osien kunto. Laakereiden alkavat ongelmat, siipipyörien epätasapaino ja välityksen linjausongelmat voitiin nähdä värähtelymittauksista ja niihin voitiin varautua. Värähtelytasomittaukset suoritettiin spektrimittauksena koneen ollessa käynnissä. (Koja: Service suunnitelma

2016.) Kuvassa 17 on esitetty Kojan jäähdytyspuhallin. Kojan puhaltimen kaavussa näkyy tarkastusluukku, joka on auki puhaltimen tarkastusta varten.



KUVA 17. Kojan hihnavetoinen jäähdytyspuhallin

Käytönaikaisen jatkuvan kunnonvalvonnan eli etävalvonnan avulla on mahdollista seurata puhaltimien kuntoa reaaliajassa mistä ja milloin vain. Etävalvonnan välityksellä puhaltimien seuranta on jatkuvaa, ja nopeasti eteneviin ongelmiin osataan reagoida paremmin. Etävalvonta tarkkailee puhaltimien kokonaisvärähtelytasoja, joista voidaan päätellä puhaltimien yleiskunto. Kun värähtelytrendi alkaa nousta, tulee Kojalle ilmoitus puhaltimien tarkempaa tutkimusta varten. Tämä tarkastus voidaan tehdä puhaltimien ollessa käynnissä ja eikä prosessia tarvitse keskeyttää. Näin puhaltimien alkaviin ongelmiin voidaan reagoida jo ennen kuin värähtely saavuttaa hälytysrajan. Toisinaan puhaltimien kunto voi heikentyä nopeasti, jolloin kolme kertaa vuodessa tehtävät reittimitaukset eivät välttämättä ehdi reagoimaan ongelmaan, jonka vuoksi on hyvä, että puhaltimissa on lisäksi jatkuvatoiminen kunnonvalvonta. (Aalto 2016.)

Koja suoritti kesän 2016 seisokin aikana KL12 karkaisupuhaltimille seuraavat toimenpiteet, jotta puhaltimien tämän hetkisestä kunnosta saatiin selvyys.

- 1) **NDT-tarkastuksessa** siipipyörille tehtiin visuaaliset tarkastukset ja magneettijauhetarkastukset. Epätasapainot voitiin nähdä värähtelyarvoissa, ja tämä taas aiheuttaa värinää. Säröt ja väsymiset nähtiin ainoastaan NDT-tarkastuksilla, jotka suoritettiin kesän aikana. Tunkeumanestetarkastuksia ei ollut järkevää tehdä, koska tunkeumanestettä olisi voinut jäädä puhaltimiin ja tämä olisi voinut joutua myöhemmin lasille, ja näin karkaistu lasi olisi pilalla. Tarkistuksista annettiin lausunto töiden yhteydessä ja kirjallinen raportti töiden jälkeen. Säröt ja väsymiset oli näin mahdollista saada kiinni jo alkuvaiheessa, ja mahdolliset tulevat seisokit, jotka johtuvat näistä tekijöistä, voidaan tämän tarkastuksen avulla estää. (Koja: Service suunnitelma 2016.) Työn liitteenä (liite 1 ja liite 2) karkaisupuhaltimien tarkastuspöytäkirjat.
- 2) **Tasapainotuksissa** oli tarkoitus selvittää siipipyörien epätasapaino-ongelmat, jotka voivat johtua siipipyörien likaantumisen, tasapainopalojen irtoamisesta tai ulkoisista iskuista siipipyörään. Tasapainotuksen kautta siipipyörä saadaan takaisin tarkoituksenmukaiseen käyttöön, jolloin muiden pyöriä osien käyttöikä pitenee. (Koja: Service suunnitelma 2016.)
- 3) **Visuaalisten tarkastuksen** eli silmämääräisten kuntokartoitusten tarkoituksena oli varmistaa runkorakenteen, kytkinvälityksien, kiilahihnavälityksien, tärinävaimentimien ja suojiä kunto (Koja: Service suunnitelma 2016).
- 4) **Linjausten tarkastusten** tarkoitus oli tarkistaa kytkinkäyttöisten puhaltimien linjaus muiden seisokin aikaisten töiden yhteydessä, jos värähtelymittauksista saadaan indikaatio linjausongelmasta. Akseleiden linjausongelmat vaikuttavat merkittävästi puhaltimien värähtelytasoihin ja sitä kautta koko puhaltimien käytettävyyteen. (Koja: Service suunnitelma 2016.)

Puhaltimet sijaitsevat omassa tilassa toisessa kerroksessa, ja ne ovat isokokoisia. Tämän vuoksi seinään täytyy vähintään tehdä reikä, jotta puhaltimien vaihtotyö onnistuu. Tarvitsee myös tarkkaan harkita, mikä seinä on järkevintä purkaa, koska joka puolella on koneita ja laitteita. Kuvassa 18 on Ilmateollisuuden karkaisupuhallin ja sen moottori, jotka on asennettu teräsjalustan päälle.



KUVA 18. Ilmateollisuuden puhallin ja tämän moottori

Myös karkaisupuhaltimen siipipyörän siiven irtoaminen koneen ollessa käynnissä aiheuttaa suurta vaaraa niin ihmisille kuin materiaaleille. Siipipyörän irrotessa vauhdissa se lähtee suurella nopeudella irti ja hajottaa kaiken tielleen osuvan. (Jääskeläinen 2016.) Jos siipipyörää ajetaan täydellä nopeudella, niin piste siipipyörän ulkokehällä liikkuu noin 155 m/s.

Voidaankin todeta, että karkaisupuhaltimien hajoaminen tai siipipyörän irtoaminen ovat merkittäviä riskejä tuotannolle ja sen työntekijöille, ja sen vuoksi näiden kunnossapito ja huolto ovat erityisen tärkeitä. Kuvassa 19 on Ilmateollisuuden puhaltimen siipipyörästä kuva. Siipipyörän pinnalla näkyvä valkoinen aine on magneettijauhetta, jota käytetään NDT-tarkastuksessa.



KUVA 19. Ilmateollisuuden puhaltimen siipipyörä

Siipipyöriä voidaan myös kunnostaa, ja mikäli siipipyörä otetaan kunnostuksen ajaksi irti ja kunnostuksessa tehdään kaikki toimenpiteet oikein, niin siipipyörästä tulee käytännössä uuden veroinen. Sitä parempi lopputulos tulee, mitä aikaisemmin huomataan siipipyörässä halkeamat ja murtumat. (Aalto 2016.) Jos kunnostus joudutaan tekemään siipipyörän ollessa paikallaan, niin tällöin voidaan tehdä vain tilapäinen korjaus ja jatkaa mahdollista ajoa seisokkiin asti, mikäli siipipyörä kestää sinne asti. (Aalto 2016.)

Siipipyörien kestävyys vaikuttaa moni eri asia. Nykyään tehdyt siipipyörät kestävät paremmin kuin esimerkiksi 10–15 vuotta sitten tehdyt, ja tähän on syynä se, että tekniikka on nykyään parempaa ja Kojan omat laatuvaatimukset velvoittavat tämän valmistukselle. Ennen käytettiin materiaalia S355, joka oli rakenneterästä. Koja on kiristänyt omia laatuvaatimuksiaan, ja tänä päivänä käytetään prosessipuhaltimissa vain S690QL/S650MC-terässekoitusta. Osa siipipyörästä on S690-rakenneterästä ja osa S650-rakenneterästä. S-kirjain numeroiden edessä viittaa rakenneteräkseen. S-kirjaimen jälkeinen numero tarkoittaa teräksen murtolujuutta ( $\text{N/mm}^2$ ). Mitä suurempi on S-

kirjaimen perässä oleva numero, niin sitä suurempi murtoluku kyseisellä teräksellä on. Teräksen murtolujuudella tarkoitetaan sitä, millaisessa jännityksessä teräs alkaa myötää. Tänä päivänä on siis siirrytty käyttämään lujempaa terästä. (Aalto 2016.)

Siipipyörä voi rikkoontua, koska sen käyttö on rasittava prosessi. Tämä tarkoittaa sitä, että puhaltimia ajetaan nopeassa syklistä ylös ja alas. Myös nopeat paine-erojen muutokset kanavistossa väsyttävät siipipyörää. Mikäli prosessia on mahdollista ajaa rampimaisesti ylös ja alas, niin tällöin siipipyörät kestävät pidempään ja paremmin. Siipien kesto voidaan helpottaa myös käyttämällä ohitusvirtauksia. (Aalto 2016.)

On olemassa myös muita tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa siipien rikkoontumiseen. Siipipyörien epätasapaino on yksi merkittävä tekijä, koska se aiheuttaa vapinaa ja se taas kuluttaa siipipyöriä. Laakeriviat voivat myös aiheuttaa siipien rikkoontumisen. Lisäksi linjausviat ja kuluneet tärinävaimentimet voivat aiheuttaa siipien ennenaikaisen rikkoontumisen. (Aalto 2016.) Tästä voidaankin todeta, että hallittu seisokki on aina taloudellisempi vaihtoehto kuin laakerin rikkoontumisesta johtuva äkillinen seisokki.

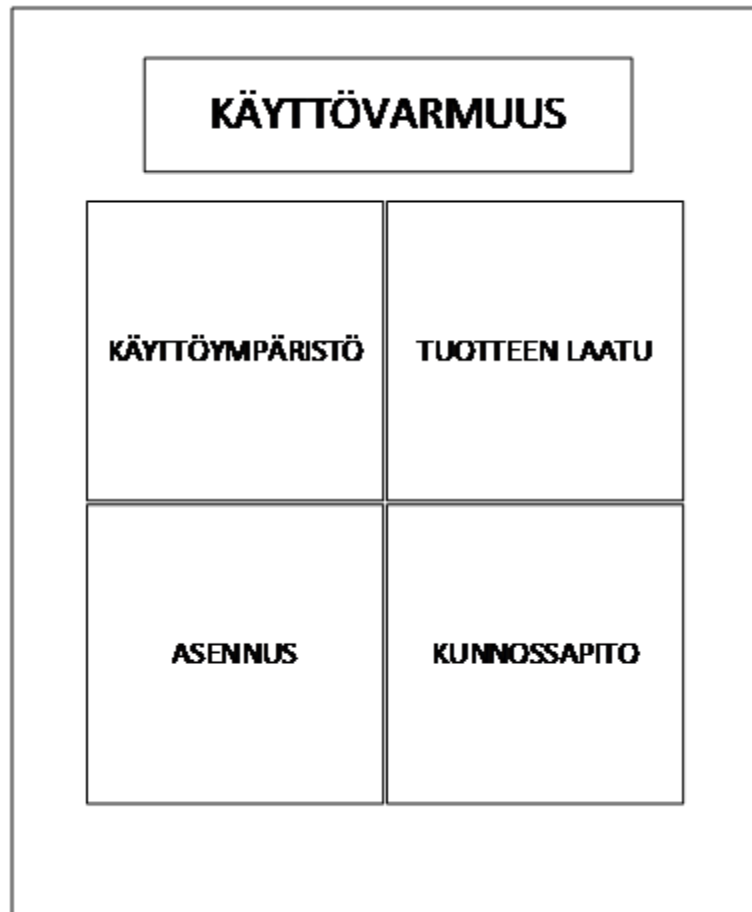
## **5.1 Karkaisupuhaltimien kunnonvalvonta**

Koneiden kuntoa voidaan yleisesti valvoa monilla eri menetelmillä. Yleisimmät ja käytetyimmät kunnonvalvontamittaukset ovat värähtelymittaus, lämpötilamittaus, kulumishiukkasanalyysimittaus ja moottoreissa sähköisten suureiden mittaus.

Kunnonvalvonnan tarkoituksena on estää suunnittelemttomat käyntihäiriöt sekä seisokit, jotka olisi voitu välttää kunnonvalvonnan ja määräaikaishuoltojen avulla. Kunnonvalvonta on tehokas tapa ennakoida etukäteen koneen tai koneen osien vaurioituminen. Lisäksi kunnonvalvonnan avulla pystytään vaikuttamaan yrityksen kannattavuuteen. Kunnonvalvonnan avulla saavutettavia hyötyjä ovat kunnossapidon suunnitelmallisuus, tuotettavuuden kasvu, seisokkiaikojen parempi hyödyntäminen, suunnittelemttomien seisokkiaikojen vähentäminen ja koneiden pidempi elinikä. (Kunnossapito-menestystekijä. Johdanto kunnonvalvontaan.)



Karkaisupuhaltimien kunnonvalvonta voidaan määrittää hyvin kriittiseksi karkaisulinjan osakokonaisuudeksi, koska ilman karkaisupuhaltimia lasin karkaisu on mahdotonta. Kunnonvalvonnan yksi tärkeimmistä tavoitteista on käyttövarmuuden parantaminen. Koneen käyttövarmuuteen vaikuttaa merkittävästi laakerien laatu. Laakerin yllättävä särkyminen aiheuttaa prosessille odottamattoman seisokin. Laakerit ovat hyvin keskeisessä asemassa, koska ne ovat todella oleellisia tekijöitä koneissa, joissa on pyöriä osia. (Linde Information AB 2000, 44.) Varsinkin prosessiteollisuudessa tapahtuva laakerin rikkoontuminen aiheuttaa kalliita tuotannonmenetyksiä. Laakerin laatu ei kuitenkaan yksin voi taata laakerin käyttövarmuutta. Muita laakerien käyttöikään vaikuttavia tekijöitä ovat oikeanlainen käyttöympäristö, oikeanlainen asennus ja ammattimainen huolto, kuten kuva 20 havainnollistaa. Näiden asioiden pohjalta syntyy laakereiden käyttövarmuus. (Linde Information AB 2000, 6.)



KUVA 20. Laakereiden käyttövarmuus syntyy usean tekijän summana (Linde Information AB 2000, 6, muokattu.)

### **5.1.1 Taajuusmuuttaja kunnonvalvonnan apuna**

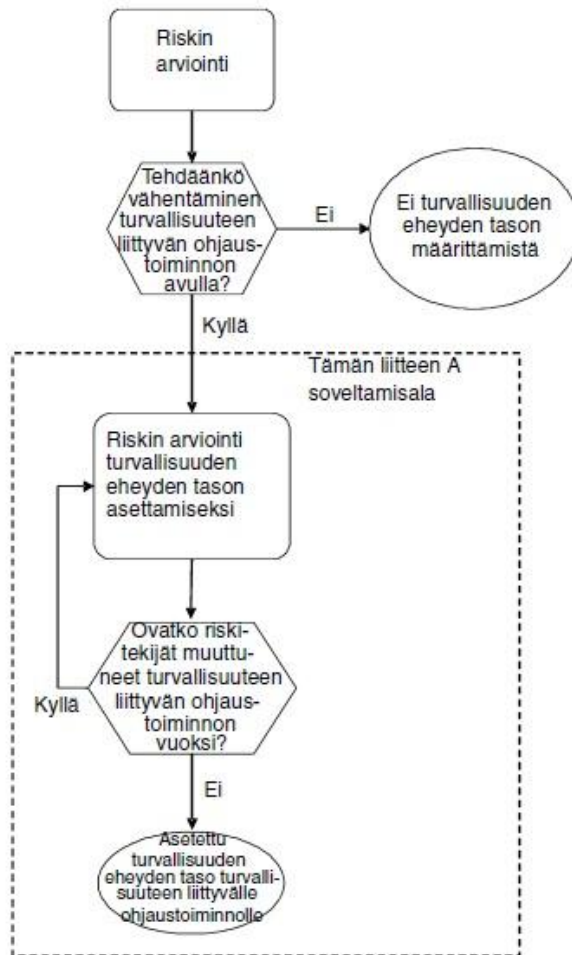
Tein myös lyhyen selvityksen siitä, onko kunnonvalvonnassa apua ABB ACS800-taajuusmuuttajilta ulossaotavasta tiedosta ja mitä taajuusmuuttajilta saatavasta tiedosta voidaan päätellä.

Karkaisupuhaltimia ohjataan ABB:n valmistamilla taajuusmuuttajilla. Taajuusmuuttajat ovat tyypiltään ACS800-taajuusmuuttajia, ja nämä ovat vuodelta 2007. Taajuusmuuttajista on mahdollista saada myös dataa ulos ja valvoa puhaltimien kuntoa jossain määrin. Näistä ei kuitenkaan pystytä suoraan päättelemään moottorien ja puhaltimien kuntoa. Kun taajuusmuuttajan lähtövirta nousee, tämä voi olla merkki orastavasta laakeriviasta. Myös silloin kun moottori alkaa pyöriä hitaammin kuin ohjearvo kertoo, voidaan epäillä laakerin vioittumista. Puhaltimien likaantuminen ja puhdistustarve voidaan havaita muutoksista järjestelmän toiminnassa, eli pelkkä pyörimisnopeuden seuranta voi riittää puhdistustarpeen havaitsemiseen. Karkaisupuhaltimien taajuusmuuttajilta saatavasta tiedosta on mahdollista saada yksi vartenotettava seurattava mittaustieto karkaisupuhaltimien ja moottoreiden reaaliaikaisessa kunnonvalvonnassa.

### **5.1.2 Riskien arviointi**

Riskien arviointi ja riskin pienentämisen strategia on hyvä tehdä jo ennen kuin mitään on ehtinyt tapahtua. Riskien arviointi voidaan tehdä sarjan avulla, jossa vaiheet on esitetty loogisesti etenevien askeleiden avulla. Näiden avulla voidaan määrittää riskien analysointi ja niiden merkityksen arviointi.

Riskin arviointia seuraa yleensä riskien pienentäminen. EU:n konedirektiivin 2006/42/EU (IEC 62061 SIL2 ja EN 954-1) mukaisessa standardissa SFS-EN 62061 kuvataan turvallisuuden eheyden tasoja. Lyhenne SIL tulee sanoista Safety Integrity Level, joka kuvaa turvallisuuden eheyden tasoja. SIL3 on eheyden tasoista korkein ja SIL1 taas matalin. Turvallisuuden eheyden taso voidaan määrittää alla olevan kuvan 21 mukaisesti.



KUVA 21. Prosessikaavio turvallisuuden eheyden tason asettamiseksi. (Suomen Standardisuoimisliitto SFS RY, 2012.)

Esimerkiksi, jos ihminen on saanut mustelman, niin turvallisuuden eheyden tasoksi asetetaan yksi. Jos vaarana on kuolema, niin silloin turvallisuuden eheyden tasoksi asetetaan kolme.

## 5.2 Karkaisupuhaltimien kriittiset varaosat

Kriittisillä varaosilla tarkoitetaan osia, jotka ovat karkaisupuhaltimelle toiminnan kannalta ehdottoman tärkeitä, ja niillä saattaa olla pitkä toimitusaika. Kaikkia varaosia ei ole järkevää hankkia omaan varastoon, koska ne sitovat yrityksen käyttöpääomaa, ja sen vuoksi vain kriittisimpien varaosien saatavuus on varmistettava. Karkaisupuhaltimien kannalta kriittisimmät varaosat ovat siipipyörät ja laakerit, ja niiden saatavuus on varmistettava.

Siipipyörä on aina yksilöllinen varaosa ja se tehdään vasta siinä vaiheessa, kun asiakas tilaa sen. Siipipyörän siipien suuntaamisella ja muodolla voidaan vaikuttaa siipipyörän eri ominaisuuksiin, kuten paineentuottoon, äänentuottoon, hyötysuhteeseen ja tilavuusvirtaan. Tämän prosessin kannalta merkittävin ominaisuus on paineentuotto. (Aalto 2016.)

Siipipyörän valmistaminen kestää 4–10 viikkoa. Kojan puhaltimista on jo olemassa kuvat ja näiden toimitusaika on 4–10 viikkoa. Kojan puhaltimet ovat identtisiä keskenään ja näiden varaosat käyvät ristiin. Ilmateollisuus Oy:n valmistamia puhaltimia on kaksi kappaletta, ja nämä mallinnettiin kesän huoltoseisokin yhteydessä, jotta Koja pystyy valmistamaan nämäkin myöhemmin tulevaisuudessa. Kojan tarkoitus on parantaa puhaltimien käytettävyyttä Kojan siipipyörä tekniikalla. Tällöin kyseessä on niin sanottu modernisoitu hybridipuhallin. Siipipyörät eivät käy ristiin näissä neljässä puhaltimessa, koska kummankin valmistajan puhaltimet ovat erikokoisia. (Aalto 2016.)

Erikoislaakerit ovat kriittisiä varaosia, ja on hyvä huomata, että asiakkaan tarvitsemaa laakeria ei ole välttämättä varastossa, koska erikoislaakereita on olemassa montaa eri tyyppiä. Kriittisiin varaosiin kannattaa panostaa, koska näissä saattaa olla pitkä toimitusaika ja ne ovat karkaisupuhaltimien toiminnan kannalta välttämättömiä. Toisaalta kiilapyörä, hihnapyörä ja kytkinpyörä eivät kuulu kriittisiin varaosiin ja nämä ovat saatavissa lyhyellä toimitusajalla. (Aalto 2016.)

Karkaisupuhaltimissa on öljykylpylaakerointi, joka tarkoittaa sitä, että laakereiden alin rulla käy öljyssä. Koko laakeri ei ole upotettuna öljyyn. (Aalto 2016.) Kuvassa 22 on Ilmateollisuuden valmistaman puhaltimen öljykylpylaakerointi.



KUVA 22. Kuvassa Ilmateollisuuden öljykylpylaakerointi

### 5.3 Laakerien vikaantumisen syyt ja vikaantumisnopeudet

Laakereiden pääasiallinen tarkoitus on kantaa niihin kohdistuva kuorma sekä pienentää pyörimisestä syntyviä kitka häviöitä. Vain murto-osa käytössä olevista laakereista vaurioituu, ja suurin osa laakereista kestää kauemmin kuin itse koneet. Syitä, jotka voivat aiheuttaa laakerin vaurioitumisen, ovat ennakoitua suurempi kuormitus, tehottomat tiivisteet tai sovitteet, jotka ovat liian tiukkoja. Nämä edellä mainitut tekijät voivat aiheuttaa liian pienen laakerivällyksen. Laakerin välyksellä tarkoitetaan laakerin sisähalkaisijan ja akselin halkaisijan välistä välystä. Jokainen näistä aiheuttaa tyypiltään erilaisen vahingon ja jättää jälkensä laakeriin. Vahingoittunutta laakeria tutkimalla on useimmiten mahdollista löytää syy, joka on aiheuttanut laakerin vaurioitumisen, ja tämän perusteella voidaan ryhtyä toimenpiteisiin vahingon toistumisen estämiseksi. (Linde Information AB 2000, 18.)

Edellä mainittujen syiden lisäksi noin kolmasosa laakereiden vaurioitumisista johtuu laakerin pintojen väsymisestä, jolla tarkoitetaan, että liian suuret kuormat ovat lyhentäneet laakereiden elinikää. Toinen kolmannes laakereista vaurioituu huonon voitelun takia, eli laakeria on voideltu liikaa tai liian vähän. Loput laakerit vaurioituvat niihin päässeiden epäpuhtauksien, käsittelyvaurioiden ja virheellisen asennuksen seurauksena, kuten kuva 23 havainnollistaa. Epäpuhtauksilla tarkoitetaan sitä, että epäpuhtaat hiukka-

set vaurioittavat laakerin pintoja tai epäpuhtaudet voivat aiheuttaa hapettumista. Syyt laakereiden vaurioitumiselle vaihtelevat eri prosessien välillä. (Linde Information AB 2000, 18.)

### **Suurin osa laakereista kestää koneita kauemmin**

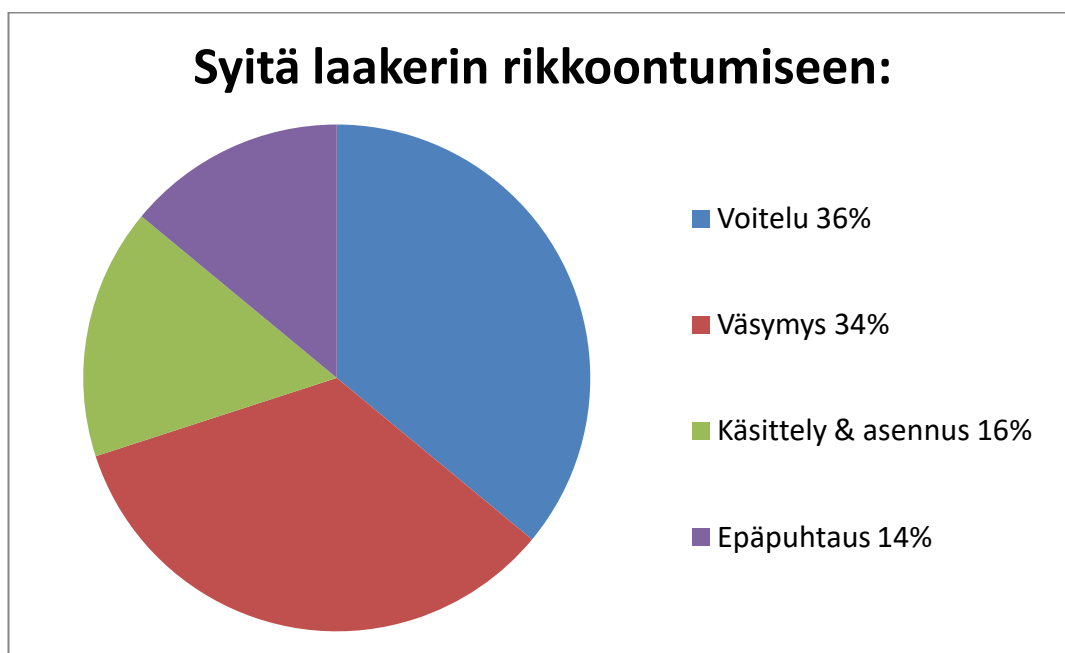
Vain murto-osa laakereista vaurioituu, ja pääasiassa syynä ovat:

- Väsyminen
- Huono voitelu
- Epäpuhtaudet
- Virheellinen asennus
- Huolimaton käsittely



KUVA 23. Syytä, jotka voivat aiheuttaa laakerin rikkoontumiseen. (Linde Information AB 2000, 18, muokattu.)

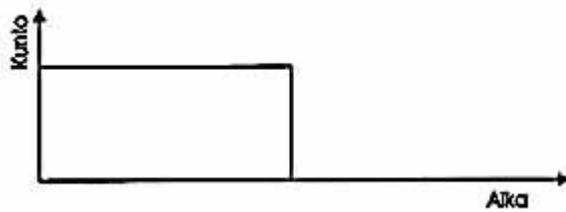
Toisen lähteen mukaan vain alle 10 % laakereista saavuttaa niiden suunnitellun eliniän. Syyt laakerien rikkoontumiselle ovat edellisen lähteen kanssa samoja, mutta tässä lähteessä on esitetty se, millä todennäköisyydellä mikäkin syy aiheuttaa laakerin ennenaikaisen rikkoontumisen. Alla olevasta kuvasta 24 voidaan havaita, että 36 % laakerin ennenaikaisesta rikkoontumisesta johtuu voitelusta ja suunnilleen saman verran laakerin rikkoontumisesta johtuu väsymyksestä (34 %). Väsymyksellä taas kuvataan sitä, että liian suuret kuormat lyhentävät laakereiden elinikää. Käsittely ja asennus aiheuttavat 16 % laakerien rikkoontumisesta, ja vastaavasti epäpuhtaudet aiheuttavat 14 % rikkoontumisista. Käsittelyllä ja asennuksella tarkoitetaan, että asennustyökalut ovat vääränlaisia tähän tarkoitukseen tai kuljetus ja varastointi ovat epäonnistuneet. (Mobius Institute: Bearing failure, detection and prevention.)



KUVA 24. Laakereiden rikkoontumisen vaikuttavia tekijöitä voi olla useita (Mobius Institute: Bearing failure, detection and prevention.)

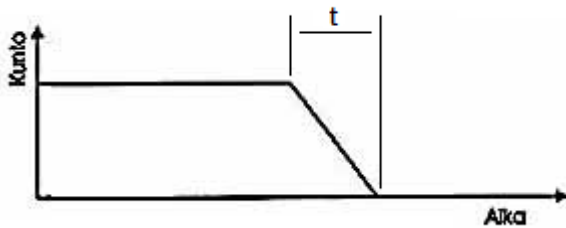
Laakereiden rikkoontumiseen voi vaikuttaa monta asiaa, kuten erinäiset linjaus- ja suuntausvirheet sekä voiteluvirheet, joita voidaan pitää suurimpina syinä laakereiden ennen aikaiseen vikaantumiseen. (Aalto 2016.) Laakerin vaurioituminen olisi usein pystytty estämään jo suunnitteluvaiheessa, mitoittamalla laakerointi oikein, valitsemalla sopivat tiivisteet sekä mitoittamalla sovitteet oikein.

Laakerit ja muut osat puhaltimissa voivat vaurioitua eli vikaantua eri nopeuksilla. Osien vikaantuminen voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään. Vikaantumisen nopeuksia ovat nopea vaurioituminen, nopea kuluminen ja hidas kuluminen. Nopean vaurioitumisen kohdalla edes kunnonvalvontamittauksilla ei ole mahdollista reagoida tähän vikaantumiseen. Tämän vuoksi on hyvä, että kriittisten varaosien saatavuus on varmistettu. Kuvasta 25 voidaan nähdä, että vikaantuminen tapahtuu käytännössä saman tien. Kuvassa pystyviiva kuvaa sitä, että vikaantuminen tapahtuu hetkellä millä hyvänsä. (Kunnossapito-menestystekijä. Kunnossapidon toiminnot ennen vian ilmenemistä.)



KUVA 25. Vikaantumisen muodostumisnopeus on niin nopea, ettei tähän ehditä reagoida (Kunnossapito-menestystekijä. Kunnossapidon toiminnot ennen vian ilmenemistä.)

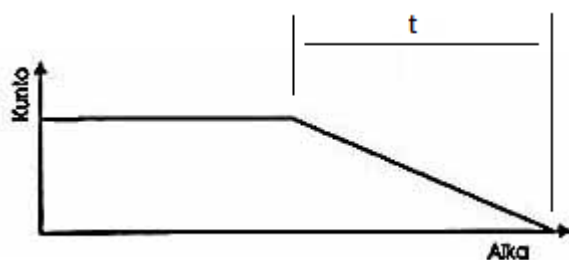
Nopealla kulumisella tarkoitetaan, että mittaavalla kunnonvalvonnalla on mahdollista ehkäistä lisävaurioiden syntyminen, mikäli mittaukset tehdään säännöllisin aikaväleihin. Kuvasta 26 voidaan huomata vaurioitumisen muutosnopeus. Pieni kirjain  $t$  kuvaa vian muodostumisnopeutta. (Kunnossapito- menestystekijä. Kunnossapidon toiminnot ennen vian ilmenemistä, muokattu.)



KUVA 26. Vikaantumisen muodostumisnopeus on hitaampi ja kunnonvalvontamittauksien avulla on mahdollista välttää lisävahingot, mikäli mittaukset tehdään säännöllisesti (Kunnossapito-menestystekijä. Kunnossapidon toiminnot ennen vian ilmenemistä, muokattu.)

Kuva 27 havainnollistaa vikaantumisen muutosnopeutta, kun kuluminen on hidasta. Kunnonvalvonnan mittauksilla voidaan estää lisävaurioiden syntyminen ja suunnitella tarvittavat korjaustoimenpiteet sekä ajoittaa nämä korjaustoimenpiteet tulevaan seisokkiin. (Kunnossapito-menestystekijä. Kunnossapidon toiminnot ennen vian ilmenemistä.)



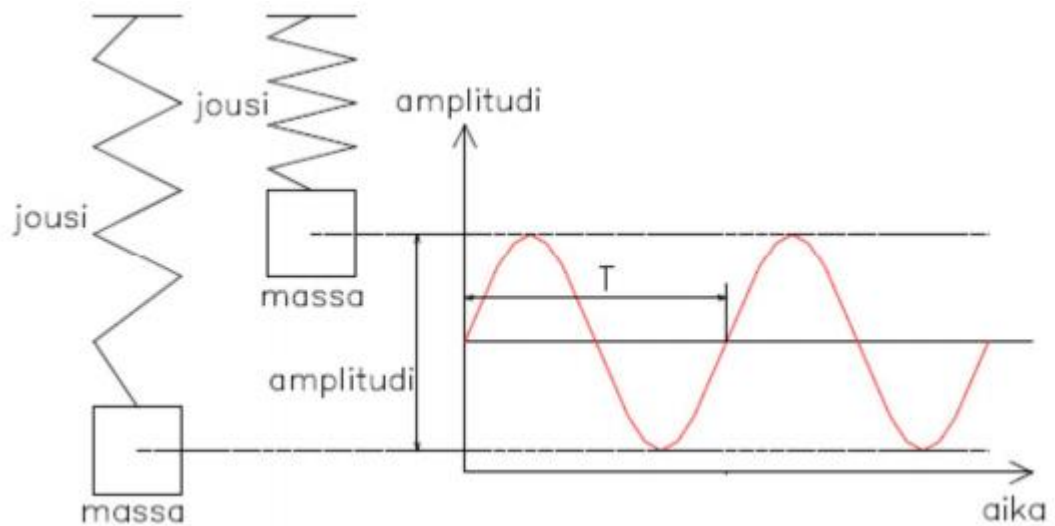


KUVA 27. Vikaantumisen muodostumisnopeus on hidas kuluminen (Kunnossapito-  
menestystekijä. Kunnossapidon toiminnot ennen vian ilmenemistä, muokattu.)

Kuvien 26 ja 27 vikaantumistapauksissa on mahdollista välttää suunnittelemattomat seisokit, mikäli kunnonvalvontamittaukset suoritetaan säännöllisin aikavälein. Kun esimerkiksi laakerissa havaitaan vika kunnonvalvontamittauksien avulla, on mahdollista ajoittaa tämä tulevaan seisokkiin tai huoltoväliin jonka yhteydessä laakeri vaihdetaan uuteen. Näin on aikaa hankkia laakeri varastoon.

#### 5.4 Värähtelyn mittaaminen

Värähtelymittaus on yleisin käytössä oleva kunnonvalvontamenetelmä pyöriviin koneisiin. On olemassa erilaisia laakereiden kunnonvalvontamenetelmiä, joiden avulla voidaan päätellä, onko laakerin vaurioituminen todennäköistä. Mekaaninen värähtely on tasapainoaseman ympärillä olevaa liikettä. Kuvassa 28 tätä on havainnollistettu massajousi systeemillä. Amplitudi kuvaa värähtelyn laajuutta. Jaksonaika on merkitty kuvaan kirjaimella T ja se on aika, joka kuluu siihen kun laakeri pyörii yhden kierroksen.



KUVA 28. Jousen ja massan värähtely on esitetty kuvassa (ABB 2000, 602, muokattu.)

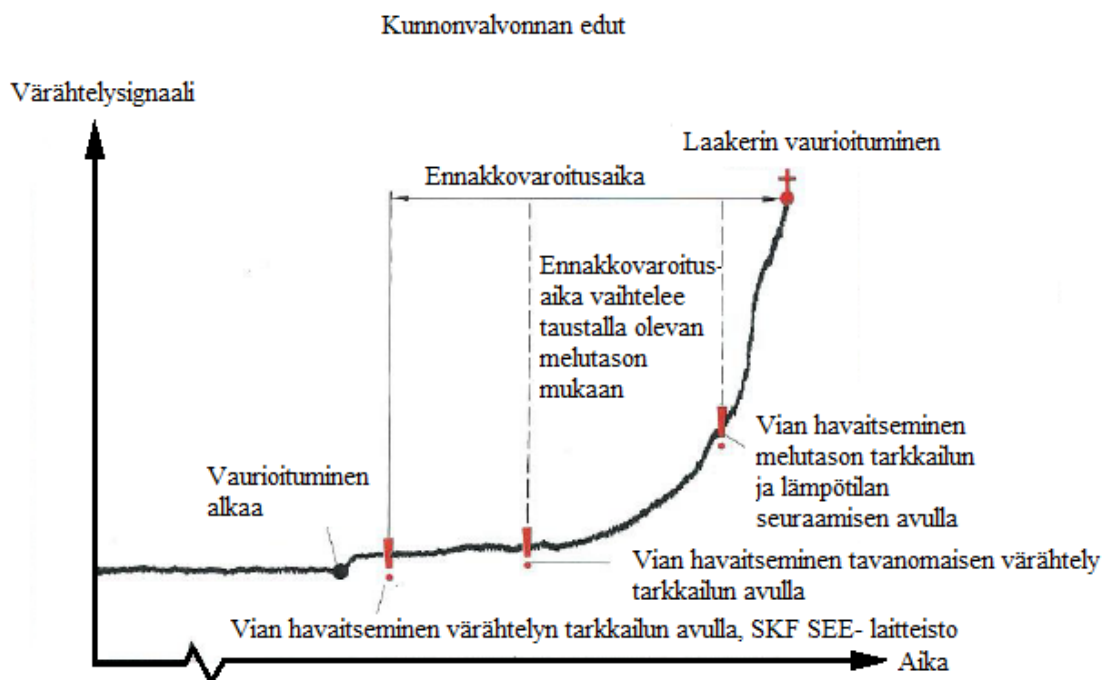
Kaikissa käynnissä olevissa pyörivissä koneissa esiintyy aina jossakin määrin värähtelyä tietyllä taajuudella. Värähtelymittauksilla on mahdollista todeta puhaltimissa epätasapaino, linjausvirheet, mekaaninen väljyys niin laakerissa kuin akselissa, laakerivaurio, taipunut akseli, resonanssi ja voiteluongelmat.

Värähtelyä yleensä mitataan siirtymänä, nopeutena tai kiihtyvyytenä ja tätä voidaan integroida ja derivoida, jolloin se muuttuu muotoaan toiseksi. Värähtelyiden tarkkailussa mekaaninen liike muunnetaan sähköiseksi signaaliksi, ja tätä kutsutaan värähtelyanalyysiksi. Mitta-anturi on kosketuksessa koneeseen, ja se vastaanottaa signaalin, joka sisältää useita eri taajuuksia. Signaali sisältää erilaisia taajuuksia matalista korkeisiin taajuuksiin. Nämä signaalit voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan. Luokat ovat matalataajuiset signaalit (0–2 kHz), korkeataajuiset signaalit (2–50 kHz) ja erittäin korkeataajuiset signaalit (yli 50 kHz). Useimmat ihmisten kuulemat äänet ovat 20 Hz – 18 kHz väliltä. Ylempi raja laskee iän mukaan. Alla kuvataan tarkemmin eri värähtelytason signaaleja.

- **Matalataajuiset värähtelyt** (0–2 kHz) aiheutuvat yleensä rakenteellisista värähtelyistä, asennusvirheistä, epätasapainosta, löyhästä sovitteesta sekä pienehköjen laakerivaurioiden aiheuttamista värähtelyistä vierintäelinten vierissä niiden yli.
- **Korkeataajuiset värähtelyt** (2–50 kHz) aiheutuvat yleensä vierintäelinten vierissä laakerivaurion yli. Tällöin syntyvät pienet impulssit kuljettavat energiaa laakeripesään ja näiden aiheuttamat tärinät vahvistuvat sekä näkyvät hyvin laakeripesän ominaistajuuksilla. Tietyn aikavälein mitattuja taajuusspektrejä vertaamalla voidaan havaita resonanssitaajuuden tehollisarvon kasvaminen, joka useimmiten viittaa laakerivikaan.

- **Erittäin korkeataajuiset värähtelyt** ovat alueella, jota kutsutaan akustiseksi emissioksi. Alueella yli 50 kHz saadaan laakerista selvä signaali, joka johtuu voitelukalvon katkeamisesta, ja tällöin syntyy metallinen kosketus. (Linde Information AB 2000, 50.)

Kuva 29 esittää kunnonvalvonnan etuja käytettäessä värähtelyanalyysimittausta. (Linde Information AB 2000, 48.) Mittausaikavälin tarvitsee olla tarpeeksi lyhyt, ettei havaittu alkava vika ehdi kehittyä vaurioiksi. Mittausaikavälillä tarkoitetaan sitä, että mittauskerrojen välissä oleva aika on vakio. Mittauksen aikaväli voi olla esimerkiksi viikko tai kuukausi.



KUVA 29. Kunnonvalvonnasta saatavan aikaisen varoituksen ansiosta on riittävästi aikaa, ja näin laakerin vaihto voidaan suunnitella huolellisesti. (Linde Information AB 2000, 48, muokattu.)

Laitteiston kunnonvalvonta on myös mahdollista toteuttaa säännöllisesti kannettavien mittalaitteiden avulla. Kannettavan värähtelymittarin tulokset ovat luotettavia ja vertailukelpoisia, mikäli mittauskohdaksi valitaan aina sama kohta. Lisäksi mittarin tulokset tulee tulkita samalla tavalla joka kerta. Jos mittauskohta muuttuu mittauksien välissä, niin mittauksien tulokset eivät ole vertailukelpoisia, eikä näistä voida suoraan nähdä laakerin kunnan heikkenemistä. Mittauksien tuloksia voidaan analysoida heti tai mahdollisesti myöhemmin. Jatkuvasti käytössä olevat koneet, kuten paperikoneet, on kuitenkin parasta

suojata Online-kunnonvalvonnan avulla. Kunnonvalvonnassa on syytä käyttää automaattista varoitusta, kun tietyt ennalta asetetut rajaehdot täytetään. Tärkeissä laakeroineissa, kuten huippunopeissa turbiineissa, on järkevää käyttää jatkuvaa kunnonvalvontaa, joka voi tarvittaessa pysäyttää koneiston, kun tietty värähtelytaso ylitetään. (Linde Information AB 2000, 53.)

Värähtelymittauksien tekemiselle on olemassa syy, miksi värähtelymittauksia käytetään kunnonvalvonnassa. Värähtelymittauksien avulla saadaan osien kunto selville ja lisäksi värähtelyn vaikutukset koneisiin ja rakenteisiin ovat useimmiten haitallisia. Värähtelystä seuraa jaksollisesti vaihtelevia jännityksiä, ja nämä voivat johtaa liitoksien väsymiseen ja murtumiseen.

## 6 KOJAN TARJOAMA COSMOS-VÄRÄHTELYJÄRJESTELMÄ

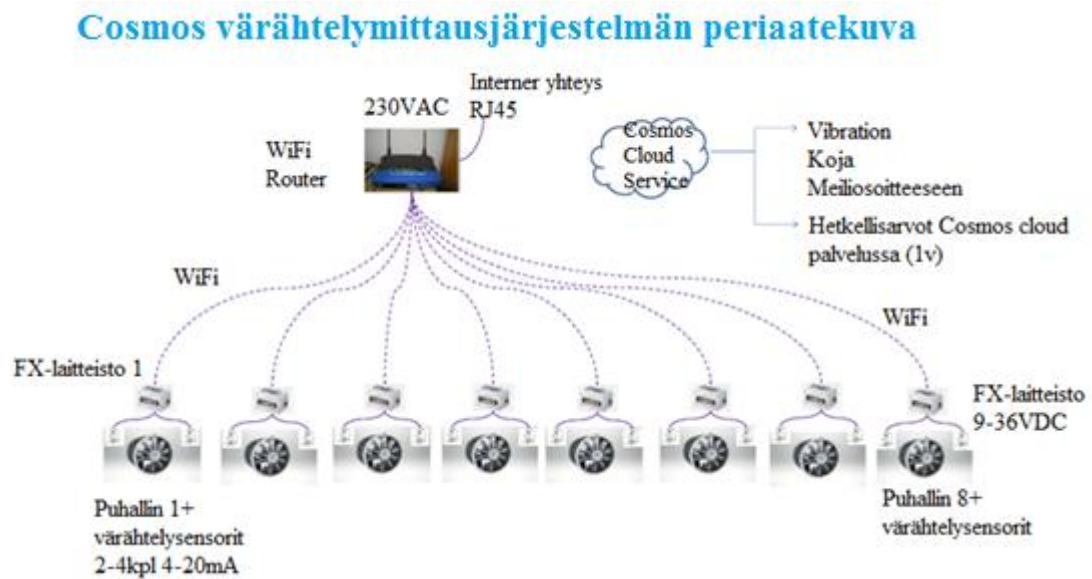
Tämä Online- kunnonvalvontaprojekti on pilottiprojekti, koska Koja ei ole ennen asennanut vastaavaa etävalvontajärjestelmää, jota voidaan seurata internetin välityksellä eri paikasta (Aalto 2016). Seuraavissa kappaleissa syvennytään Kojan tarjoamaan Cosmos-värähtelyjärjestelmään

Pilkington valitsi Kojan värähtelyjärjestelmän seuraamaan karkaisupuhaltimien kuntoa, koska tämä on yksi yleisimmistä käytössä olevista pyöriä koneiden kunnonvalvontajärjestelmistä. Lisäksi karkaisupuhaltimet ovat erittäin kriittisiä puhaltimia ja näiden kuntoa tulee valvoa säännöllisesti värähtelyjärjestelmän avulla. Nykytiedon valossa karkaisupuhaltimille riittää puolen vuoden välein tehtävät NDT-tarkastukset ja jatkuva-toimiset värähtelytasomittaukset, joka on lisäksi kustannustehokkain tapa. Värähtelymittauksissa käytetään kokonaisvärähtelymittausta. Tämä on hyvin pelkistetty värähtelytieto, josta selviää yleinen värähtelytaso. (Aalto 2016.) Karkaisupuhaltimet ovat kriittinen osa karkaisulaitoksen toiminnan kannalta, ja ilman karkaisupuhaltimia lasin karkaisu on mahdotonta toteuttaa.

Karkaisulaitos KL12:n karkaisupuhaltimille on suunniteltu Online-kunnonvalvontajärjestelmää, jolla on mahdollista mitata neljästä paikasta puhaltimen laakereiden ja puhaltimien siipien kuntoa. Karkaisulaitos KL12:n kohdalla on valittu kaksi kriittistä paikkaa, joista mitataan laakereiden kuntoa Online-kunnonvalvonnan avulla. (Aalto 2016.)

Mittaus tapahtuu seuraavalla tavalla. Tieto värähtelyantureilta menee anturin kaapelia pitkin FX-laitteistolle, joka lähettää tiedon langattoman internetyhteyden eli WiFi:n avulla reitittimelle. Reititin lähettää tiedon pilvipalveluun internetyhteyden avulla kuvan 30 osoittamalla tavalla. Kojan henkilöstö seuraa kuukausittain värähtelytietoa pilvipalvelussa, ja myös Pilkingtonin henkilöstön on mahdollista seurata pilvipalvelua. Mikäli jokin antureista lähentelee hälytystasoa, tulee tieto tästä Kojalle. Koja toimittaa raportit kerran kuukaudessa Pilkingtonille, jos mitään hälyttävää ei ole havaittu. Mikäli havaitaan jotakin poikkeavaa, asia otetaan heti tarkasteluun ja tutkitaan, mistä tämä johtuu. Kojan henkilöt analysoivat tämän ja suosittelevat jatko-toimenpiteitä. Kokonaisvärähtelytasoantureiden avulla on mahdollista nähdä vain, onko puhallin kunnossa vai ei. Vä-

rähtelyanturit voidaan asentaa niihin laakereihin, joilta halutaan saada värähtelytietoa. (Aalto 2016.)



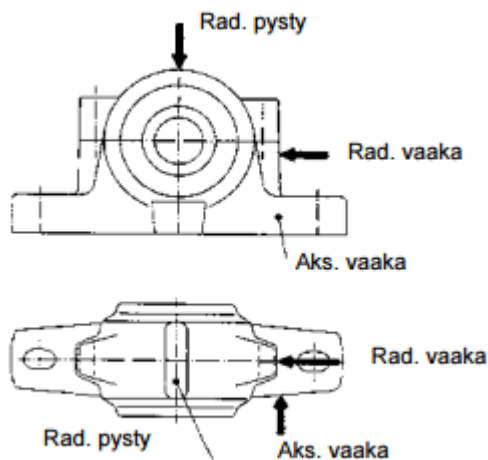
KUVA 30. Kojan tarjoaman etävalvonta järjestelmän kaavio kuva (Koja Cosmos, muokattu.)

Värähtelytasojen kasvaessa täytyy tehdä spektrivärähtelymittaus tarkempaa tutkintaa varten. Spektrivärähtelymittaus voidaan tehdä lasin karkaisuprosessin ollessa käynnissä. Spektrivärähtelymittauksella saadaan tarkempi tieto siitä, mikä puhallinosa on vioittunut. (Aalto 2016.)

Spektrivärähtelymittaus on hyvin yleinen diagnosointimenetelmä vian tarkempaa tutkintaa varten. Kun kokonaisvärähtelyarvot nousevat, niin silloin voidaan spektrimittauksella saada selville tarkempi syy. Mittauksessa mitataan värähtelysignaalin spektri eli signaalin taajuusjakauma. Signaalin taajuusjakaumaa tutkimalla saadaan tarkempi syy selville. Kun tiedetään koneen pyörimisnopeus, niin tästä voidaan päätellä, mikä osa aiheuttaa laitteen värähtelyn. (Aalto 2016.)

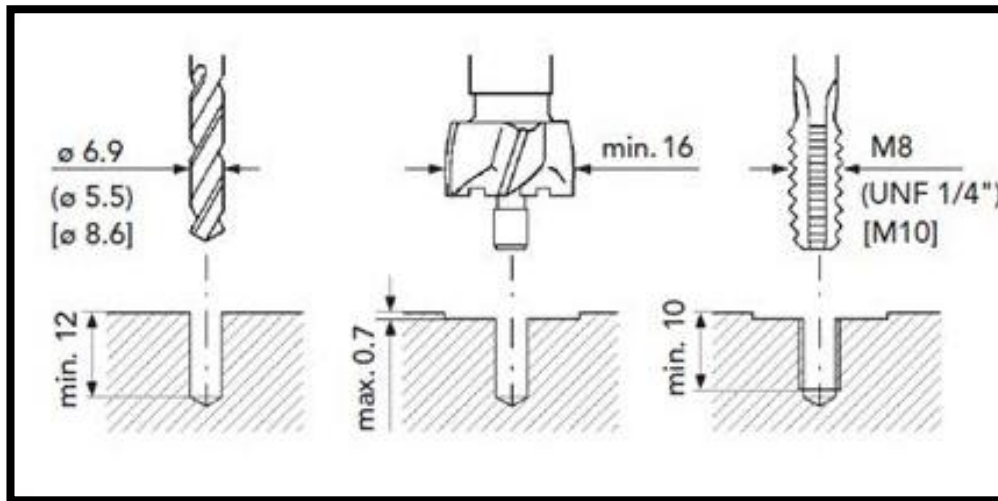
## 6.1 Cosmos-värähtelyjärjestelmän asennus, käyttöönotto ja huolto

Tärinäanturi eli värähtelyanturi asennetaan laakeripesään, jota kuva 31 havainnollistaa. Kaikkiin laakeripesiin ei ole mahdollista asentaa värähtelyanturia. Antureiden asennuspaikat on suunniteltava oikein, jotta tuloksista tulee oikeita. Lisäksi tulokset täytyy myös tulkita oikein, jotta saadaan luotettava tulkinta tuloksista. Yksinkertaisimmillaan anturin asennus tapahtuu alla olevan ohjeen mukaisesti. Anturin asennuspaikka on valittava siten, että se on mahdollisimman lähellä laakeria.



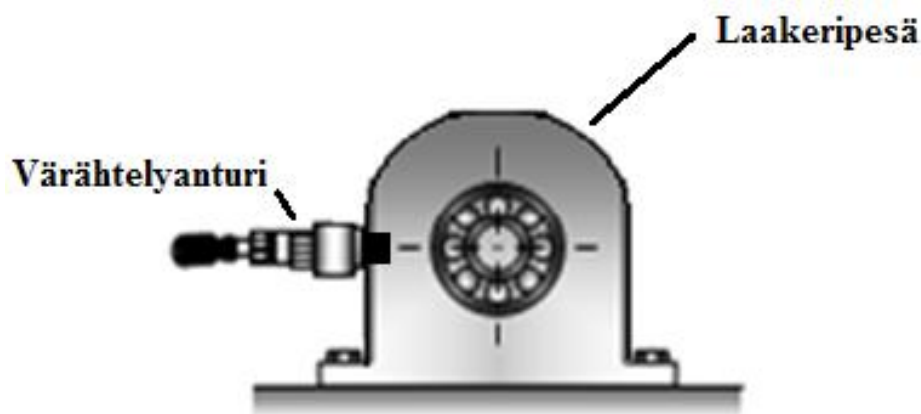
KUVA 31. Kuvassa laakeripesä, johon anturi asennetaan (Koja: Asennus, käyttö, huolto 2012, 55.)

Anturin asennuksessa porataan 6,9 mm reikä laakeripesään, ja tämän jälkeen laakeripesän reikään tehdään M8-kierteet. Anturi voidaan tämän jälkeen asentaa eli kiertää paikoilleen. Kuvassa 32 on kuvattu, miten reiän, tasaamisen ja kierteiden tekeminen toteutetaan. (Koja: Asennus, käyttö, huolto 2012, 43.)



KUVA 32. Anturille reiän poraaminen, kierteiden teko ja tasaaminen (Koja: Asennus, käyttö, huolto 2012, 43.)

Kuva 33 havainnollistaa, kuinka värähtelyanturi on asennettu laakeripesään kuvan osoittamalla tavalla. Perusmittauksen tekemiseen suositellaan vaakasuuntaa anturin asennussuunnaksi. Anturin ja laakerin välisellä etäisyydellä ei ole merkitystä, kuhan anturi on kiinni laakeripesässä tukevasti. Laakeripesä välittää värinätiedot luotettavasti anturille asti. (Aalto 2016.) Anturin kiristysmomentti laakeripesään on 8 Nm.



KUVA 33. Anturin havainnollinen asennuskuva, kuinka se on asennettu laakeripesään.

Kojan toimittaman värähtelyanturin valmistaja on Ifm ja tyyppi VTV122. Kuvassa 34 on anturista sekä liittimestä ja ulkoisista mitoista kuva. Anturin käyttöjännite on 9,6–32 V tasajännite. Anturin mittausalueen alaraja on 10 Hz ja yläraja 1000 Hz. Värähtelyanturin mittaustarkkuudeksi luvataan  $\pm 3\%$  loppuarvosta, toistotarkkuudeksi  $< 0,5\%$  ja lineaarisuudeksi 0,25 %. Anturin kaapelissa on M12-pistokeliitäntä. Anturin käyttölämpötilan oltava  $-30$ – $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Värähtelyanturin koteloitiluokka on IP 67. Koteloitiluokka



kan ensimmäinen numero 6 tarkoittaa, että anturi on täysin pölytiivis ja toinen numero 7 tarkoittaa, että anturi kestää hetkellisen upottamisen veteen. Anturikytkennässä käytetään kaksijohdin liitäntää. Värähtelyanturi kytketään FX-laitteistoon. Anturin kotelomateriaali on haponkestävää terästä. (Ifm:Vtv122 Data sheet.) Taulukossa 11 on esitetty anturin tekniset tiedot.

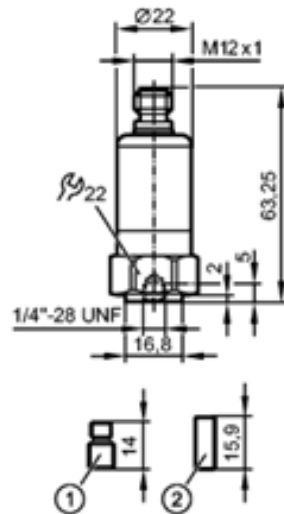
TAULUKKO 11. Ifm VTV122 värähtelyanturin tekniset tiedot.

Käyttöjännite	9,6–32 V DC
Mittausalue	0–25 mm/s
Anturin viestialue	4–20 mA
Mittausalueen ylä- ja alaraja	10–1000 Hz
Mittaustarkeus loppuarvosta	<± 3 %
Toistotarkkuus	< 0,5 %
Lineaarisuus	0,25 %
Käyttölämpötila	–30–125 °C
Kytkeä	Kaksijohdin liitäntä
Kotelointiluokka	IP 67
Anturin kotelomateriaali	haponkestävä teräs
Liitäntä	M12- pistoke

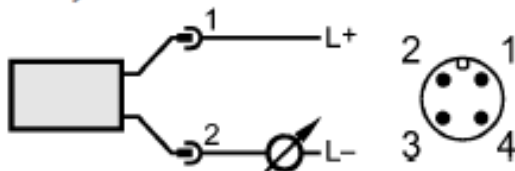
Anturin toiminta perustuu värähtelynopeuden mittaamiseen. Anturi on MEMS anturi ja muuttaa värähtelyn mm/s muotoon. MEMS on lyhenne sanoista Micro Electro Mechanical Systems ja tarkoittaa, että anturissa on käytetty mikrosysteemitekniikkaa. MEMS kuvaa sitä, että anturissa on kokonaisen mittausjärjestelmän sisältävä mikropiiri. Tämä tarkoittaa sitä, että anturi muuttaa värähtelytiedon mm/s-muotoon. Anturista ulos saatava tieto on mittauksen keskiarvo.

## VTV122

### VIBRATION TRANSMITTER

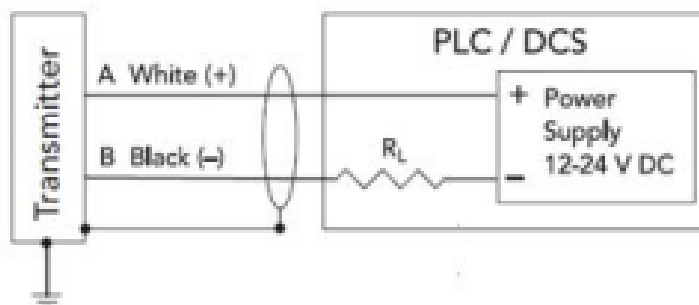


- 1: Kierreadapteri 1/4\"-28 UNF / M8 x 1,25 mm  
 2: Kierreadapteri 1/4\"-28 UNF  
 kiristysmomentti 8 Nm



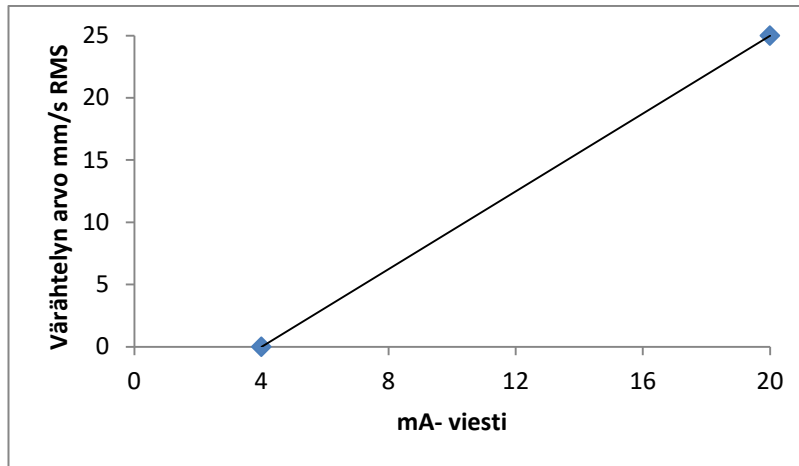
KUVA 34. Ifm VTV122 Värähtelyanturi, anturin liitin ja ulkoiset mitat (Ifm:VTV122 Data sheet, muokattu.)

Kuvasta 35 voidaan nähdä kuva anturin kytkennästä tehtaan omaan automaatiojärjestelmään. Kaapeli tulee kytkeä tehtaan omaan automaatiojärjestelmään, mikäli halutaan, että karkaisulaitos KL12 pysähtyy pysäytysrajan ylittyessä. (Aalto 2016.) Puhaltimissa on asetettu hälytysrajaksi oletuksena 9,1 mm/s RMS. Pysäytysrajaksi on asetettu 11,2 mm/s RMS. (Koja: Asennus, käyttö, huolto 2012, 55.)



KUVA 35. Värähtelyanturin kytkentä tehtaan omaan automaatiojärjestelmään. (Koja: Asennus, käyttö, huolto 2012, 44.)

Anturin viestialue on 4–20 mA ja tämä vastaa värähtelyarvoja 0–25 mm/s RMS. RMS on lyhenne sanoista Root Mean Square ja tarkoittaa tehollisarvoa. RMS on usein käytetty tapa ilmoittaa värähtelysignaalin suuruus. Värähtelyn tehollisarvon avulla voidaan hyvin kuvata värähtelyn keskimääräisen energian suuruutta. Anturin viestialue on suoraan verrannollinen värähtelyalueeseen, niin kuin kuvasta 36 voidaan nähdä.



KUVA 36. Värähtely arvo on suoraan verrannollinen mA-viestiin

Värähtelyantureiden kaapelit ovat 3 metriä pitkiä ja FX-laitteisto voidaan asentaa karkaisupuhaltimen runkoon. FX-laitteisto on noin internetmodeemin kokoinen. (Aalto 2016.)

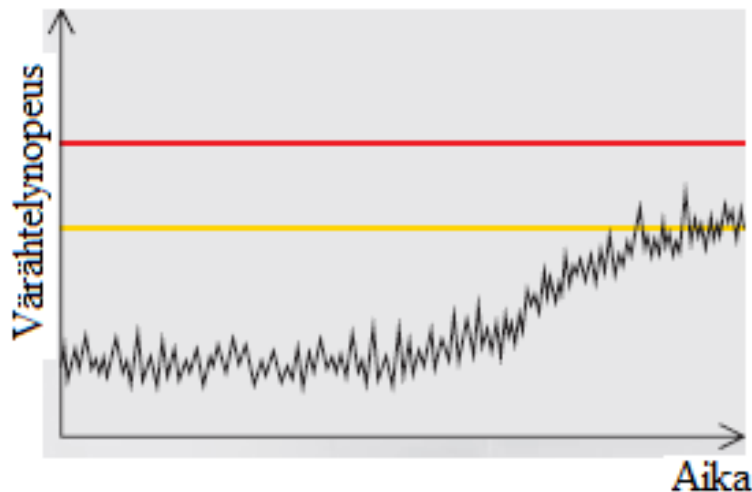
Antureille ei tarvitse tehdä kalibrointia asennusvaiheessa eikä myöhemmin, koska nämä ovat tehtaalla valmiiksi kalibroituja (Aalto 2016). Värähtelyanturia ei tarvitse huoltaa ja anturin hajotessa tulee vaihtaa uusi anturi vanhan tilalle. Antureiden kaapeleiden suo- jaksi voi tarvittaessa asentaa suo- japutken käytönaikaisten vaurioiden estämiseksi. (Koja: Asennus, käyttö, huolto 2012, 43.) Kuvassa 37 on Ifm VTV122- värähtelyanturista ku- va.



KUVA 37. Ifm VTV122 värähtelyanturi (Ifm:VTV122 Data sheet, muokattu.)

Kojan henkilöstö yhdessä CLS Engineering yrityksen kanssa tekevät käyttöönoton On-line-kunnonvalvontajärjestelmään. Kojan asentajat hoitavat antureiden ja FX-laitteiston asennuksen, CLS Engineering henkilöt tekevät linkityksen FX-laitteiston ja modeemin välille. Yhteistyössä henkilöt tarkistavat, että tieto kulkee ja Koja saa laitteiston etäluentaa. (Aalto 2016.)

Kuvassa 38 on havainnollistava kuva, jossa keltaisella värillä oleva viiva kuvaa hälytysrajaa ja punaisella värillä oleva viiva koneen pysäytysrajaa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jos värähtelynopeus ylittää keltaisen viivan, konetta ei vielä sammuteta, vaan tästä tulee hälytys. Hälytysrajaksi on asetettu oletuksena 9,1 mm/s RMS. Jos taas punainen viiva ylittyy, niin kone pysäytetään välittömästi ja tällöin pysäytysrajaksi on asetettu oletuksena 11,2 mm/s RMS. Tämä edellyttää sitä, että värähtelyjärjestelmä on kytketty tehtaan omaan automaatiojärjestelmään.



KUVA 38. Värähtelynopeus ja hälytysrajat (Ifm Vibration monitoring to ISO 10816, muokattu.)

Puhaltimien hälytysrajan ylittäessä vasteajan Kojan huoltohenkilö saapuu paikalle tarkastamaan tilannetta. Vian vakavuudesta riippuen Kojan henkilö tulkitsee tilanteen ja tekee ehdotuksen siitä, miten toimitaan. (Aalto 2016.) Tärinäarvojen kohotessa yli hälytysrajan on aloitettava selvitys, mistä ylitys johtuu (Koja: Asennus, käyttö, huolto 2012, 55).

Koja toimittaa myös vianhakutaulukon, josta löytyvät yleisimmät ongelmat, ongelmien syyt sekä korjaus toimenpiteet (Koja: Asennus, käyttö, huolto 2012, 85). Puhaltimille täytyy myös määräväleihin tehdä huoltoja ja määräaikaista tarkastuksia. Koja toimittaa huoltoväli- ja huoltotaulukon, joista näkee kuinka usein mikäkin huolto täytyy tehdä ja mitä huolto pitää sisällään. (Koja: Asennus, käyttö, huolto 2012, 65.)

## 6.2 Puhaltimien käytönaikainen valvonta

Käytönaikaisessa valvonnassa tulee kiinnittää huomiota kaikkeen poikkeavaan puhaltimissa. Mikäli havaitaan jotakin poikkeavaa, on selvitettävä mistä tämä johtuu. (Koja: Asennus, käyttö, huolto 2012, 55.) Seuraaviin tekijöihin tulee kiinnittää huomiota käytönaikaisessa valvonnassa:

- puhaltimen tärinätasoon
- laakereihin
- puhaltimen toimintapisteeseen
- puhaltimen ulkopuoliseen silmämääräiseen tarkastukseen

- puhaltimen tiiveyteen
- joustaviin liittimiin
- puhaltimen siipisäätimiin
- tärinävaimentimiin
- nesteenpoistoyhteisiin
- puhaltimen turvavarusteisiin
- hihnakäyttöön
- moottoriin
- puhaltimen tärinätason kuntotrendiin
- laakerilämpötila kuntotrendiin

Silloin kuin puhaltimet ovat hyvässä kunnossa, tulee kriittisten puhaltimien kohdalla valvoa niiden käyttöä jatkuvammalla tasolla. (Aalto 2016.)

Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi tulee koneen käytön aikana tarkkailla seuraavia asioita.

- **Kuuntelemisen avulla voidaan löytää vaurioitunut laakeri.** Laakerin käynnin aikaiset epätasaisuudet voidaan useimmiten havaita kuuntelemalla. Laakerit, jotka ovat hyvässä kunnossa synnyttävät pehmeän tasaisen käyntiäänen. Kovat, kitisevät ja muut erikoiset äänet viittaavat useimmiten huonokuntoisiin laakereihin. (Linde Information AB 2000, 44.)
- **Laakerin korkea lämpötila voi kertoa siitä, että laakeri toimii epänormaalisti.** Laakerin korkea lämpötila saattaa olla myös haitaksi laakerin voiteluaineelle. Pitkäaikainen käyttö, yli 125 °C lämpötilassa, voi lyhentää laakerin käyttöikä. Syytä laakerin korkeaan käyttölämpötilaan voi olla useita, riittämätön tai liiallinen voitelu, voiteluaineen epäpuhtaudet, ylikuormitus, laakerin vaurioituminen, riittämätön välily, muodonmuutos tai tiivistimien korkea kitka. Pienikin lämpötilan muutos saattaa olla merkki viallisesta toiminnasta, mikäli käyttöolosuhteet eivät ole muuttuneet. (Linde Information AB 2000, 45.) Laakerin lämpötilan mittaamiseen voi käyttää esimerkiksi lämpökameraa.
- **Laakerit, jotka on voideltu oikein ja suojattu lialta sekä kosteudelta, toimivat yleensä häiriöttä eivätkä kulu.** Laakereiden silmämääräinen tarkistus on kuitenkin syytä tehdä tietyin aikaväleihin, erityisesti tulee tarkistaa suojaamattomat laakerit. Laakereissa olevien tiivistimien kunto on syytä tarkistaa, että voidaan varmistaa, ettei laakerin sisälle pääse mitään kuumia, syövyttäviä kaasuja tai nesteitä pääse etenemään akselia pitkin. (Linde Information AB 2000, 46.) Huonot tiivisteet, tiivisterenkaat laakerissa voivat johtaa siihen, että öljyn sekaan joutuu muita aineita, likoja tai roskia.
- **Laakeroinnin jälkivoitelussa on syytä noudattaa tarkasti laitteiston valmistajan ohjeita niin määrässä kuin voiteluaineessa.** Jos laakerin voitelussa käytetään öljyä, on syytä tarkistaa öljyä vaihdettaessa visuaalisesti, miltä öljy näyttää ja tarvittaessa verrattava tätä puhtaaseen öljyyn. Jos käytetty öljy näyttää

harmahtavalta, on öljyyn sekaan sekoittunut vettä suurella todennäköisyydellä. Tumma ja paksu öljy on merkki siitä, että öljyn sekaan on joutunut likaa tai öljyn koksautumisen alkamisesta. (Linde Information AB 2000, 46.) Öljyn sekaan liuennut vesi voi aiheuttaa korroosiota voideltavissa osissa. Öljyä katsomalla saadaan selville, että jotakin on vialla. Tätä tarkempaa vian syytä on vaikea saada selville silmämääräisesti. Laakereiden voiteluväli riippuu pyörimisnopeudesta.

- **Laakereissa, joissa on öljykylpyvoitelujärjestelmä, öljy on vaihdettava keran vuodessa, jos käyttölämpötila ei ylitä 60 °C eikä öljyn sekaan pääse epäpuhtauksia.** Öljy pitää vaihtaa neljä kertaa vuodessa, jos käyttölämpötila on 100 °C. Lämpötilan ollessa 120 °C öljy pitää vaihtaa kuukausittain ja käyttölämpötilan ollessa 130 °C öljy pitää vaihtaa viikoittain. (Linde Information AB 2000, 47.) On hyvä havaita, että mitä korkeampi on lämpötila, niin sitä useammin öljyt tarvitsee vaihtaa järjestelmään.
- **Puhaltimien moottoreiden sähköisiä suureita on myös tarpeellista seurata, koska näistä voidaan nähdä viitearvoja esimerkiksi siipien likaantumisen.** Sähkövirtaa analysoimalla voidaan päätellä roottorin ja staattorin kunto.

Laakereiden käyttöikä on vaikea pidentää, jos ne huolletaan oikein ja käyttöolosuhteet ovat sopivat. Tämä tarkoittaa sitä, että on valittu oikeanlainen laakeri käyttöolosuhteisiin nähden. Laakereiden rasvojen ja öljyn vaihto aika ajoin on tässä tapauksessa siinä, millä voidaan vaikuttaa niiden kestävyysaikaan. On hyvä huomata, että värähtelymittauksella voidaan valvoa näiden kuntoa, jotta vikoihin osataan varautua ennen kuin jotain hajoaa. (Aalto 2016.)

On hyvä huomata, että laakeriongelmat, mitä tämän kaltaisissa paikoissa on, ovat usein peräisin muualta kuin laakereista itsestään tai niiden huollosta. Viat laakereihin syntyvät siipipyörän epätasapainosta tai käytön aiheuttamasta värähtelystä. Näihin ei voida vaikuttaa laakeri huolloilla. (Aalto 2016.)

### 6.3 Kojan suorittamien mittauksien ja tarkastusten läpikäynti

Tässä luvussa käyn tulokset lävitse värähtelymittauksista ja NDT-tarkastuksesta, jotka on tehty kuluneen vuoden aikana karkaisulaitos KL12:n puhaltimille.

Kojan keväällä tekemissä värähtelymittauksista kävi ilmi, että mitään akuuttia ei ollut havaittu puhaltimien pyörivien osien kunnossa. Jotakin pientä epätasapainoon viittaavaa taajuutta oli havaittu puhaltimissa, mutta Kojan henkilö oli sitä mieltä, että karkaisu

puhaltimilla voidaan ajaa tulevan kesän seisokkiin asti. Kuitenkaan tämän kestävyydelle ei annettu mitään takuuta. (Aalto 2016.)

Kojan kesällä tekemissä NDT-tarkastuksessa siipipyörille tehtiin visuaalinen ja magneettijauhetarkastus. Tarkastuksessa havaittiin, että kaikki tarkastettavat asiat olivat kunnossa. (Aalto 2016.) On hyvä huomata, että säröt ja väsymiset nähdään vain NDT-tarkastuksen avulla, joten tarkastuksia on tärkeä suorittaa tietyn väliajoin. Taulukossa 12 on kerrottu, mitä NDT-tarkastuspöytäkirjan sanat ja lyhenteet tarkoittavat (liite1 ja liite2). (Aalto 2016.)

Taulukko 12. NDT- tarkastuspöytäkirjan tarkennukset

Tarkastusohje	EN ISO 17638	NDT-tarkastuksia ja magneettijauhetarkastuksia koskeva standardi.
Hitsausprosessi	135	Tarkoittaa MAG umpilankahitsausta.
Tekniikka	Ies	Magneettijauhetarkastuksen tekniikka. Ies tarkoittaa menetelmää, jota on käytetty.
Laite	Ferros Brobe	NDT-tarkastuksessa käytetty laite.
Puhdistusaine	Bycotest C10	NDT-tarkastuksessa käytetty aineen valmistaja ja tyyppinimi.
Magneettijauhe	Bycotest 103	NDT-tarkastuksessa käytetty aineen valmistaja ja tyyppinimi.
Virtalaji	AC	Magnetointilaitteen virtalaji, vaihtosähkö.
Tarkastuslaajuus	Luokseen päästävät paikat MT-100 %.	MT on lyhenne sanoista magnetic testing. MT-100% tarkoittaa, että tarkastukset on tehty osittain huoltoluukun kautta, eli koko siipipyörää ei voida eikä kannata tarkistaa. Niihin kohteisiin, joihin päästiin huoltoluukun kautta, tehtiin 100 % magneettijauhetarkastukset.





## 7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Vuoden 2015 lopulla olin yhteydessä Pilkington-yritykseen, jonka jälkeen opinnäytetyön suunnittelu alkoi. Työn tarkoituksena oli perehtyä lasin karkaisuprosessiin ja lisäksi karkaisupuhaltimien kunnonvalvontaan sekä siihen, miten näiden kunnonvalvonta voitaisiin tulevaisuudessa hoitaa, koska yrityksen karkaisupuhaltimilla ei ole vielä kunnonvalvontaa. Työ suoritettiin Pilkingtonin Tampereen tehtaan karkaisulaitos KL12:lla. Työn avulla saatiin selville, miten karkaisupuhaltimien kunnonvalvonta voitaisiin jatkossa hoitaa. Tämän järjestelmän hankinta on suunniteltu toteutettavaksi vuoden 2017 aikana.

Värähtelyyn, sen mittaamiseen sekä värähtelymittauksen hyötyihin perehdyin syvällisemmin vasta opinnäytetyöni aikana. Opinnoissa tätä aihetta ei oikeastaan käsitelty ollenkaan. Tulevaisuudessa, kun opintosuunnitelmaa uusitaan, jollekin kurseille voisi ottaa mukaan värähtelyä ja mitä värähtelymittaamisen avulla voidaan selvittää. Värähtelymittaus on hyvin yleisesti käytetty mittaustapa kunnonvalvonnassa varsinkin koneen laakereiden kunnon suhteen. Mittauksen avulla saadaan tietoa siitä, onko laakeri kunnossa vai ei.

Opinnäytetyöni aikana huomasin, että vaikka kunnonvalvonnasta syntyy kuluja yritykselle, niin se maksaa itsensä takaisin, mikäli kunnonvalvonnan avulla pystytään välttämään suunnittelelemattomia seisokkeja tuotannossa. Kunnonvalvonnan avulla saavutettu hyöty on huomionarvoinen ja se parantaa tuotantolaitoksen käyttövarmuutta. Kunnonvalvonnan avulla saadaan tehtaan tuotanto pidettyä mahdollisimman tehokkaasti pyörimässä ja pystytään välttämään odottamattomat seisokit. Nämä edut saavutetaan, kun kunnonvalvonta hoidetaan suunnitelmallisesti ja oikea-aikaisesti.

Käytännön työssä olen huomannut, että joissakin yrityksissä laitteiden kunnonvalvonta jää mitättömäksi, kun kunnossapidon budjettia ajetaan vuosittain aina suppeammaksi ja tämä johtaa siihen, että edes kriittisiä varaosia ei pidetä saatavilla. Kun kriittinen varaosa hajoaa, niin korjausta ei voida suorittaa välittömästi, sillä sopivaa varaosaa ei ole varastossa. Varaosan korjaus joudutaan näissä tilanteissa toteuttamaan ”väliaikaisella korjauksella” jos se mahdollista, eikä tämä ole kestävä ratkaisu. Vikaa ei sen ilmestyessä myöskään tutkita sen syvällisemmin, ja pääasia on, että koneet saadaan toimintaan. Jos kriittinen osa joudutaan tilaamaan taksilla tai lentokoneella osan hinta moninkertais-

tuu siihen verrattuna, jos se olisi ollut valmiina hyllyssä. Mikäli varaosan hajoamisen todennäköisyys on pieni ja varaosan hankintahinta on korkea, on mahdollista sopia, että varaosatoimittaja varastoi osaa korvausta vastaan. Lisäksi kun budjettia pienennetään, niin yleensä ennakkohuoltoihin ei ole aikaa ja ennakkohuoltoja ei tehdä. Lisäksi kun budjetti on minimissään, kunnossapidon miehitys pidetään vähimmäismäärässä, eikä ole aikaa suorittaa edes kriittisiä huoltoja laitteille, mikä taas alentaa koneiden toimintaikää.

Internetistä löytyy useita yrityksiä, jotka tarjoavat Online-kunnonvalvontaa, mutta harvat yritykset sen lisäksi suunnittelevat, mallintavat ja valmistavat puhaltimia ja puhaltimien varaosia. Kojan on siinä mielessä ainutlaatuinen yritys, sillä se pystyy tarjoamaan Online-kunnonvalvonnan lisäksi siipipyörien suunnittelua, mallintamista ja valmistusta. Kojan tarjoama Online-kunnonvalvontapalvelu on hyvä ja todella vartenotettava vaihtoehto. Kojan on varmasti ainoita yrityksiä, jotka tarjoavat palveluita näin laajasti. Kojan pystyy tarjoamaan laakereiden kuntokartoituksen, värähtelymittauksen, NDT-tarkastukset, siipipyörien kunnan tarkastuksen ja näiden valmistuksen eli puhaltimien koko elinkaaren palvelut. Laaja palvelutarjoama kuvastaa sitä, että Kojan pääosaamisalue on puhaltimissa.

Online-kunnonvalvontajärjestelmän avulla voidaan todennäköisesti saavuttaa mittavia hyötyjä. Jos mietitään, että puhaltimen siiven hajoaminen tapahtuu tällä hetkellä ja tästä hetkestä menee jopa 10 viikkoa eteenpäin, että linjalla voidaan ajaa normaalisti, niin tässä ajassa hävitty rahallinen menetys on hyvin mittava. Hinta saattaa monesti olla tekijä, joka jarruttaa järjestelmän hankintaa, mutta seisokitkin maksavat. Lisäksi kunnonvalvonnan avulla voidaan välttää myös tapaturmia. Jos siipipyörä irtoaa täydessä nopeudessa, niin mahdolliset henkilövahingot voivat pahimmillaan olla mittavia. Lisäksi se aiheuttaa aina rahallisia tappioita yritykselle. Kunnossapidon kustannukset myös pienenevät kunnonvalvonnan myötä, koska viat voidaan havaita jo hyvissä ajoin ja niihin voidaan reagoida jo ennen kuin mitään vakavaa ehtii tapahtua. Ennakoivan kunnossapidon ja kunnonvalvonnan avulla on mahdollista saada kustannussäästöjä, jotka taas vaikuttavat kokonaissäästöihin.

Karkaisupuhaltimet sijaitsevat omassa tilassaan, ja näille tehtävät värähtelymittaukset on tehtävä koneen ollessa käynnissä. Tämän vuoksi on parempi, että puhaltimien kunnonvalvonta hoidettaisiin etävalvonnan avulla, ettei kunnossapidon henkilöiden tarvitse itse mennä suorittamaan mittauksia puhaltimien luokse, kun puhaltimet ovat käynnissä.

Tämä puoltaa etäkunnonvalvonnan lisäämistä yrityksissä, sillä se parantaa työturvallisuutta.

Tämä projekti oli Kojalle pilottiprojekti eli ensimmäinen projekti, jossa tieto siirtyy ja tuloksia voidaan seurata Internetin välityksellä toisesta paikasta. Uskon myös, että tämän tyyppinen kunnonvalvonnan etävalvonta tulee yleistymään jo lähitulevaisuudessa.

Mikäli karkaisulinjaa halutaan kehittää, niin karkaisupuhaltimien jäähdytyspuhallusta tulee parantaa. Jäähdytyspuhallus voidaan tällöin hoitaa samalla tavalla kun karkaisupuhallus, eli ilmaa tulee saman verran sekä lasin ylä- että alapuolelta samalla paineella. Lisäksi jäähdytyspuhaltimiin on mahdollista myös asentaa samanlainen etäkunnonvalvonta, joka on suunniteltu asennettavaksi karkaisupuhaltimiin.

Mikäli karkaisupuhaltimen käyntivarmuutta halutaan edelleen kehittää, seuraavaksi online-kunnonvalvonta olisi mahdollista ja kannattavaa asentaa karkaisupuhaltimen moottoreihin. Nykyiset moottorit ovat peräisin 1990-luvulta, joten niiden hajoamisriski on jo melko suuri. Karkaisun kannalta moottorit ovat yhtä tärkeitä kuin puhaltimetkin, koska sekä moottorin että puhaltimen hajoaminen johtaa lasin karkaisutoimenpiteen keskeytymiseen. Korvaavan moottorin saa varmasti helpommin ja nopeammin hankittua kuin puhaltimen siipipyörän. Uuden vastaavan ja saman tehoisen moottorin löytäminen voi olla silti vaikeata ja haastavaa. Tämän kokoisten ja painoisten moottoreiden hankintahinta on suuri ja näiden siirtäminen toiseen kerrokseen vanhan moottorin tilalle on työllästä, jossa karkaisupuhaltimet ja näiden moottorit sijaitsevat. Nämä moottorit eivät välttämättä mahdu oviin, vaan seinä tarvitsee purkaa, jotta vanha moottori saadaan pois ja uusi moottori tilalle. Tähän nostotyöhön tarvitsee tilata erikseen nostin. Verkosta löytyy yrityksiä, kuten ABB, joka tarjoaa Online-kunnonvalvontaa niin moottoreille kuin generaattoreillekin.

Online-kunnonvalvonta on tänä päivänä käytössä vielä aika harvoilla yrityksillä, mutta uskon, että tulevaisuudessa etäkunnonvalvonta tulee olemaan yhä tärkeämpi toiminto yrityksille käyttövarmuuden parantamiseksi. Myös mobiiliteknologian kehittyessä, etäkunnonvalvontaa voidaan operoida puhelinten avulla mistä ja milloin vain.

Uskon, että tulevaisuudessa kunnonvalvontajärjestelmä osaa itse ennakoita ja tunnistaa vian sekä parhaimmassa tapauksessa sen, mistä tämä johtuu. Tällöin järjestelmää voitai-

siin jo kutsua älykkääksi kunnonvalvonnaksi. Tänä päivänä ollaan jo lähes siinä pisteessä, että tietokoneavusteinen auto ohjaa itse itseään. Voitaisiinko tätä automatiikkaa myös käyttää etäkunnonvalvonnassa lähitulevaisuudessa?

Opinnäytetyö on ollut todella opettavainen kokemus ja olen oppinut tämän aikana uusia tapoja sisäistää asioita sekä tuottamaan tekstiä aivan uudella tavalla. Lisäksi oma kirjoitustaitoni sekä kielen tuottaminen on parantunut opinnäytetyöni aikana. Opinnäytetyöni oli mielestäni vaikeusasteeltaan haastava, mutta todella mielenkiintoinen kokonaisuus, joka teki työstä motivoivan. Omasta mielestäni onnistuin työssä hyvin.

Työskentelin koko opinnäytetyön ajan toisessa yrityksessä täysipäiväisesti, mikä osoittain teki kokonaisuudesta välillä hieman raskasta ja uuvuttavaa. Harrastuksistani en halunnut luopua työn ja opinnäytetyön aikanakaan, koska harrastuksista sai hyvää vastapainoa työlle ja opinnäytetyölle. Välitavoitteet ja välitapaamiset oli työn etenemisen kannalta hyvä asia, koska näihin oli aina sovittu tietyt tavoitteet.

Haluan kiittää vielä erityisesti muutamia henkilöitä, jotka ovat auttaneet minua opinnäytetyössäni. Ensimmäisenä haluan kiittää Pilkingtonin koko henkilöstöä, erityisesti opinnäytetyöni ohjaajia Juha-Pekka Jääskeläistä ja Harri Soukkoa. He ovat havainnollistaneet, mikä merkitys kunnonvalvonnalla on yrityksen arjessa. Kiitokset kuuluvat myös Kojalle ja erityisesti Vesa Aallolle. Tämän lisäksi haluan kiittää opinnäytetyöni valvojaa opettajaa Outi Raskia. Viimeisenä haluan kiittää siskoa, äitiä, isää ja tyttöystävää.

## LÄHTEET

ABB. 2000. TTT-Käsikirja. Vaasa: ABB

Aalto, V. Myynti- ja projektipäällikkö. 2016. Haastattelu 10.05.2016. Haastattelija Sällinen, T. Tampere.

Aho, M. Uuden tuotteen tuotannollistaminen. 2016. Haastattelu 08.04.2016. Haastattelija Sällinen, T. Tampere.

Asennus-, käyttö- ja huolto-ohje. 2012. Koja Oy. Luettu 18.05.2016.

Company overview. Luettu 28.01.2016. <http://www.nsg.com/en/about-nsg>

VTV 122 Data sheet. 2016. Ifm. Luettu 20.06.2016

Jääskeläinen, J-P. Kunnossapitopäällikkö. 2016. Haastattelu 04.04.2016. Haastattelija Sällinen, T. Tampere.

KL12 ohjauksen uudistus Tampere Finland. 2014. NSG Group. Luettu 01.04.2016

Kemppinen, J. Lasinkarkaisija KL13. 2016. Haastattelu 06.04.2016. Haastattelija Sällinen, T. Tampere.

Koivisto, K. 1999. Lasi taipuu 50 vuotta Pilkington Lamino. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Kunnossapito menestystekijä. 1. Johdanto kunnonvalvontaan. Luettu 27.06.2016  
[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_k1\\_johdanto\\_kunnonvalvontaan.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k1_johdanto_kunnonvalvontaan.html)

Kunnossapito menestystekijä. 2.3 Kunnossapidon toiminnot ennen vian ilmenemistä. Luettu 28.06.2016  
[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet\\_2-3\\_kunnossapidon\\_toiminnot\\_ennen\\_vian\\_ilmenemista.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet_2-3_kunnossapidon_toiminnot_ennen_vian_ilmenemista.html)

Linde Information AB. 2000. SKF Laakerien kunnossapito. Kiina: OmniGraf.

Mobius Institute. Bearing failure, detection and prevention. Katsottu 19.06.2016  
[https://www.youtube.com/watch?v=dEn2Qvh\\_qjc](https://www.youtube.com/watch?v=dEn2Qvh_qjc)

Nurmi, P. Kehitysinsinööri. 2016. Haastattelu 04.04.2016. Haastattelija Sällinen, T. Tampere.

Perus tietoa lasista. 2012. Pilkington lasifakta 2012. Luettu 28.01.2016.  
<http://www.pilkington.com/resources/lasifakta2012perustietoaalasistandarditceasiahak2.pdf>

Salonen, M. Group Leader Technical Services 2016. Haastattelu 13.07.2016. Haastattelija Sällinen, T.

Standardi työohje. 2013. NSG Group. Luettu 18.05.2016.

Soukko, H. Senior Automation Engineer. 2016. Haastattelu 28.07.2016. Haastattelija Sällinen, T. Tampere

Paarmasalo, L. Laadun tuki. 2016. Haastattelu 02.05.2016. Haastattelija Sällinen, T. Tampere.

Pilkington. Float Glass Manufacture. Katsottu 28.01.2016.  
<https://www.youtube.com/watch?v=ig4G5WbOMLc>

Pilkington. TL Koulutus karkaisu. Luettu 04.07.2016

Porvoon lasi Oy. Lasin rikkoontuminen. Luettu 28.01.2016  
<http://www.porvoonlasi.fi/lasinrikkoutuminen.html>

Prosessikaavio 2016 Tampere Finland. 2016. NSG Group.

Rainamo, M. & Riikonen, M. 1999. Lasinrakentajan käsikirja. Tampere: Enterpress Oy.

Setälä, J. Prosessin kehitysinsinööri. 2016. Haastattelu 06.04.2016. Haastattelija Sällinen, T. Tampere.

SFS62021 KONETURVALLISUUS. 2012. Luettu 05.03.2016

Service suunnitelma. Koja 2016. Luettu 31.05.2016

Tietoa yhtiöstä. Luettu 28.01.2016. <http://www.pilkington.com/fi-fi/fi/tietoa-yhtiosta>



Toivonen, J. Laadun tuki. 2016. Haastattelu 04.04.2016. Haastattelija Sällinen, T. Tampere.

Turva- ja suojalasit. 2015. Pilkington lasifakta 2015. Luettu 07.03.2016  
<https://www.pilkington.com/~//media/Pilkington/Site%20Content/Finland/Architects/Lasifakta%202015%20finsk.ashx>

Vibration monitoring to ISO 10816. Ifm. Luettu 09.07.2016



## LIITTEET

## Liite 1. Karkaisupuhallin 12.1:n NDT-tarkastuksen pöytäkirja

<b>TEST</b> POWER OY		<b>Magnetic Test Report</b>		NO: DJ00978	Sivu 1/1 Page
Asiakas customer:	Pilkington	Työ Numero Work Number:	-----		
Tilaaaja Contractor:	Koja Oy	Työ Numero Work Number:	-----		
Valmistaja Manufacturer:	Ilmateollisuus Oy	Työ Numero Work Number:	-----		
Tarkastuskohde Inspection object:	<b>Siipipyörä KETK-90 / 2-RD 285</b>				
Valmistusnumero Manufacturing No:	680709 /89 /JL	Merkintätapa Marking:	Katso kuvat.		
Piirustus No Drawing No:	-----	Laatuvaatimus Quality requirement:	Käytössä tulleita virheitä ei sallita.		
Tarkastusohje Inspection procedure:	EN ISO 17638	laadunvaatimusasiakirja Quality requirement of the document:	-----		
Materiaali Material:	FE	Pinnan Laatu Surface condition:	Brushed	Lämpötila Temperat:	20°C
Lämpökäsittely Heat treatment:	Ennen Before	<input type="checkbox"/>	Jälkeen After:	<input type="checkbox"/>	Ei lämpökäsittelyä No heat treatment
Hilsausprosessi welding process:	135	Hiillon muoto Type of joint preparation:	--		
Tekniikka Technique:	les	Virtalaji Current:	AC	Demagnetointi Demagnetization	<input type="checkbox"/>
Laitte Test machine:	Ferros Brobe	Napetäisyys Pole spacing:	100-200mm		
Puhdistusaine Cleaner:	Bycotest C10	Kontrastiväri Contrastpaint:	Bycotest 104		
Magneettijauhe Magnetic Powder:	Bycotest 103	Merkämenetelmä Wet method:	väriäinen Color: black	<input checked="" type="checkbox"/>	Fluorisolva fluorescent
Tarkastuspaikka Inspection place:	Tampere, Finland	Tarkastuspäivämäärä Inspection Date:	13.7.2016		
Tarkastaja Inspector:	Daniel Jussila	Pätevyys Qualification:	SFS-EN ISO 9712 Level 2		
Tarkastuslaajuus Extent of inspect:	Luokseen päästävät paikat MT-100%	Huom. Notes:	Luokseen päästävät paikat, Silmäääräinen tarkastus 100%.		
Tarkastustulokset Results of Inspection	Täytävät vaatimukset Comply with the requirements	<input checked="" type="checkbox"/>	Eivät täytä vaatimuksia Do not comply with the requirements	<input type="checkbox"/>	
					
<p>Luokseen päästävät paikat MT-100%.</p>					
Päiväys Date 27.7.2016 Allekirjoitus Signature: Luokitteija / inspector	 Daniel Jussila		 <b>TestPower Oy</b> Daniel Jussila EN 7844		TestPower Oy Lukinkatu 7A 33580 Tampere Puh:040-7000333



## Liite 2. Karkaisupuhallin 12.2:n NDT-tarkastuksen pöytäkirja

<b>TEST</b> POWER OY		<b>Magnetic Test Report</b>		NO: DJ00981	Sivu 1/1 Page
Asiakas customer:	Pilkington	Työ Numero Work Number:	-----		
Tilaaaja Contractor:	Koja Oy	Työ Numero Work Number:	-----		
Valmistaja Manufacturer:	Ilmateollisuus Oy	Työ Numero Work Number:	-----		
Tarkastuskohde Inspection object:	<b>Siipipyörä</b> <b>KETK-90 / 2-RD 285 (KP 012.2)</b>				
Valmistusnumero Manufacturing No:	680709 / 89 / JL	Merkintätapa Marking:	Katso kuvat.		
Piirustus No Drawing No:	-----	Laatuvaatimus Quality requirement:	Käytössä tulleita virheitä ei sallita		
Tarkastusohje Inspection procedure:	EN ISO 17638	laadunvaatimusasiakirja Quality requirement of the document:	-----		
Materiaali Material:	FE	Pinnan Laatu Surface condition:	Brushed	Lämpötila Temperat:	20°C
Lämpökäsittely Heat treatment:	Ennen Before	<input type="checkbox"/>	Jälkeen After:	<input type="checkbox"/>	Ei lämpökäsittelyä No heat treatment
Hitsausprosessi welding process:	135	Hailon muoto Type of joint preparation:	--		
Tekniikka Technique:	Ies	Virtalaji Current:	AC	Demagnetointi Demagnetization	<input type="checkbox"/>
Laitte Test machine:	Ferros Brobe	Napaetäisyys Pole spacing:	100-200mm		
Puhdistusaine Cleaner:	Bycotest C10	Kontrastiväri Contrastpaint:	Bycotest 104		
Magneettijauhe Magnetic Powder:	Bycotest 103	Märkämenetelmä Wet method:	värillinen Color: black	<input checked="" type="checkbox"/>	Fluorisoiva fluorescent
Tarkastuspaikka Inspection place:	Tampere, Finland	Tarkastuspäivämäärä Inspection Date:	13.7.2016		
Tarkastaja Inspector:	Daniel Jussila	Pätevyys Qualification:	SFS-EN ISO 9712 Level 2		
Tarkastuslaajuus Extent of inspect:	Luokseen päästävät paikat MT-100%	Huom. Notes:	Luokseen päästävät paikat, Silmämääräinen tarkastus 100%.		
Tarkastustulokset: Results of inspection	Täyttävät vaatimukset Comply with the requirements	<input checked="" type="checkbox"/>	Eivät täytä vaatimuksia Do not comply with the requirements	<input type="checkbox"/>	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Luokseen päästävät paikat MT-100%.</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>					
Päiväys Date	27.7.2016	<i>Daniel Jussila</i>		<b>TEST</b> TestPower Oy POWER OY Daniel Jussila EN 7644 TestPower Oy Lukinkatu 7A 33580 Tampere Puh:040-7000333	
Allekirjoitus Signature:					
Luokitteija / inspector	Daniel Jussila				

