



Hung Nguyen

Laitteistomittausten kehittäminen ennakoivassa kunnossapidossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

2.5.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Hung Nguyen
Otsikko:	Laitteistomittausten kehittäminen ennakoivassa kunnossapidossa
Sivumäärä:	42 sivua
Aika:	2.5.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine:	Koneautomaatio
Ohjaajat:	Näyttämöosaston päällikkö Olli Koskelo (HKT) Päänäyttämöoperaattori Juuso Murtoniemi (HKT) Lehtori Maria Sjöholm

Opinnäytetyöaihe on tullut Helsingin Kaupunginteatterilta (HKT). Helsingin Kaupunginteatteri pyrkii kehittämään ennakoivaa kunnossapitoa näyttämötekniikan laitteistolle hyödyntäen datan keruuta, mittaustekniikkaa sekä Total Productive Maintenance (TPM) -ideologiaa. Teatterilla on vuosittain useita tuotantoja, minkä takia on tärkeää kitkeä pois mahdolliset ongelmat varhaisessa vaiheessa.

Tavoitteena oli kerätä dataa näyttämötekniikan laitteistoista sekä tutkia vikasietiloja synnyttäviä syitä. Tutkittavaan laitteistoon kuuluivat esimerkiksi taajuusmuuttajat sekä pyörönäyttämöt. Pyörönäyttämöiden ja niiden nostolavojen vahvan tärinän ja melun takia mittaustekniikan laitetta, kuten tärinämittaria käytettiin datan keräämiseen. Gage R&R -menetelmää käytettiin tarkan mittaustavan saamiseksi. TPM-ideologiaa käytettiin vahvistamaan eri osastojen yhteistyötä ja tämän kautta parantamaan tiedon kulkua.

Diagnostiikkadatan keräämiseen sekä ohjeistukseen tuli kysyä lupa kunnossapidon tiimiltä. Tämä johtui taajuusmuuttajien kunnossapidon ulkoistamisesta. Lupa ja ohjeistus saatiin, mutta ajanpuutteen vuoksi taajuusmuuttajien dataa ei päästy tutki-
maan. Datan kerääminen tärinämittarilla jäi muutamaan kertaan laitteen toimituson-
gelmien vuoksi. Tästä huolimatta arvokasta dataa saatiin kerättyä, mikä antoi myös
positiivisia merkkejä kyseiselle mittaustavalle. TPM:ssä päästiin eteenpäin ammatti-
laisen pitämän koulutuksen toimesta.

Tulevaisuudessa on mahdollista seurata taajuusmuuttajien dataa, jos vikasietilojen määrä kasvaisi. Vaikka tärinämittaria päästiin kokeilemaan vain muutaman kerran, sen hyödyllisyys tuli silti hyvin ilmi, minkä takia laitteen käyttö olisi suositeltavaa näyttämöiden ongelmakohtia selvittäessä. TPM on hyvä menetelmä parantaa tiedonkul-
kua ja viedä laitteistokäyttäjää kohti laajempaa asiantuntijuutta laitteistokäyttäjänä,
minkä takia sen parantamista on kannattavaa jatkaa tulevaisuudessakin.

Avainsanat: Näyttämötekniikka, mittaustekniikka, TPM, kunnossapito, Gage R&R

Abstract

Author: Hung Nguyen
Title: Development of Hardware Measurements in Preventive Maintenance
Number of Pages: 42 pages
Date: 2 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical Engineering
Professional Major: Machine Automation
Supervisors: Olli Koskelo, Head of the Stage Department
Juuso Murtoniemi, Main Stage Operator
Maria Sjöholm, Senior Lecturer

This thesis was assigned by Helsinki City Theatre. Helsinki City Theatre aims at developing preventive maintenance of their theatre stage technology hardware utilizing data collection, measurement technology and Total Productive Maintenance (TPM) -ideology. The Theatre has annually a large number of productions and therefore, it is important to find out potential problems in their beginning stages, so that there would not be any technical problems during the shows.

The examined hardware included variable-frequency drives and revolving stages. Due to heavy vibrations and sounds, measurement technology equipment such as a vibration meter was used to collect data from the revolving stages and their floor lifts. Gage Repeatability and Reproducibility (Gage R&R) -method was used to plan the measurement styles for the vibration meter, which brought accuracy for the measurements. TPM-ideology was used to strengthen the teamwork of different units and to improve the flow of data.

Access to the fault information state data from the drives was granted from the maintenance team. The way how to see the fault data from the drives was shown too. Due to lack of time collecting data from the drives was not possible. Data collecting with the vibration meter was limited to only the Theatre's Large stage's wheel due to delivery problems. TPM was improved by an expert's educating session for the stage operators.

Now that the permission to access the drives data was given, in the future monitoring the fault information data is possible. Despite the small sample pool of the data collecting with the vibration meter, the measurement style seemed to work well. Therefore it should be used in the future for measuring vibration. TPM should be implemented more in the future due to its effectiveness in preventive maintenance and because it also helps the hardware operators to improve their expertise as hardware operators.

Keywords: Theater stage technology, measurement technology, TPM, maintenance, Gage R&R

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Helsingin Kaupunginteatteri	2
3	Kunnossapito	3
3.1	Kunnossapitolajit	4
3.1.1	Huolto	5
3.1.2	Ehkäisevä kunnossapito	5
3.1.3	Korjaava kunnossapito	6
3.1.4	Parantava kunnossapito	7
3.1.5	Vikojen ja vikaantumisen selvittäminen	7
4	Näyttämötekniikka	8
5	Menetelmiä	9
5.1	Total Productive Maintenance (TPM)	9
5.1.1	Total Productive Maintenance -kehitysohjelma	10
5.1.2	Käyttäjän kunnossapito	11
5.2	Gage R&R	11
6	Laitteiston valinta	12
6.1	Tärinämittarit	13
6.1.1	Extech Instruments – G-force datalogger model VB300	13
6.1.2	PCE-VDL 24I – Tärinäanalyysointilaite	14
6.1.3	Käyttö	15
6.2	Leica DISTO™ D5	15
6.2.1	Toimintoja	16
6.2.2	Käyttö	16
7	Opinnäytetyön eteneminen	17
7.1	TPM-perehdytys	17

7.2	Datan keruu	19
7.2.1	Taajuusmuuttajat	19
7.2.2	Pyörönäyttämö	20
7.2.3	Mittaustavan suunnittelu näyttämöille	30
8	Yhteenveto	38
	Lähteet	41

Lyhenteet

HKT: Helsingin Kaupunginteatteri

R&R: Repeatability & Reproducibility. Toistettavuus ja uusittavuus.

TPM: Total Productive Maintenance. Järjestelmä, jossa on tarkoituksena parantaa yhteistyötä, tehokkuutta sekä laitteistojen kuntoa.

G-voima: Maan painovoiman eli gravitaation tuottama kiihtyvyys.

USB: Universal Serial Bus. USB kaapeliliitin tai liittimen vastaanottaja.

CD-ROM: Compact Disc-Read-Only Memory. Levy, joka sisältää dataa ja mistä tietokoneet voivat lukea dataa.

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on Helsingin Kaupunginteatterin (HKT) näyttämötekniikan laitteistojen ennakoivan kunnossapidon kehittäminen. Aiheessa hyödynnetään laitteistomittausta, laitteistojen osien tutkimista sekä datan keruuta. Mittaustavoissa tullaan käyttämään Gage R&R -menetelmää, minkä tarkoituksena on tehdä mittauksien toistettavuudesta sekä uusittavuudesta mahdollisimman helppoa ja tarkkaa. Laitteistomittauksella työn yhteydessä puhuttuna tarkoitetaan mittaustekniikan implementointia laitteistojen datan keruuta varten sekä laitteistojen diagnostiikkadatan analysointia. Datan keruu tulee keskittymän taa-juusmuuttajiin sekä pyörönäyttämöihin, pyörörenkaaseen ja lavanostimiin. Total Productive Maintenance (TPM) -ideologiaa tullaan myös jatkokehittämään ennakoivassa huolto-ohjelmassa tiedonkulun parantamiseksi.

Teatterilla halutaan ylläpitää ennakoivaa kunnossapitoa, jotta ongelmat havaittaisiin mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Näytösten keskeytyminen tekniikkaongelmien takia tulisi aiheuttamaan negatiivisia tuloksia rahallisesti sekä maineellisesti, minkä takia ennakoiva kunnossapito nousee isoon rooliin tulevaisuutta mietittäessä.

Tapauksia, joita teatterilla tullaan tutkimaan on esimerkiksi pyörönäyttämöitä ja pyörörengasta käyttäessä havaitut äänet sekä ”hypähdykset” tietyissä kohdissa. Tehtävänä on tutkia mittaustekniikkaa hyödyntäen mahdollisia syitä näille. Näyttämöitä tullaan tutkimaan Suurella näyttämöllä sekä Pienellä näyttämöllä. Näyttämöjen lattia-ostimia käyttäessä on myös havaittu tärinää sekä kolinaa, joten mittaustekniikkaa tullaan käyttämään lattia-ostimien kunnan tutkimiseen. Suuren näyttämön pyörönäyttämön paikkasijainnissa on heittoa ja tätä tullaan myös analysoimaan. Pyörönäyttämölle ja pyörörenkaalle on tehty ennestään fyysiset merkinnät nollakohdista, jotka eivät enää ole kohdallaan. Ohjauspaneelia katsoessa pyörönäyttämö ja -rengas on nollakohdassaan, mutta fyysisiä merkintöjä katsoessa näyttämö ei ole paikallaan. Tästä syystä pyörönäyttämölle ja -renkaalle on tarkoitus asettaa uudet nollakohdat ja kerätä dataa mahdollisista

muutoksista. Suuren näyttämön pyörörenkaan vetopyörät vaihdetaan myös uusiin ja tämän vaikutusta tullaan seuraamaan. Vanhoja vetopyöriä tullaan analysoidaan ja näistä tullaan keräämään dataa.

Ensimmäisissä kappaleissa kerrotaan hieman Helsingin Kaupunginteatterista sekä käsitellään termejä kunnossapito ja näyttämötekniikka, jotta saadaan yleiskäsitys aiheesta, helpottaen lopputyön lukemista. Näyttämötekniikka-käsitteestä siirrytään teatterissa käytettäviin näyttämötekniikan laitteistoihin, mistä siirrytään työssä käytettävien menetelmien avaamiseen, joita ovat TPM- sekä Gage R&R-menetelmä. Alkukappaleet tulevat sisältämään teorian tietoa, minkä jälkeen päästään itse aiheeseen. Teoriaosuudesta siirrytään ylimääräisiin laitteistoihin, joita tullaan käyttämään työssä. Lopputyön eteneminen tullaan käymään läpi yksityiskohtaisesti TPM:stä datankeruuseen sekä lopuksi tullaan tekemään yhteenveto lopputyöstä.

2 Helsingin Kaupunginteatteri

Helsingin Kaupunginteatterin edeltäjiä ovat Helsingin Työväen Teatteri, joka perustettiin vuonna 1902 ja Helsingin kansanteatteri, joka perustettiin vuonna 1933. Nämä teatterit yhdistyivät vuonna 1948 Helsingin kansanteatteri-Työväenteatteriksi, jonka nimi vaihdettiin vuonna 1965 Helsingin Kaupunginteatteriksi. [6.]

Helsingin Kaupunginteatteri on Suomen suurin ammattiteatteri, joka tarjoaa laajalla ohjelmatarjonnallaan elämyksiä sekä merkityksellisiä tarinoita. Teatteri on laajentunut vuosien mittaan. Laajentumisen sekä yhdistymisien myötä tänä päivänä näyttämöitä on kaiken kaikkiaan kuusi. Näyttämöitä ovat Suuri näyttämö, Pieni näyttämö, Arena näyttämö, Studio Pasila, Studio Elsa sekä Lilla Teatern. Näyttämöt täyttävät vuosittain yhteensä noin 300 000 katsojaa. Erilaisia tuotantoja teatterilla on vuosittain yli kolmenkymmentä sekä esityksiä teatterilla on vuodessa yli kahdeksansataa. [6.]

Teatteri työllistää noin 240 työntekijää ja tilapäistä henkilökuntaa löytyy noin 100 työntekijää. Henkilöstöä löytyy taiteelliselta puolelta (42 %), tekniseltä puolelta (43 %) sekä hallinnolliselta puolelta (15 %). Liikevaihtoa teatterilla on noin 10 miljoonan euron edestä. Vuotuinen budjetti teatterilla on noin 29 miljoonaa euroa, johon sisältyy myös erilaisia avustuksia. Avustuksia ovat toiminta-, peruskorjaus- ja vuokra-avustukset. Teatterin osuus rahoituksesta on noin 40 %. [6.]

3 Kunnossapito

Aika on monien pahin vihollinen. Ajankulku kuluttaa sekä lopulta johdattaa rapistumiseen ja kunnossapidon tarkoituksena on hidastaa tätä ketjua. Kunnossapitoa mietitään usein teollisuuden muodossa, mutta todellisuudessa sitä on kaikkialla. Yksi vanhimmista tieteenaloista on ihmisten kunnossapito, jossa vakavia sairastumisia halutaan ehkäistä ennakoivilla toimenpiteillä. Sama pätee teollisuuden kunnossapidossa, jossa oireisiin halutaan puuttua ennen vakavan "sairauden" iskemistä. Nimensä mukaisesti kunnossapidossa pidetään huolta kunnosta. Sairauden tai laiterikon hoitaminen on kallista, minkä takia kunnossapito on tärkeä osa yhteiskuntaa, koska tällä pystytään pidentämään ikää. [8.]

Kapitalistisessa yhteiskunnassa suurin mahdollinen voitto on enemmistön tavoite, minkä takia kustannustehokkuus on tärkeää. Asioita halutaan tehdä tehokkaasti sekä jokainen askel käydä läpi, jotta saadaan kitkettä turhakkeet. Kunnossapidolla pystytään hallita ja säätää prosesseja ja tätä kautta luoda kustannustehokas ratkaisu. Vanhemman käsityksen mukaan kunnossapidolla haluttiin luotettavuutta tai tuotantokykyä, mutta uudemmassa käsityksessä menekki ohjaa luotettavuuden sopivuuden määrää ja tämän tulee olla myös hallittua. Nykyaikaisessa kunnossapidossa ei riitä enää perinteinen käsite "vikojen korjaus". Nykyaikaisessa on noussut korkealle jalustalle ennakointi, huolto, turvallisuus sekä kehittäminen. [8.]

Tehokas kunnossapito on tärkeää tuottavuuden sekä koneen iän kannalta. Koneen säädöt ja asetukset tulee olla tarkkaan laitettuina, jotta välttyttäisiin ylimääräisiltä rasitteilta, mutta pystyttäisiin kuitenkin ajamaan konetta mahdollisimman tehokkaasti. Tehokkaassa käytössä konetta on tärkeää osata käyttää asiantuntevasti sekä tehokkaasti korkean tehokkuuden saavuttamiseksi. Koneen toiminnallisuuden tehokkuuden kannalta on tärkeää toteuttaa tehokasta kunnossapitoa sekä tehokasta käyttöä hyvää lopputulosta tavoitellessa. Koneen elinjakosuunnitelmassa tavoitteet sekä kunnossapito on suunniteltu etukäteen, varmistuen tällä koneen tehokkuus. [8.]

SFS-EN 13306 standardin määritelmä kunnossapidosta:

Kunnossapito koostuu kaikista kohteen elinajan aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeen johdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon [8].

3.1 Kunnossapitolajit

Kunnossapitoa jaotellaan standardeissa eri tavoin. Standardi SFS-EN 13306 jakaa kunnossapidon lajit ongelman havainnoinnin mukaan, kun taas PSK 7501 standardi jakaa lajit suunniteltuun kunnossapitoon sekä häiriöihin tuotannossa. Kunnossapidon uudistuessa huomataan, että standardit keskittyvät korjaamiseen sekä vikaantumiseen, vaikka kunnossapito modernisoituu jatkuvasti. Kunnossapidon viisi päälajia voidaan kuitenkin tunnistaa, jokapäiväisessä toiminnassa ja näitä ovat:

1. Huolto
2. Ehkäisevä kunnossapito
3. Korjaava kunnossapito
4. Parantava kunnossapito

5. Vikojen ja vikaantumisen selvittäminen. [8.]

3.1.1 Huolto

Huollon tarkoituksena on käyttöominaisuuksien ylläpito tai huonontuneen toiminnan korjaaminen, jotta vikaa tai vauriota ei laitteessa synny. Huollolla on samanlaisuuksia ehkäisevän kunnossapidon kanssa. Huoltoajanjakso tehdään määrätyin ajoin ja niihin sisältyy:

1. Toimintaedellytysten vaaliminen
2. Puhdistus
3. Voitelu
4. Huoltaminen
5. Kalibrointi
6. Kuluvien osien vaihtaminen
7. Toimintakyvyn palauttaminen. [8.]

3.1.2 Ehkäisevä kunnossapito

Suorituskyvyn tai parametrien seuranta on tärkeää ehkäisevässä kunnossapidossa. Pää tarkoituksena on pienentää vikojen mahdollisuutta tai toiminnan huonontumista. Ehkäisevää kunnossapitoa tehdään määrätyin ajoin tai sitä tehdään tarvittaessa. Valvontaa on paras tehdä koneen ollessa käynnissä tai seisokissa.

Kunnossapito pystytään suunnittelemaan sekä aikataulutamaan tuloksia analysoimalla. Kunnossapitoon kuuluu esimerkiksi:

1. Tarkastaminen
2. Kunnonvalvonta
3. Määräystenmukaisuuden toteaminen
4. Testaaminen
5. Käynninvalvonta
6. Vikaantumistietojen analysointi. [8.]

3.1.3 Korjaava kunnossapito

Korjaavassa kunnossapidossa epäkunnossa oleva kohde huolletaan käytettäväksi. Tällä tavalla saadaan laskettua kohteen käyttöikä. Korjaava kunnossapito voidaan jakaa suunniteltuun, jossa tehdään kunnostusta tai suunnittelemattomaan, jossa korjataan häiriötä. Korjaavaan kunnossapitoon kuuluu:

1. Vian määrittäminen
2. Vian tunnistaminen
3. Vian paikallistaminen
4. Korjaus
5. Väliaikainen korjaus
6. Toimintakunnon palauttaminen. [8.]

3.1.4 Parantava kunnossapito

Parantavaan kunnossapitoon kuuluu kolme ryhmää. Ensimmäisessä ryhmässä tarkoituksena on vaihtaa vanhemmista osista uudempiin, muuttamatta suorituskykyä. Toisessa ryhmässä tarkoituksena on parantaa koneen luotettavuutta uudelleensuunnittelulla sekä korjaamisella. Kolmannessa ryhmässä tarkoituksena on uudistaa vanhaa konetta sen käyttöiän ollessa vielä järkevä, kilpailukyvyn nostamiseksi. [8.]

3.1.5 Vikojen ja vikaantumisen selvittäminen

Vikojen ja vikaantumisen selvittäminen on tärkeä laji, vaikka sitä ei ole vielä kunnossapidon toiminnoissa. Vian selvittämisellä voidaan estää samanlaisen vian uudelleensyntyminen ja tätä kautta ennakoida tulevaisuutta. Kunnossapidon standardeissa ei käsitellä lajia, mutta se on noussut positiivisesti esiin kunnossapidonkonferensseissa. Tähän menetelmään kuuluu:

1. Vika-analyysi
2. Vikaantumisen selvittäminen, simulointi
3. Mallintaminen
4. Perussyys selvittäminen
5. Materiaalianalyysit
6. Suunnittelun analyysit
7. Vikaantumispotentiaalin kartoitukset. [8.]

4 Näyttämötekniikka

Näyttämötekniikka tunnetaan myös nimellä näyttämömekaniikka, missä nopein kehitys tapahtuu ohjausjärjestelmissä, mutta itse mekaniikassakin kehitystä tapahtuu vuosittain. Tekniikan kehittyessä pystytään siirtymään modernimpiin ratkaisuihin, jotka auttavat luomaan turvallisemman ympäristön työskentelyä varten. Vanhoihin vastapainoratkaisuihin ei tarvitse enää nojautua, vaan pystytään käyttämään tämän päivän ratkaisuja, jotka auttavat pienentämään laitteiden ja työntekijöiden taakkaa. Ohjausjärjestelmillä pystytään ohjaamaan useita laitteita samanaikaisesti, mikä taas vähentää fyysisen työn tarvetta työntekijöillä. Näyttämötekniikkaa suunnitellessa turvallisuus on todella tärkeä osapuoli suunnitelmassa, koska suurin osa laitteista ovat nostoihin tarkoitettuja laitteita, joissa piilee aina tippumisen riski. Yleisesti näyttämötekniikan laitteet jaetaan ylä- ja alakoneistoon sekä kiinteisiin rakenteisiin. [5.]

Yläkoneiston laitteet ovat näyttämön yläpuolella, minkä takia niitä kutsutaan yläkoneistoiksi. Tyypillisin laite näyttämötekniikassa on tankonostin. Muita laitteita ovat valaisinansaat, kaiutinnostimet, pistenostimet, ketjunostimet ja ketjunostinjärjestelmät sekä viivapistenostimet. [5.]

Alakoneisto on näyttämön tasolla ja sen alapuolella, minkä takia niitä kutsutaan alakoneistoksi. Alakoneistoon kuuluu taas esimerkiksi orkesterinostimet, saksilavanostimet, pyörönäyttämöt, siirrettävät lattianostimet sekä siirrettävät näyttämöt. [5.]

Kiinteisiin rakenteisiin kuuluu erilaiset esiriput, verhot, verhokiskot ja niiden liu'ut sekä valkokankaat. Erilaisia esirippuja ovat esimerkiksi pilvi-, vaaka- ja lentävä-esirippu. Erilaisia verhoja ovat esimerkiksi rullautuvat-, tausta-, väli-, pimennys- ja akustiikkaverhot. Verhokiskoja jaotellaan taas raskaista keskiraskaisiin ja tästä vielä kevyisiin kiskoihin. Valkokankaita on taas alatukki-, ylätukki-, kehikko- sekä erikoisvalkokankaat. [5.]

Helsingin Kaupunginteatterilla laitteistoa on runsaasti. Helsingin Kaupunginteatterin laitteistoa ovat esimerkiksi tanko-, lavanostin- orkesteri-, steeldecknostin,

rengas-, keskipyörö, lattian tasaaja, energiansiirtoketjut, taajuusmuuttajat, erilaiset anturit sekä erilaiset moottorit. Lopputyössä keskitytään enimmäkseen taajuusmuuttajiin sekä pyörönäyttämöihin.

5 Menetelmiä

5.1 Total Productive Maintenance (TPM)

Total productive maintenance lyhennettynä TPM on japanilaisen Seiichi Nakajiman 1970-luvulla kehittämä järjestelmä, jonka tarkoituksena on sitoa yrityksen henkilökunta yhteen sekä tätä kautta nostaa tehokkuutta ja pitää laitteiston kuntoa mahdollisimman hyvänä. Suomennettuna TPM tarkoittaa kokonaisvaltaista tuottavaa kunnossapitoa, minkä periaatteita on myös käytetty Suomen Tuttava -ohjelmassa. [8.]

TPM:ssä on viisi päämäärää, joista ensimmäinen päämäärä on hyödyntää koneen tehokkuutta maksimaalisesti. Toinen päämäärä on suunnitella kunnossapitosysteemi, joka on käytössä koko koneen elinkaaren ajan. Kolmas päämäärä on saada koneen suunnittelijat, käyttäjät sekä kunnossapitoa hoitavat puhaltamaan yhteen hiileen. Neljäs päämäärä on saada kaikki yrityksen henkilöt puhaltamaan yhteen hiileen. Viidennessä päämäärässä kunnossapidon suunnittelu ja toimeenpano tapahtuisi koneenkäyttäjän ja -huoltajan toimesta. [8.]

Nakajiman pääperiaatteet:

1. Lisätään suunnittelun avulla laitteiden tehokkuutta häviöitä karsimalla
2. Parannetaan olemassa olevia ehkäisevän ja ennustavan kunnossapidon tasoa
3. Määritetään vaatimustasot koulutettujen käyttäjien tekemille huolto- ja puhdistustöille

4. Lisätään kunnossapidon ja käytön henkilökunnan taitoja ja motivaatiota yksilö- ja ryhmätason koulutuksella. [8.]

5.1.1 Total Productive Maintenance -kehitysohjelma

Ohjelmaan kuuluu kolme vaihetta: kunto-, mittaus- ja kehitysvaihe, joihin sisältyy myös useita pienempiä vaiheita. TPM pyrkii kehittymään jatkuvasti, jotta sillä pääsisi nolnaan prosenttiin vioissa sekä häiriöissä. [8.]

Kuntovaiheessa arvioidaan kriittisyyttä sekä kuntoa. Kriittisyyden arvioinnissa arvioidaan koneiden kuntoa, mistä voidaan asettaa koneet korjausjärjestykseen. Koneet voidaan arvioida kahdella tapaa, joko pisteytysmenetelmällä, johon kuuluu erikseen kriteeritaulukko tai vikahistorian mukaan. Kuntoa arvioidessa arvioidaan osien kuntoa ja mahdollisen vian akuuttisuutta. Arviointien jälkeen siirrytään kunnostusvaiheeseen, jossa kunnostusta varten tehdään suunnitelma, suunnitellaan aikataulu, hankitaan tarvittava taloudellinen tuki, toteutetaan kunnostus sekä puhdistus. Kun kone on saatu uudenkarheaksi, niin laaditaan uudet kunnossapito-ohjeet. [8.]

Mittausvaiheeseen ei kuulu paljoa, mutta se on kuitenkin kunnossapidon tärkeimpiä vaiheita. Mittausvaiheessa käydään läpi koneen laitehistoriaa, josta pystytään analysoimaan koneen käyttödataa. Vaihe on tärkeä koneen luotettavuutta tutkiessa. [8.]

Kehitysvaiheeseen kuuluu ongelmanratkaisu sekä parhaiden käytäntöjen käyttöönotto. Ongelman korjaaminen on parhaimpia keinoja kehittämisessä, minkä vuoksi on tärkeää olla hyvin koulutettuja sekä perehdytettyjä henkilöitä helpon ratkaisun löytämiseksi. Ongelmat vaikuttavat toimintaan tappiollisesti, mistä syystä ongelmia on tärkeä tutkia yhdessä henkilöiden kanssa, jotka ovat tekemisissä koneen kanssa. Parhaiden käytäntöjen käyttöönotto on nimensä mukainen, jossa tarkoituksena on dokumentoida parhaimmat käytännöt ohjeistukseksi. [8.]

Mahdollisimman tarkan tuloksen saamiseksi mittaajiksi tulee valita henkilöitä, joilla on jo kokemusta mittalaitteen käytöstä sekä henkilöitä, jotka käyttävät mitattavaa kohdetta. Oikeiden näytteiden valitseminen on myös tärkeää tuloksen kannalta. Mitattavalle kohteelle tulee asettaa toleranssit, josta voidaan tarkastella mittaustavan sopivuutta. Gage R&R on usein käytössä prosessin ohjausta mitattaessa. Näytteitä ottaessa mittaukset tulee tehdä satunnaisesti, jotta vääristyneitä tuloksia ei tule. Prosessia suorittaessa operaattorin tulee olla tietämätön mittaustulosten näytteenä ja prosessia pitää seurata henkilö, joka on koulutettu Gage R&R:n periaateihin. [7 & 10.]

6 Laitteiston valinta

Opinnäytetyötä varten valittiin laitteistoa, joiden tarkoituksena on auttaa datan keräämisessä. Laitteistoa valittaessa mietittiin käyttötarkoituksia sekä kustannuksia. Koska tarkoituksena on mitata värinää näyttämöillä ja lavanostimilla, niin värinämittari on täydellinen näihin tarkoituksiin.

Värinämittariksi valittiin Extech'in dataloggeri, mutta laitteen toimitusongelmien vuoksi jouduttiin vielä valitsemaan varalle toinen värinämittari. Toiseksi vaihtoehdoksi valittiin PCE-instruments'in PCE-VDL 241 värinäänalysointilaitte. Molemmat laitteet ovat sopivia työn käyttötarkoitukseen tarkkuuksien perusteella, koska mitattavat värinäpiikit ovat korkeaa luokkaa ja laitteet ovat kustannuksiltaan myös kohtuullisia.

Teatterilla on ennestään laseretäisyysmittari, mitä voidaan hyödyntää nykyistä Suuren näyttämön pyörönäyttämön ja -renkaan nollakohtia tutkiessa. Pyörönäyttämön nollakohta ei ole enää kohdallaan, joten tarkoituksena on tutkia etäisyysmittarilla sitä, että johtuuko heitto pyörönäyttämön pyöröstä tai renkaasta vaiko molemmista.

6.1 Tärinämittarit

6.1.1 Extech Instruments – G-force datalogger model VB300

Extech Instruments:in kolmiakselinen (X-,Y- ja Z-akseli) datalogger, millä pystyy mittaamaan sekä nauhoittamaan isku- ja tärinälukemia. Suomeksi datalogger tarkoittaa tiedonkeruulaitetta. Tärinää mitataan kiihtyvyydellä ja laite lukee lukemia ± 18 g-voiman toimintasäteellä. Tarkkuus laitteessa on $\pm 0,5$ g-voimaa ja taajuusalue on 0–60 hertsiä. Resoluutiota laitteessa on 0,00625 g-voimaa.

Muistia laitteessa on 4 megabittiä sekä se pystyy tallentamaan 168042 tavallista tallennetta tai 112028 liiketunnistustallennetta akselia kohden. Tallennetut tiedot pystytään lataamaan tietokoneelle USB-portin kautta sekä käyttämällä toimitettua tietokoneohjelmistoa. Tietokoneohjelmisto vaatii CD-ROM-paikan ohjelmiston lataamiseen. Laite pystyy mittaamaan staattista ja dynaamista kiihtyvyyttä. Tiedonkeruuintervalli on nopeimmillaan 50 millisekuntia ja intervallia on mahdollista nostaa 24 tunnin päähän. Laite on kooltaan näppärä ja helppo kantaa mukana (Kuva 1). [4.]



Kuva 1. Extech Instruments – VB300 Datalogger.

Dataloggerin pystyy kiinnittämään laitteelle suunniteltuun jalustaan ja tämän avulla mitattavaan kohteeseen kolmella eri tavalla. Ensimmäinen kiinnitystapa

on magneettisesti. Jalustan takaosassa on voimakkaat magneetit, jotka tarttuvat ferromagneettisille pinnoille. Toinen tapa on liimaus, mikä tulee hankkia erikseen tätä käyttötapaa hyödyntäessä. Kolmas tapa on ruuvikiinnitys. Jalustassa on kolmet ruuvireiät ruuvikiinnitystä varten. [4.]

6.1.2 PCE-VDL 24I – Tärinäanalysaattori

Kolmen akselin värähtelyanturilla toimiva tietojenkeruulaite. Ihanteellinen vianmäärityksessä, koneentarkastuksessa, stressitestissä, iskunmittauksessa sekä ennaltaehkäisevässä kunnossapidossa.

Mittaustulokset voidaan tallentaa sisäiseen 32 gigatavun muistikortille sekä siirtämään halutessa tietokoneelle. Kiihtyvyyssanturi, jonka näytteenottotaajuus maksimissaan on 1600 hertsiä. Analysaattorissa on myös ± 16 g-voiman mitausalue sekä 0,24 g-voiman tarkkuus. Laitteen resoluutio on 0,00390625 g-voimaa. Lisänä mukaan saa myös magneettisen kiinnityslevyn, joka helpottaa laitteen asettamista ferromagneettisille pinnoille (Kuva 2). Laitteen pystyy myös po-raamaan kiinni levyn ruuvipaikoista. [13.]



Kuva 2. PCE-VDL 24I – Tärinäanalysaattori.

6.1.3 Käyttö

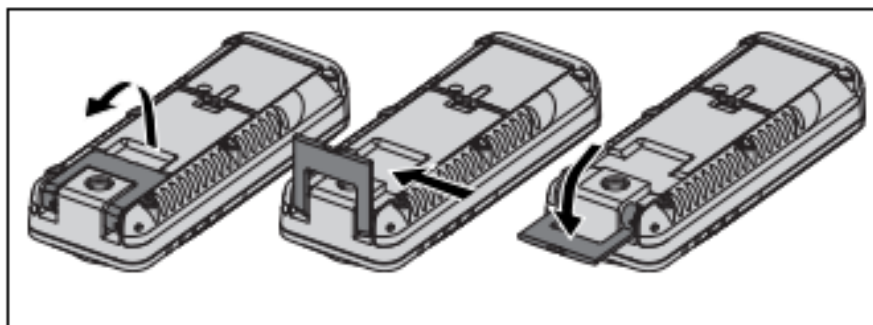
Laitteita tullaan käyttämään pyörönäyttämöjen, -renkaan ja lavanostimien tärinöiden mittaamiseen. Suuren näyttämön pyörönäyttämön renkaalla on havaittu ääniä vetopyörien kohdalla sekä hypähdyksiä renkaan ollessa käynnissä. Suuren ja Pienen näyttämöjen pyöröllä on myös havaittu samanlaisia oireita. Tärinämittaria tullaan käyttämään hypähdyskohtien tarkempaan paikantamiseen sekä lavanostimien kuntojen seuraamiseen ja tärinäkohtien selvittämiseen. Mittauskohdat sekä kiinnitystavat tullaan suunnittelemaan hyvän mittaustuloksen saamiseksi. Tärinämittareita tullaan käyttämään Pienellä näyttämöllä sekä Suurella näyttämöllä.

6.2 Leica DISTO™ D5

Etäisyysmittari kameralla, joka mittaa lasersäteellä etäisyyttä. Mittauskantama on rajoitettu arvoon 200 metriä. Kameralla pystyy tarkentamaan kaksin- sekä nelinkertaisesti ja se on myös hyvä vaihtoehto olosuhteiden ollessa huono laserin näkyvyydelle. Laitteessa on myös ajastintoiminto, jota voi hyödyntää esimerkiksi vakauden helpottamiseksi huonoilla tukipinnoilla. Laitteessa on myös taitettava tukialusta (Kuva 4), mikä helpottaa mittaamista vaikeissa ympäristöissä. Kuvasta kolme näkee laitteen mallin. Laite tallentaa 20 edellistä tulosta ja kykenee myös vakion tallentamiseen. [12.]



Kuva 3. Leica DISTO™ D5 – Laseretäisyysmittari.



Kuva 4. Tukijalusta.

6.2.1 Toimintoja

Laitteen lähtömittauskohdaksi voidaan valita, joko laitteen taka-, etu- tai ruuvi-kiinnityskohta. Kiinnitysosassa on kierteet, mistä sen voi esimerkiksi kiinnittää kolmijalkaan. Laitteelle voidaan asettaa tarkkuusyksiköitä etäisyydelle, pinta-alalle, tilavuudelle sekä kallistusmittaukselle. Metriyksikössä tarkkuus voidaan asettaa etäisyysmittauksessa kymmenestuhannesosan tarkkuuteen ja pinta-ala sekä tilavuus mittauksessa tuhannesosan tarkkuuteen. Muita mittaustoimintoja ovat puolisuunnikkaan mittaus, paalutustoiminto, kolmion sivun mittaus sekä epäsuoramittaus hyödyntäen Pythagoraan lausetta. Epäsuoramittaus on hyödyllinen, kun mitattavaa etäisyyttä ei saada mitattua suoraan. Laitteella pystyy mittaamaan $\pm 45^\circ$ kulmamittaus toiminnossa. [12.]

6.2.2 Käyttö

Etäisyysmittarilla tullaan tutkimaan pyörönäyttämön ja pyörörenkaan nollakohtia. Pyörönäyttämöllä ja renkaalla on merkitty fyysiset nollakohtamerkinnot, jotka eivät enää täsmää anturin antaman lukeman kanssa. Pyörörenkaan toisella puolella on fyysinen merkintä nollakohdalle, mikä on kiinteäpiste eli se ei liiku laivan ollessa käynnissä. Tästä merkinnästä pystytään katsomaan etäisyysmittarin laseria hyödyntäen sitä, että heittääkö pyörönäyttämön merkintä vai heittääkö renkaan merkintä vai heittääkö mahdollisesti molemmat.

7 Opinnäytetyön eteneminen

7.1 TPM-perehdytys

TPM-projektin perehdytystä varten Helsingin Kaupunginteatterille kutsuttiin sertifioitu nostolaitetarkastaja, joka piti kahden päivän koulutuksen teatterinnäyttämöoperaattoreille. Koulutuksen aiheina olivat nostolaitteiden tarkastus, kunnossapito, ennakoiva huolto, lainsäädäntö, vastuut, velvoitteet sekä tarkastusten dokumentointi. Projektin tarkoituksena on lisätä laitteistokäyttäjien osallisuutta laitteiden kunnossapidossa, korvaamatta kuitenkaan ammattilaisten hoitamia huoltoja sekä tarkastuksia. Tärkeänä osana on myös viedä laitteistokäyttäjiä kohti laajempaa asiantuntijuutta käytettävien laitteistojen laitteistokäyttäjinä.

TPM:n parantamista varten on tehty Excel-pohja, mihin on sisällytetty teatterin laitteistot sekä laitteiston kunnontilat laitteiston kunnan seurantaan varten. Excel-pohjaan voi lisätä esimerkiksi laitteen vian tyyppin, vian kuvauksen sekä laitteen korjauksen tilan. Pohjan tarkoituksena on helpottaa laitteistojen kunnan seuranta. Ammattilaisten tekemien huoltojen yhteydessä Excel-pohja auttaa myös huoltoväkeä paikantamaan ongelmat helpommin.

HKT Suuri Näyttämö TPM VIKATILASEURANTA

● VIKAANTUNUT ● PUUTTEITA ● KUNNOSSA ● KORJAUS TILATTU

TANKONOSTIN	TILA	TIETOJA	YKSILÖIVÄ TUNNISTE
VA0	●		
PILVI	●		
T1	●	teräsköysi hankaa tasoon	
T2	●	teräsköysi hankaa tasoon	
KLUSTERI	●		
T3	●	teräsköysi hankaa tasoon	
T4	●	vaijerirumpu ääntää teräsköysi hankaa tasoon	
T5	●		
T6	●	vastapainokelkka ääntää	
NOLLA			
T7	●	raja-/anturilaatikko ääntää	
ESIRIPPU	●		
T9	●		
VA1	●		
T10	●		
T11	●		
T12	●		

Kuva 5. Excel-pohja TPM-vikatilaseurannasta Suurelle näyttämölle.

LAITERYHMÄ	LAITE	TILA	VIAN TYYPI	VIKAANTUNUT OSA	VIAN KUVAUS	KORJAAVA TOIMENPIDE	HAVAITU
TANKONOSTIMET	T46	●	mekaaninen	rummun kuljetinrulla	vaijerirumpu ääntää	vikaantuneen osan vaihto	27.4.2020
TANKONOSTIMET	T48	●	mekaaninen	rummun kuljetinrulla	vaijerirumpu ääntää	vikaantuneen osan vaihto	27.4.2020
PISTENOSTIMET	P104	●	mekaaninen	jarru	jarru ei avaudu käsin vapauttamalla	vikaantuneen osan säätö	1.6.2021
PISTENOSTIMET	P105	●	mekaaninen	jarru	jarru ei avaudu käsin vapauttamalla	vikaantuneen osan säätö	1.6.2021
PISTENOSTIMET	P106	●	mekaaninen	raja-/anturilaatikko	raja-/anturilaatikko ääntää		1.6.2021
PISTENOSTIMET	P108	●	mekaaninen	teräsköysi	muodonmuutos		1.6.2021
PISTENOSTIMET	P111	●	mekaaninen	jarru	jarru ei avaudu käsin vapauttamalla	vikaantuneen osan säätö	1.6.2021
PISTENOSTIMET	P114	●	mekaaninen	raja-/anturilaatikko	raja-/anturilaatikko ääntää		1.6.2021
PISTENOSTIMET	P115	●	mekaaninen	teräsköysi	muodonmuutos		1.6.2021
PISTENOSTIMET	P118	●	mekaaninen	jarru	jarru ei avaudu käsin vapauttamalla	vikaantuneen osan säätö	1.6.2021
PISTENOSTIMET	P119	●	mekaaninen	raja-/anturilaatikko	raja-/anturilaatikko ääntää		1.6.2021
PISTENOSTIMET	P121	●	mekaaninen	raja-/anturilaatikko	raja-/anturilaatikko ääntää		1.6.2021
TANKONOSTIMET	SIVUTANKO O	●	mekaaninen	nostotanko	tangon liitossaumassa ruostetta		1.6.2021
TANKONOSTIMET	T1	●	mekaaninen	teräsköysi	teräsköysi hankaa tasoon		1.6.2021
TANKONOSTIMET	T2	●	mekaaninen	teräsköysi	teräsköysi hankaa tasoon		1.6.2021

Kuva 6. Excel-pohja, mistä näkyy esimerkiksi vian tyyppiin, vikaantuneen osan, vian kuvauksen sekä mahdollisen toimenpiteen.

TPM KALENTERI 2022 SUURI NÄYTTÄMÖ	KUUKAUDEN VÄLEIN TEHTÄVÄ				PUOLIVUOKSITTAIN TEHTÄVÄ				VUOSITTAIN TEHTÄVÄ				JATKUVA TEHTÄVÄ				MÄÄRÄAJAISTARKASTUS JA HUOLTO													
	Tammikuu		Helmikuu		Maaliskuu		Huhtikuu		Toukokuu		Kesäkuu		Heinäkuu																	
KOHDE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
TANKONOSTIMET	TN					TN				TN				TN				TN												
PISTENOSTIMET JA ANSAAT		PN/A				PN/A				PN/A				PN/A				PN/A												
ALAKONEISTO			AK				AK				AK				AK				AK											
KETJUNOSTIMET			KN				KN				KN				KN				KN					KN						
TUULETTIMET JA SUODATTIMET																			T/S											
KONEHUONEIDEN IMUROINTI																			KH											
PYÖRÖN ALUSTAN IMUROINTI																					PAI									
GRID KIRISTYS																					GK									
MEKANIikka/AUTOMAATIO KAIKKI																								M/A						
6S	6S																													
VIIKKO																														
SUORITETTU	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
SUORITETTU OSITTAIN	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
EI SUORITETTU	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Kuva 7. Kalenteri kunnossapitotehtäville.

7.2 Datan keruu

Dataa tullaan keräämään teatterin taajuusmuuttajista, pyörönäyttämöistä, -renkaasta sekä lavanostimista. Taajuusmuuttajista kerätään diagnostiikkadataa, jotta vikasietotiloja synnyttäviä syitä voitaisiin tutkia. Pyörönäyttämöistä tullaan keräämään dataa tärinämittarilla. Tärinämittarilla kerätään dataa näyttämöiden kunnosta sekä yritetään selvittää syitä näyttämöiden pitämille äänille ja hypähdyksille. Suuren näyttämön pyörörenkaan vetopyörät tullaan myös vaihtamaan uusiin, joista tullaan keräämään dataa. Kerätty data tullaan analysoimaan ja sen keräämistä tullaan jatkamaan tulevaisuudessa, jotta kunnossapitoa voitaisiin ennakoita.

7.2.1 Taajuusmuuttajat

Taajuusmuuttaja koostuu tasasuuntaajasta, välipiiristä ja vaihtosuuntaajasta. Taajuusmuuttaja on laite, jota käytetään nimensä mukaisesti taajuuden muuttamiseen. Laitetta käytetään esimerkiksi vaihtovirtamoottoreiden ohjaamiseen, jossa peruseräteenä on vaihtovirran ja jännitteen taajuuden muuttaminen. Kolmivaiheisen moottorin roottorin pyöräminen saadaan aikaan moottorin kääntämällä jännitettä muuttamalla tietyssä järjestyksessä. Jännitteen muuttaminen saa aikaan moottorin magneettivuon pyöräytymisen, mikä taas pistää roottorin seuraamaan tätä. [9.]

Taajuusmuuttajan käyttö on hyvä taloudellinen vaihtoehto vaihtovirtamoottoria hyödyntäessä. Suorassa verkkokäynnistyksessä moottorin käynnistysvirta saattaa olla 6–8 kertainen verrattuna moottorin nimellisvirtaan. Taajuusmuuttaja poistaa moottorin käynnistysongelmat, joita suora verkkokäynnistyminen aiheuttaisi. Taajuusmuuttajalla pystytään säätämään pyörimisnopeus tarpeen mukaan, millä voidaan vähentää virrankulutusta. Säädön avulla voidaan myös välttää käynnistyksessä moottorin nimellisvirran ylitys ja tällä saadaan aikaan pehmeämpi käynnistyminen, mikä kuormittaa moottoria vähemmän. Taajuusmuuttajat ovat käytännössä huoltovapaita jatkuvassa käytössäkin. Suotavaa on kuitenkin vaihtaa puhaltimet sekä tarpeen tullen kondensaattori välipiirissä. [9.]

Tutkittavia taajuusmuuttajia ovat Schneider Electric'in Altivar 71 -malli sekä Control Techniques'in Unidrive M700 -malli. Koska molempien taajuusmuuttajien kunnossapito on ulkoistettu, niin tulevan huollon yhteydessä tullaan kysymään mahdollisuuksista tulostaa ulos taajuusmuuttajien diagnostiikkadataa. Tuleva huolto on ajoitettu keskiviikoksi 13.4.2022. Suurella näyttämöllä käytetään taajuusmuuttaja Unidrive M700 -mallia ja Pienellä näyttämöllä käytetään taajuusmuuttaja Altivar 71 -mallia.

Huollon yhteydessä kysyttiin lupa datan ulosottamiselle. Altivar-taajuusmuuttajista on saatu lupa tulostaa diagnostiikkadataa ulos. Altivar-taajuusmuuttajien diagnostiikkadatan saa tarvittaessa helposti ulos simpppelin käyttöliittymän ansiosta.

Unidrive-taajuusmuuttajista ei diagnostiikkadataa ole, mutta virhedataa pystyy katsomaan. Unidrive-taajuusmuuttajista pystyy kuitenkin vain katsomaan virhedataa 20 tunnin ajalta eikä tätä dataa pysty tulostamaan. Huollon yhteydessä kysyttiin neuvoa, miten dataa pääsisi katsomaan ja heidän ohjeistuksellansa reitti datan katsomiseen on videodokumentoitu.

7.2.2 Pyörönäyttämö

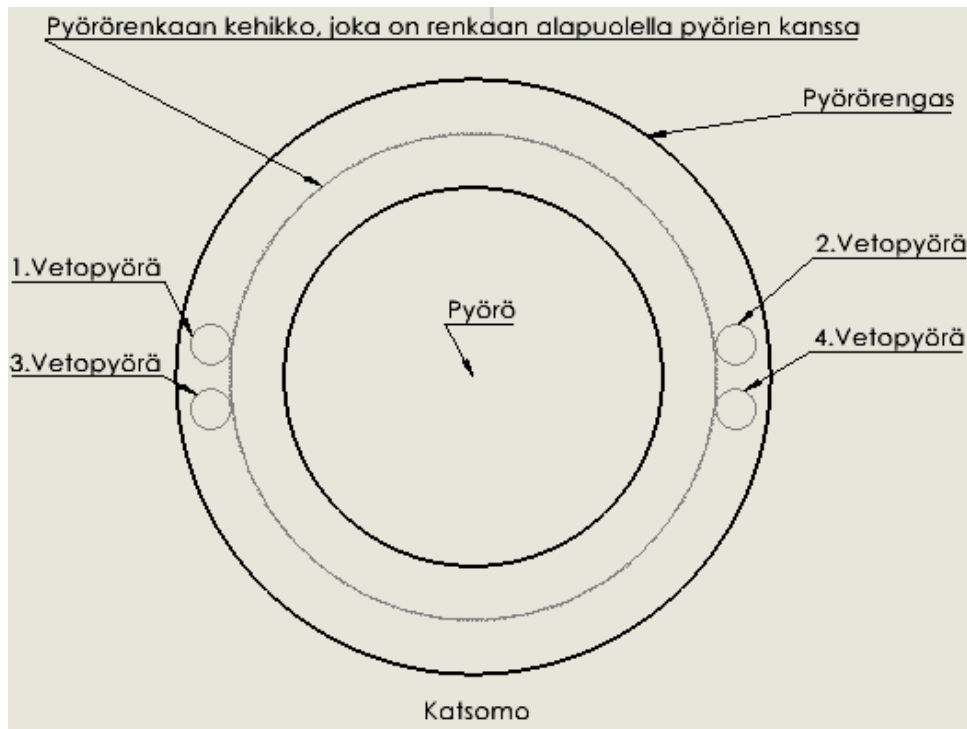
Näyttämö, jota on mahdollista pyörittää eri suuntiin sekä halutessa nostaa lavanostimilla tietyistä kohtaa. Näyttämö on kehikolla, jota pyörittää vetopyörät ja vetopyöriä pyörittää moottorit. Helsingin Kaupunginteatterin Suurella näyttämöllä on pyörönäyttämön lisäksi pyörön ulkokehällä myös pyörörengas, mitä pystyy pyörittämään eri suuntiin samanlailla kuin pyöröä. Pienellä näyttämöllä on pelkästään pyörönäyttämö.

Suuren näyttämön pyörörenkaan vetopyörien vaihto

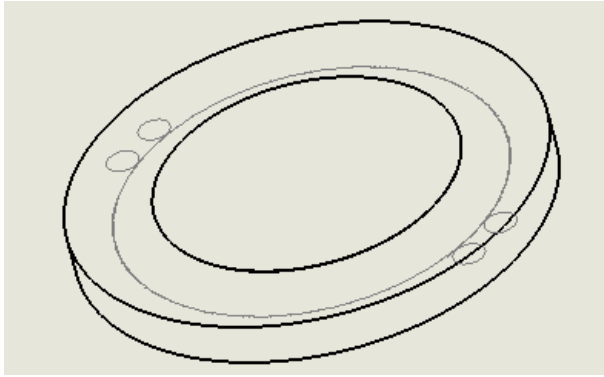
Vetopyörät ovat kosketuksessa pyörörenkaan kehikon kanssa ja ne pyörittävät kehikkoa (pyörörengasta) moottorin voimin. Pyörörenkaalla on neljä vetopyörää. Vetopyöriä on kaksi molemmin puolin (Kuva 8). Vetopyörät ja niiden pyörittämä

kehikko on lavan alapuolella (Kuva 9). Pyörönäyttämö on pitänyt jo jonkin aikaa outoa ääntä sen ollessa käynnissä ja näyttämöllä on havaittu myös hypähdyksiä. Vetopyörät päätettiin vaihtaa mahdolliseksi ratkaisuksi ongelmiin. Edellisestä vaihdosta on kulunut noin viisi vuotta.

Pyörörenkaan vetopyörien vaihtamisen vaikutusta tullaan seuraamaan ja vanhoista vetopyöristä tullaan keräämään dataa. Tarkoituksena on myös mitata tärinämittarilla pyörörenkaan tärinää uusilla vetopyörillä ja seurata mahdollista ajan tuomaa kulumaa. Tärinämittari ei kerkeä tulla ennen vetopyörien vaihtoa, joten tärinämittausta vanhoilla vetopyörillä ei pystytä tekemään.



Kuva 8. Havainnointikuva ylhäältä katsottuna pyörörenkaan vetopyöristä ja kehikosta pyörönäyttämöllä.



Kuva 9. Kehikko ja vetopyörät ovat pyörörengaslavan alapuolella.

Vanhojen vetopyörrien analysointi

Ensimmäisessä vetopyörässä näkyy kulumaa noin puolessa väliä kumia (Kuva 10). Kuluneessa osassa ei ole enää kunnolla uria ja kumi näyttää lämmenneen paljon, mikä on aiheuttanut kumiroiskeita. Pinnan ensimmäinen kerros on irtoamisillaan, mikä mahdollisesti aiheuttaa viereiselle vetopyörälle enemmän rasi-tetta (Kuva 11).



Kuva 10. Vetopyörä 1.



Kuva 11. Vetopyörä 1.

Vetopyörä numero kahdessa, kuluma on alkanut myös puolessa väliä kontaktipintaa ja kulumapinnalla näkyy myös soikion näköinen jälki (Kuva 12). Välystä on syntynyt raudan ja kumin välille (Kuva 13) eli kumia vetämällä se irtoaa hie-man rautapinnasta.

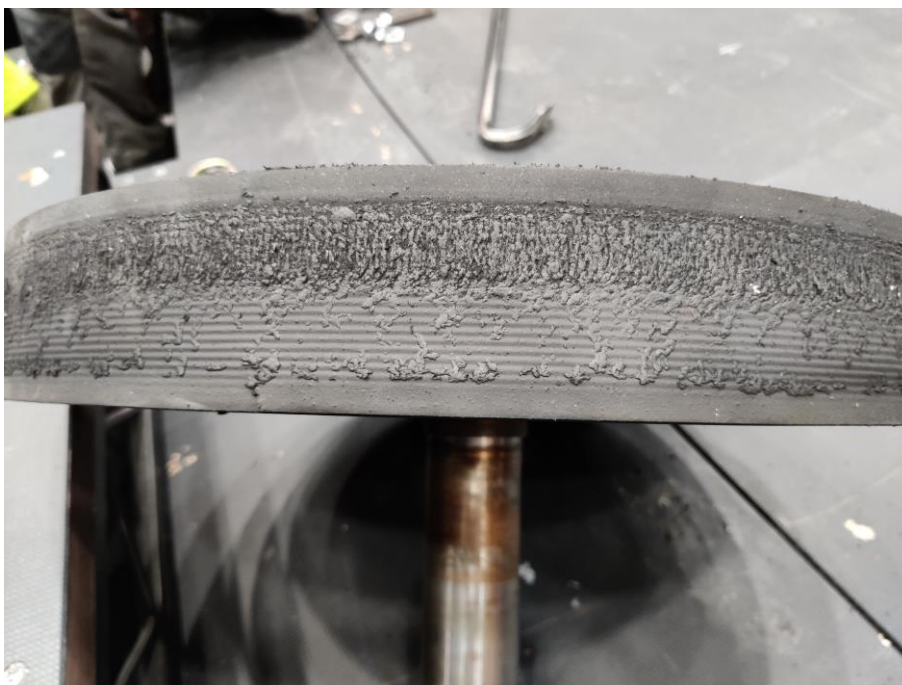


Kuva 12. Vetopyörä 2.



Kuva 13. Vetopyörä 2.

Vetopyörä numero kolme näyttää eniten vahingoittuneelta (Kuva 14). Vetopyörä kolme on vetopyörä yhden vieressä, jossa ensimmäinen kumikerros oli alkanut jo irrota. Ensimmäisen pyörän huonon kunnon takia kolmas vetopyörä on mahdollisesti joutunut tekemään enemmän työtä, kuluttaen pintaa voimakkaammin. Kumin reunasta huomaa myös viillon kaltaisen jäljen ja välystä renkaalla on myös (Kuva 15).



Kuva 14. Vetopyörä 3.



Kuva 15. Vetopyörä 3.

Vetopyörä numero neljässä kuluma on hieman ylempää kuin muissa. Kumin sulaminen on ollut voimakasta kuluneimmalla kohdalla (Kuva 16). Pinnalla näyttää myös olevan syvän viillon näköinen jälki (Kuva 17).



Kuva 16. Vetopyörä 4.



Kuva 17. Vetopyörä 4.

Vetopyörät ovat kontaktissa kehikon kanssa, mikä pyörii vetopyörien toimesta (Kuva 18). Kehikossa on reikäpaikat, jotta kehikko pysyisi kiinni. Kuvaa 19 tarkastamalla huomataan, että reiät aiheuttavat mahdollisesti kulumaa pyörille. Kulumat ovat juuri reikäkohdassa ja vetopyörissä oli jälkiä rei'istä (Kuva 20).



Kuva 18. Kehikko, jota vetopyörät pyörittävät.



Kuva 19. Kehikko ja vetopyörä kontaktissa.



Kuva 20. Kehikon reikien jättämä jälki.

Uudet vetopyörät

Uusissa vetopyörissä ei ole välystä kumin ja raudan välillä (Kuva 21) ja urat ovat hyvät kontaktipinnassa (Kuva 22). Tulevaisuudessa tullaan seuraamaan uusien vetopyörien kuntoa ja kehon reikien vaikutusta vetopyöriin.



Kuva 21. Uusi vetopyörä.



Kuva 22. Uusi vetopyörä.

Suuren näyttämön pyörönäyttämön ja -renkaan uuden nollakohtan määrittäminen

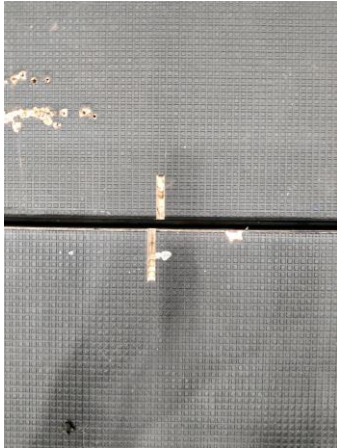
Pyörönäyttämön pyörön sekä renkaan paikkasijaintia seurataan reikänauhalla ja tämän avulla on asetettu nollakohta pyörölle sekä renkaalle. Suurella näyttämöllä pyörön- ja renkaanpinnalle on ennestään sahattu nollakohdat sirkkelillä (Kuva 23 ja 24). Fyysiset merkinnät eivät täsmää enää ohjauspaneeli lukeman kanssa vaan merkinnöissä on useiden millien heittoa. Tarkoituksena on määrittää uusi nollakohta näyttämölle ja seurata mahdollisia heittoja ajan kuluessa. Renkaalla on vaihdettu vetopyörät ja näiden mahdollista vaikutusta voidaan verrata pyörön kanssa, jolla näitä ei ole vielä vaihdettu.

Nykyiset nollakohtamerkinnät

Kuvasta 23 näkyy Suuren näyttämön pyörön ja renkaan väli, joihin on merkitty ennestään sirkkelillä nollakohtamerkinnät. Merkinnät eivät ole enää linjassa, vaan heittoa on useiden millien edestä. Kuvasta 24 näkyy Suuren näyttämön renkaasta ja sitä vastakkain olevasta liikkumattomasta tasosta. Näihin on tehty myös sirkkelillä merkintä. Merkinnät eivät ole kohdakkain enää näissäkään (Kuva 24).



Kuva 23. Näyttämön pyörön merkintä on alempana ja renkaan merkintä ylempanä.



Kuva 24. Näyttämön renkaan merkintä ylempänä ja alempana on merkintä näyttämön liikkumattomasta tasosta.

7.2.3 Mittaustavan suunnittelu näyttämöille

Mittaustapaa suunnitellessa tullaan hyödyntämään Gage R&R -menetelmää, jossa toistettavuus ja uusittavuus ovat päärooleissa. Menetelmällä etsitään viat mittaustavoista ja datan kautta parannetaan mittaustapaa. Lopullisen mittaustavan tulisi olla mahdollisimman helppo toistettavuuden ja uusittavuuden kannalta eli uudestaan mitattaessa arvot olisivat suurin pirtein samoja.

Mittausta tullaan tässä tapauksessa tekemään tärinämittarilla ja mittauskohteet tulevat olemaan pyörönäyttämöiden pyöröt ja lattianostimet sekä Suuren näyttämön pyörönäyttämön rengas. Mittaustapaa suunnitellessa vakioidut mittauskohdat tullaan sopimaan sovitusti sekä kiinnitystavat, jotta uusittavuus olisi mahdollista. Koska vetopyöriä tutkiessa huomattiin, että niiden vaihtaminen ei poistanut näyttämön pitämää ääntä tai hypähdyksiä, niin syynä on mahdollisesti pyörönäyttämön rakenteissa. Tästä syystä mittauskohdat tullaan alkuun kohdistamaan näyttämön rakenteisiin. Tärinämittarin pitäisi havaita hypähdys tärinäpiikinä, mistä voidaan sitten paikantaa hypähdyskohta. Lattianostimien kuntoa tullaan myös seuraamaan tärinämittarilla. Tärinämittarilla pystytään myös

havaitsemaan moottorien mekaanista kulumista, koska hyväkuntoisten moottorien tärinä on alhaista.

Mittaustapaa suunnitellessa tullaan tekemään näyttämöiden ohjausjärjestelmiin vakioidut ohjelmat, jotta mittausta tehdessä voisi käyttää aina samaa ohjelmarutiinia. Ohjelmarutiini näyttämöllä voi olla esimerkiksi kaksi pyörähdystä myötäpäivään ja kaksi pyörähdystä vastapäivään tietyllä nopeudella.

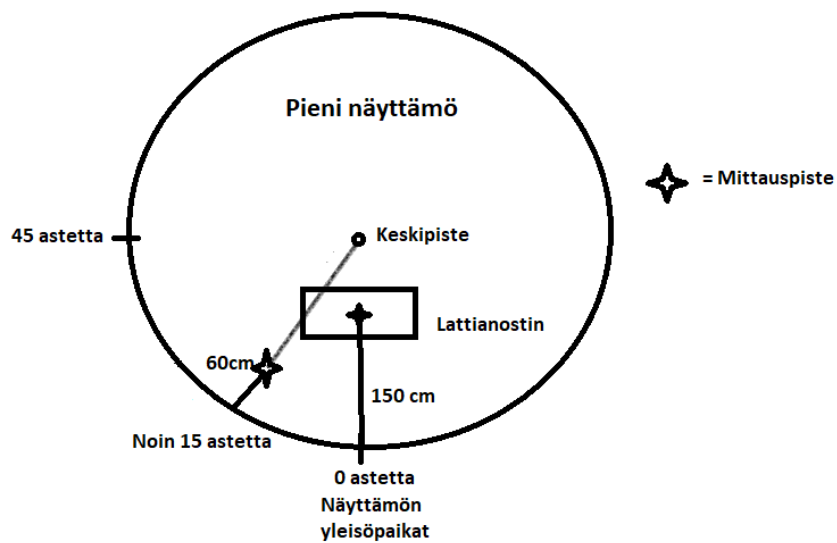
Mittauskohdat ja -ohjelmat

Kuvasta 25 näkyy Pienen näyttämön pyörönäyttämö. Mittauskohdat asetettiin ensimmäiseksi Pienelle näyttämölle kuvan 26 mukaisesti. Mittauskohta asetettiin pyörönäyttämölle kahteen kohtaan ja mittauskohtiin on tehty merkinnät tussilla. Pinnasta porattiin läpi ruuveilla tärinämittarin alustan ruuvireikämerkintöjä hyödyntäen. Tällä tavoin saadaan vakioitua mittauskohdat, jotta tulevaisuuden mittauksissa voidaan noudattaa Gage-menetelmän uusittavuus- ja toistettavuusideaa.

Mittauslaitteena käytetään alkuun PCE-VDL-tärinämittaria. Ensimmäinen mittauskohta sijoitettiin noin 15 asteen kulmaan pyörön nollakohdan ollessa yleisön puoli (Kuva 26). Asetarkkuus ei ole niin tarkka mittauspaikkaa asettaessa, koska mittauskohdat vakioidaan ruuvipaikoilla. Etäisyys sijoitettiin 60 cm päähän näyttämön reunasta mitattuna. Ensimmäisellä mittauskohdalla mitataan näyttämön tärinää XYZ-akseleilla pyörön ollessa päällä. Toinen mittauskohta sijoitettiin nostolavalle. Etäisyys sijoitettiin nostolavan puoleen väliin ja etäisyyttä lavan reunaan tästä oli 150 cm. Toisella mittauskohdalla mitataan lattianostimen tärinää XYZ-akseleilla lattianostimen mennessä alas ja takaisin ylös (Kuva 26). Lavaa ajettiin 50 % nopeudella kaksi kertaa myötäpäivään. Mittaustuloksia ei valitettavasti saatu dokumentoitua ja ajanpuutteen vuoksi mittausta ei keretty toistamaan. Merkinnät ovat kuitenkin tallella uutta mittausta varten.



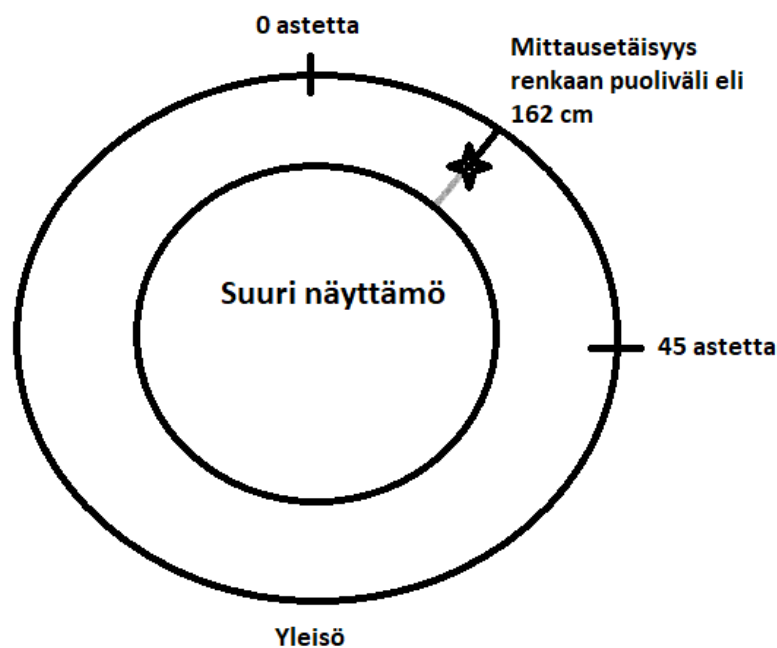
Kuva 25. Pienen näyttämön pyörölava.



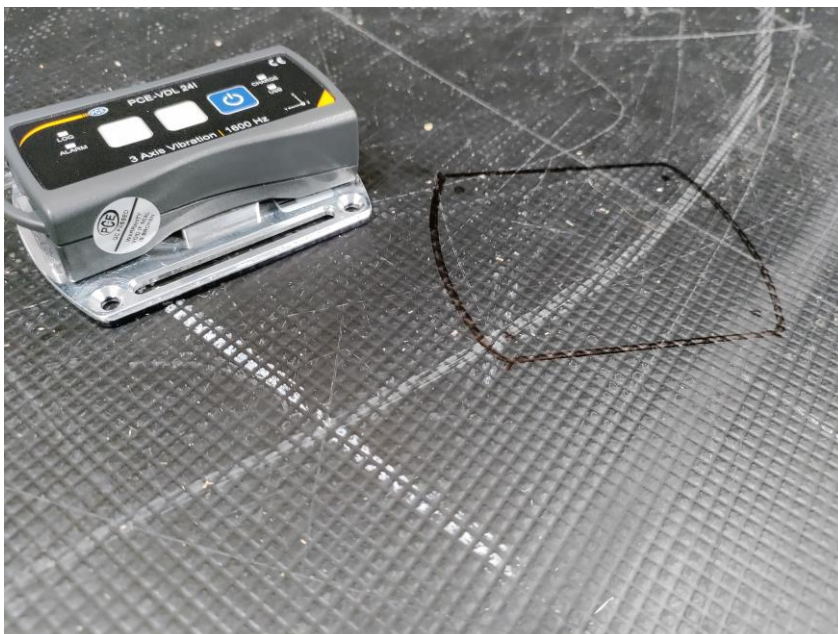
Kuva 26. Havainnointikuva Pienen näyttämön mittauskohdista.

Suurelle näyttämölle 0 aste tulee olemaan vastakkainen puoli yleisöön katsottuna (Kuva 27). Ensimmäinen piste asetettiin näyttämön renkaalle. Asteen tarkkuus ei ole niin tarkkaa kyseisen mittauksen kannalta, koska mittauspiste

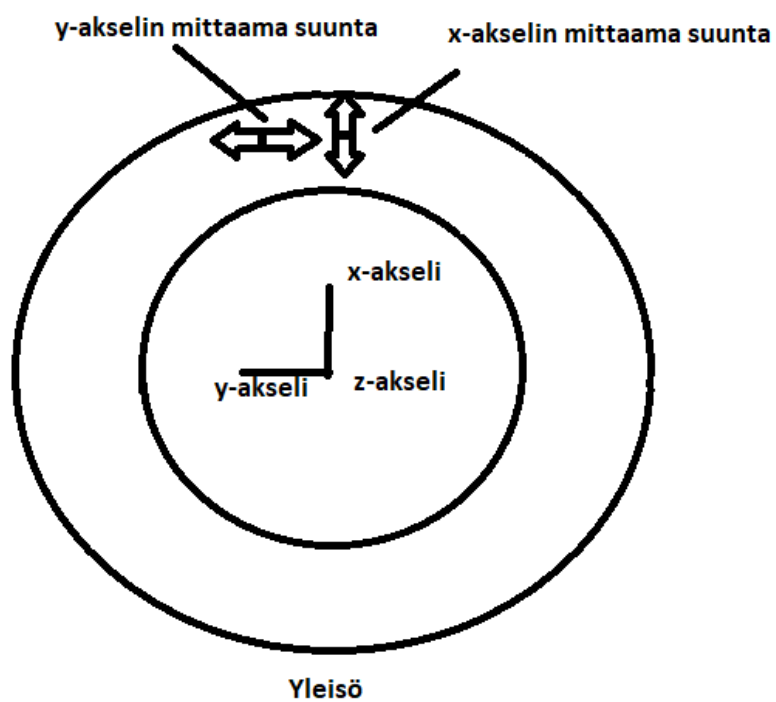
vakioidaan poraamalla ruuvipaikat tärinämittarille. Kuvasta 28 nähdään merkin-
tätapa laitteelle ja sen ruuvipaikoille. Etäisyys mittauspäälle on renkaan puoliväli eli 162 cm reunasta mitattuna. Ensimmäisellä mittaustavalla mitataan renkaan tärinää XYZ-akseleilla (Kuva 29). Mittausohjelmaksi päätettiin alkuun Suu-
relle näyttämölle kaksi kierrosta myötäpäivään nopeudella 3,2 astetta/sekun-
nissa. Lopullinen ohjelma tullaan päättämään tulevaisuudessa molemmille näyt-
tämöille. Tärinämittari on asetettu näyttämöille siten, että x-akseli mittaa ylhäältä
katsottuna ylös-alas-liikettä, y-akseli mittaa vasen-oikea-liikettä ja z-akseli mit-
taa sivusta katsottuna näyttämön ylös alas liikettä (Kuva 29). Mittausakselit on
PCE-VDL -tärinämittarin mittausakseleista katsottu (Kuva 2).



Kuva 27. Havainnointikuva Suuren näyttämön mittauskohdasta.



Kuva 28. Merkinnot tärinämittarin ruuvipaikoille.

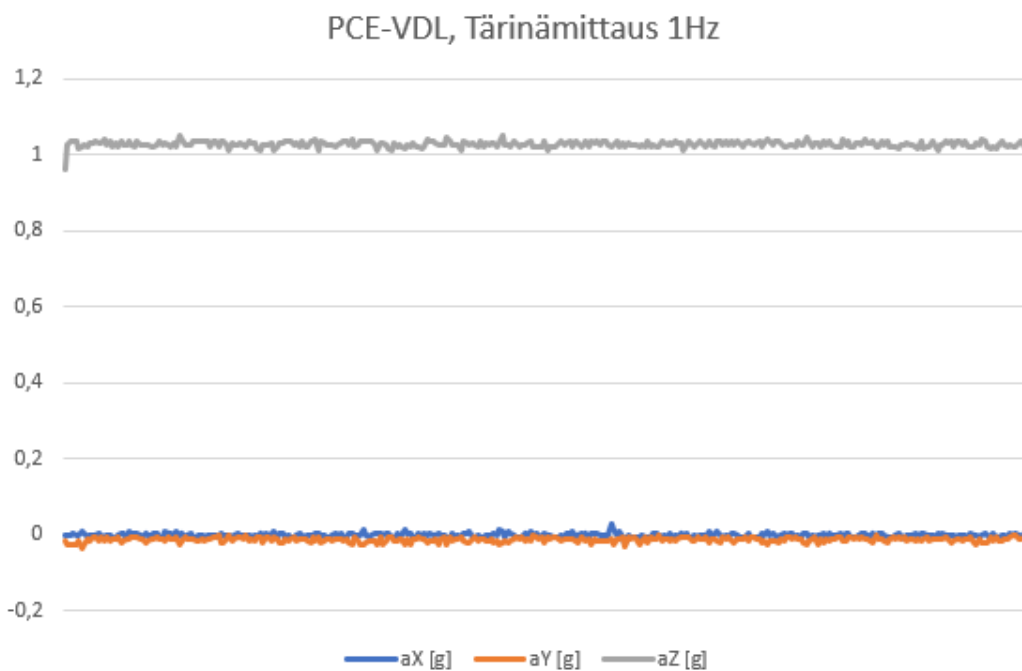


Kuva 29. Tärinämittarin mittausakselit.

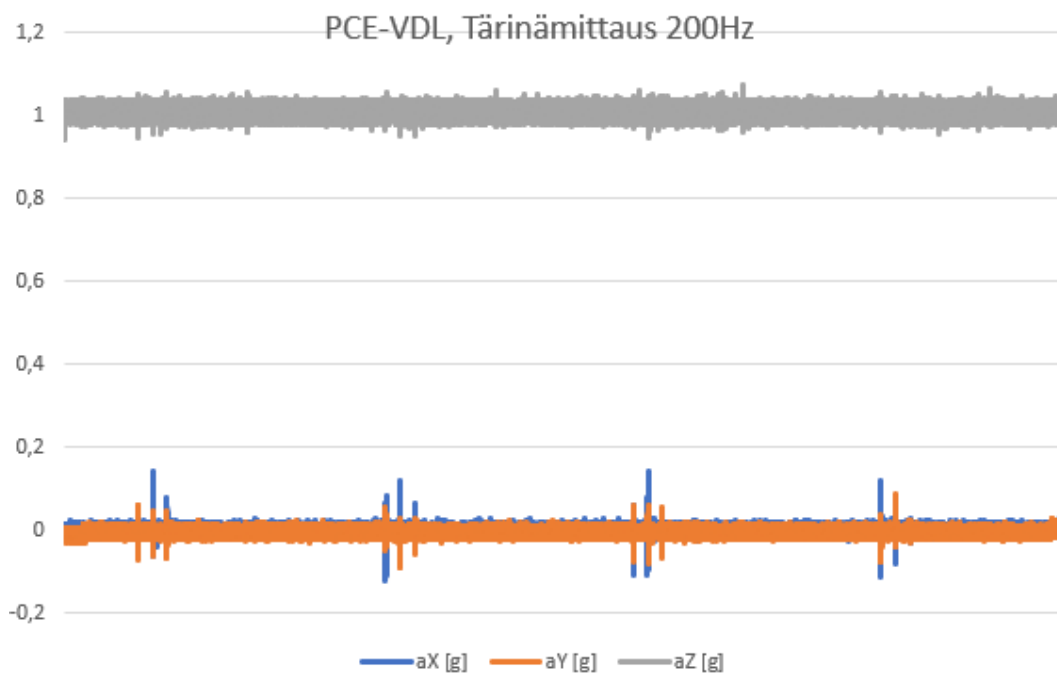
Tärinämittaus Suurella näyttämöllä

Tärinämittausta kokeiltiin ensin PCE-tärinämittarilla. Mittausherkkyyksiksi valittiin taajuudet 1 hertsiä, 200 hertsiä sekä 1600 hertsiä. 1600 on laitteen maksimiherkkyys. Tärinämittari tulostaa ulos XYZ-akselien kiihtyvyydet sekä sen keston ja kellottaa samalla ajankohdat. Kiihtyvyyksiä voidaan paikantaa ajan avulla kohta lavalla, jossa kyseinen piikki tapahtuu.

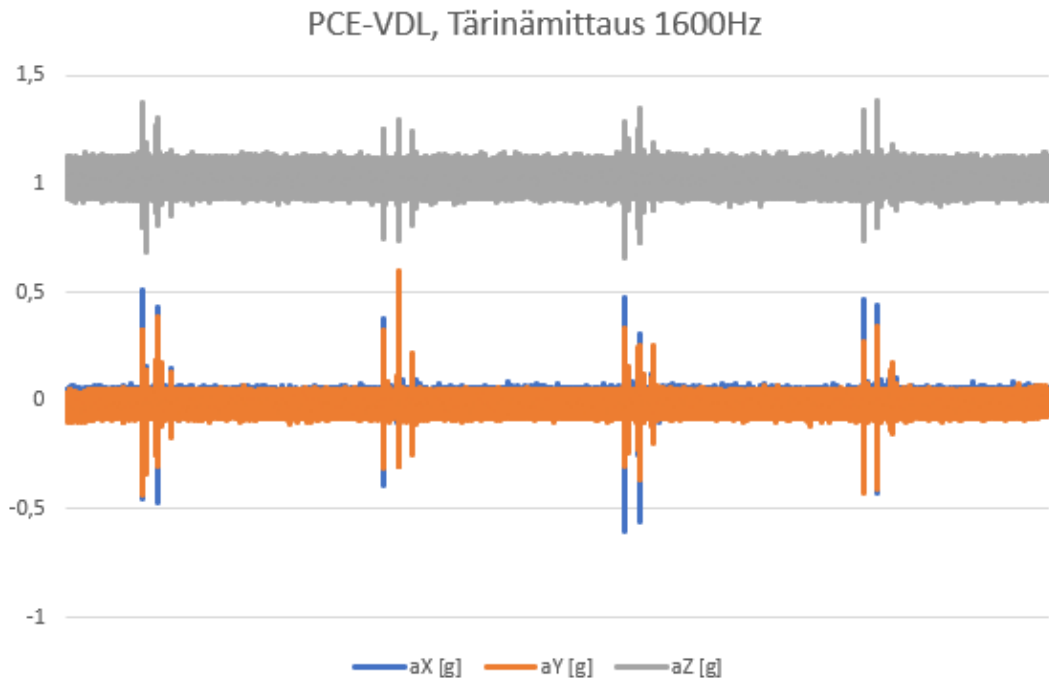
Tärinämittauksen herkkyksiä kokeiltaessa huomattiin, että kiihtyvyyksiä erotuvat huonosti 1 hertsin herkkydessä (Kuva 30). 200 hertsin herkkydessä X- ja Y-kiihtyvyyksiä näkyvät hyvin, mutta Z-kiihtyvyyksiä ei ole niin näkyvä (Kuva 31). 1600 hertsin herkkydessä jokaisen akselin piikit näkyvät hyvin (Kuva 32). Tärinämittauksen tarkoituksena oli löytää, missä kohtaa lavaa tärinä olisi suurimmillaan. 1600 hertsin herkkyydellä tärinäluvut erottuvat selvästi. Excel:stä suodatetun datan avulla pystytään paikantamaan ajankohdat korkeille tärinälukemille (Kuva 33). Ensimmäinen piikki tapahtuu noin 44 sekuntia laitteen käynnistämisen jälkeen. Korkeat tärinäarvot heittelevät noin kuuden sekunnin ajan, minkä jälkeen tärinä tasoittuu. Seuraava piikki tapahtuu noin 50 sekuntia ensimmäisen aallon jälkeen. Tämän episodin kesto on noin seitsemän sekuntia. Kolmas aalto tapahtuu 50 sekuntia toisen loppumisen jälkeen ja se kestää myös noin seitsemän sekuntia. Viimeinen aalto tapahtuu myös 50 sekuntia edellisen loppumisen jälkeen ja kestää noin kahdeksan sekuntia. Kuvaajassa näkyy lavan pyörimisen kaksi kierrosta, joten kolmas ja neljäs piikki on seuraavan kierroksen piikkejä. Piikkien ajankohdiksi saadaan 44, 100, 157 ja 214 sekunnin ajankohta käynnistämisen jälkeen. X-akselia katsoessa huomataan, että rengas heilahtaa voimakkaasti edestakaisin ja heilahtaa myös piikeissä voimakkaasti kohti renkaan ulkokehää sekä kohti pyöröä. Y-akselia katsoessa nähdään yllättävän paljon liikehdintää sivuttaisliikkeessä eli liikkeenjättämää syntyy piikkien kohdalla. Z-akselia seurattaessa nähdään, että ylös alas liikettä syntyy piikkien kohdalla, mutta ääripäät eivät eroa toisistaan paljoa. Muissa akseleissa piikkien kasvu ja lasku on jyrkempää (Kuva 32).



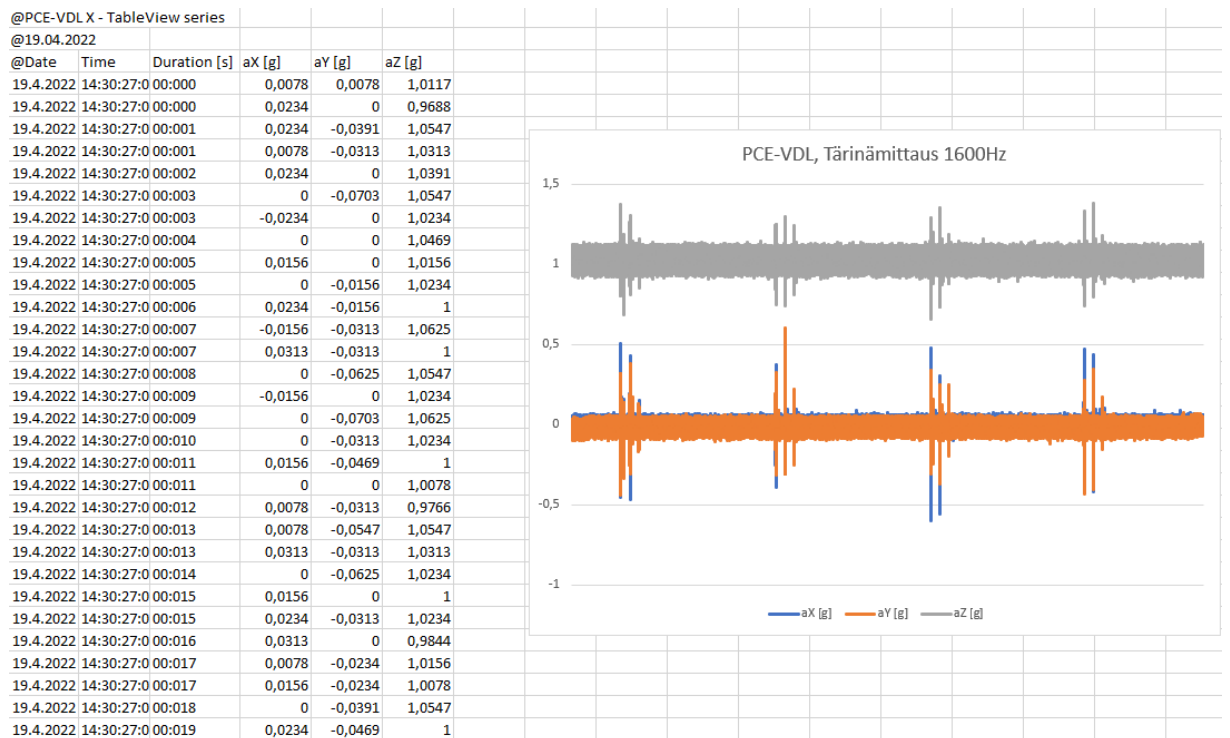
Kuva 30. Yhden hertsin tärinämittauksen käyrä PCL-VDL -tärinämittarilla



Kuva 31. 200 hertsin tärinämittauksen käyrä PCL-VDL -tärinämittarilla



Kuva 32. 1600 hertsin tärinämittauksen käyrä PCL-VDL -tärinämittarilla



Kuva 33. Tärinämittarin tulostama data Excel:ssä.

8 Yhteenveto

Suuren näyttämön pyörönäyttämön renkaalla kuului vetopyörien kohdissa ääntä sekä hypähdyksiä renkaan ollessa liikkeellä. Vetopyörät vaihdettiin siinä toivossa, että renkaalla kuuluva ääni ja hypähdykset saataisiin loppumaan. Uusiin pyöriin vaihto ei valitettavasti poistanut näitä, joten syy ei ollut vetopyörissä. Vaikka vaihto ei poistanut ääntä, niin vanhoista vetopyöristä pystyttiin kuitenkin keräämään hyvää tarvittavaa dataa. Vanhoissa vetopyörissä nähtiin runsaasti kulumaa kontaktipinnan puolella välissä. Kuluman oli aiheuttanut kehikko, jota pyörät pyörittävät. Kehikossa on reiät, jotka eivät ole sileitä ja ne aiheuttavat kulumaa pyörille niiden pyöriessä. Pyörissä näkyi selvästi reikien jättämiä jälkiä sekä pyörien kulumat ovat juuri samalla tasolla reikien kanssa. Useissa pyörissä alkoi näkyä välystä kumin ja raudan välillä sekä osissa päällimmäinen kerros oli irtoamaisillaan. Kulumisen jälkiä oli nähtävillä selvästi, joten uusiin vetopyöriin vaihto oli tarpeellinen. Renkaan vetopyörät oli vaihdettu viimeksi viisi vuotta sitten. Uusissa vetopyörissä näkyy jo kuukauden käytön jälkeen reikien jättämät jäljet, mutta kulumista ei ole vielä havaittavissa. Tulevaisuudessa on tarkoitus seurata uusien vetopyörien kulumista ja kerätä tästä dataa. Pyörien kunnossapitoa varten pyörien pyörittämisen kehikon reikien hionta olisi mahdollisesti hyvä ratkaisu pyörien kulumisen hidastamista ajatellen. Kehikon reiät eivät ole sileitä, mitkä aiheuttavat kulumista pyörillä.

Näyttämön nollapistettä ei ajanpuutteen vuoksi keretty määrittämään uusiksi. Selvä fyysinen nollakohdan muutos on nähtävillä, joten tulevaisuudessa olisi hyvä määrittää näyttämön nollakohdat uusiksi ja seurata mahdollisia muutoksia. Nollakohdat tultaisiin määrittämään uusiksi Suuren näyttämön pyörölle sekä renkaalle. Suuren näyttämön renkaalla on vaihdettu uudet vetopyörät ja niiden vaikutusta nollakohdan muutokseen voitaisiin verrata pyörön nollakohdan muutokseen, koska pyöröllä vetopyöriä ei ole vielä vaihdettu. Jos näkyvää eroa ei tapahdu pyörön ja renkaan välillä, niin vetopyörillä ei ole todennäköisesti osuutta asiaan. Anturoinnit täytyy katsoa, jos vetopyörien vaihdolla ei nollakohdan pysyminen toteudu. Tulevaisuudessa on myös tarkoitus tutkia samanlailla Pientä näyttämöä.

Ajanpuutteen vuoksi tärinämittaus pystyttiin tekemään vain Suuren näyttämön renkaalle. Tästä huolimatta tärinämittaaminen antoi hyvää ja selvää dataa näyttämön vahvasta tärinäpiikeistä ja tätä dataa pystytään implementoimaan tulevaisuuden mittauksissa. Mittausten tarkoituksena oli paikantaa suuret tärinäpiikit XYZ-akseleilla ja tässä onnistuttiin. Tulevaisuudessa on tarkoitus mitata renkaan tärinän lisäksi alla olevan rakenteiden tärinää sekä pyörön tärinää ja sen alla olevien rakenteiden tärinää. Lavanostimien tärinää on myös tarkoitus mitata koska niillä on myös havaittu vahvaa tärinää. Tärinämittausta tullaan myös tekemään Pienellä näyttämöllä muun muassa sen pyöröllä sekä lavanostimella. Datan keräämisen jälkeen voidaan alkaa paikantamaan kohteita tarkemmin ja tutkimaan paikannettuja kohteita ja tätä kautta niiden kuntoa.

Mittaustapoja kehiteltiin Gage R&R -menetelmää käyttäen, jossa päämääränä on mittaustapojen uusittavuus sekä toistettavuus. Tätä menetelmää hyödyntäen päätettiin tärinämittari porata kiinni alustastaan suoraan näyttämöiden alustaan ja merkitä akselisuunnat pintaan, jotta mittausta ei muuttuisi toisen henkilön tehdessä mittauksia. Tarkoituksena on, että mittauksen pystyisi suorittamaan mahdollisimman helposti. Tulevaisuudessa pystytään kiinnittämään laite myös magneetilla kiinni runkoon, kun rungosta tehdään tärinämittauksia. Tällöin merkinnät voidaan merkitä esimerkiksi tussilla, jotta mittausta ei muutu. Mittausta varten tullaan myös tekemään ohjelmarutiinit lavojen ohjausjärjestelmiin, jotta mittaustavat pysyisi tulevaisuudessa samanlaisena. Tärkeintä on pitää mittaustapa mahdollisimman helppona ja yksinkertaisena toistettavuuden ja uusittavuuden kannalta, jotta hyvää dataa saataisiin ulos.

Taajuusmuuttajissa tärkeimpänä tehtävänä oli selvittää olisiko mahdollista päästä katsomaan sekä tulostamaan ulos niiden diagnostiikkadataa. Huoltojen yhteydessä saatiin luvat laitehankkijoilta datan katsomiseen molemmista taajuusmuuttajamalleista. Altivar-malleissa saatiin lupa myös datan ulos tulostamiseen. Unidrive-malleista ei ollut diagnostiikkadataa, vaan virhedataa. Virhedataa ei pystytä tulostamaan ulos, mutta sitä pystytään katsomaan. Virhedataa pystytään katsomaan vain 20 tunnin ajalta. Jatkossa on siis mahdollista seurata taajuusmuuttajien dataa ja tarvittaessa pyytää ennenaikaisia huoltoja

virheilmoitusten ollessa vakavia. Altivar-malleista diagnostiikkadatan keräämiseen on hyvät ohjeet tuoteselostesivuilla ja Unidrive-malleihin saatiin ohjeistus datan katsomiseen, mikä myös dokumentoitiin videon avulla. Diagnostiikkadatan ei päästy analysoimaan, mutta luvat ja ohjeistukset on saatu datan keruuta varten. Taajuusmuuttajaongelmat ovat kuitenkin harvinaisia, mutta nyt niitä osataan seurata ja tällä tavoin ehkäistä tulevia ongelmia ajoitetuilla tarkastuksilla.

TPM:n kehitystä tullaan jatkamaan tulevaisuudessa eteenpäin. Teatterin operaattorit ovat päässeet koulutukseen sertifioidun henkilön kanssa ja tästä on tarkoitus kehittää TPM:ää eteenpäin kohti tehokasta sekä ennakoivaa kunnossapitoa. Koulutuksessa päästiin puhumaan tärkeistä aiheista, kuten nostolaitteiden tarkastuksesta, kunnossapidosta, ennakoivasta huollosta sekä dokumentoinnista. TPM-projektin tarkoituksena on saada tiiviimpi yhteistyö talon eri solujen välille sekä lähteä kehittämään dokumentointia eteenpäin, joka helpottaa tulevaisuudessa laitteiston ennakoivassa kunnossapidossa. Laitteiden kunnonseurantaan kehitetty Excel-pohja tulee auttamaan ongelmien dokumentoinnissa sekä tulee auttamaan kaikkia pysymään samalla kartalla.

Lähteet

- 1 Aaltonen, Pietu. 2019. Tutkiva kirjoittaja ammattikorkeakoulussa. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 2 Benham, D.; Czubak, F.; Down, M.; Gruska, G. & Stahley, S. 2010. Measurement Systems Analysis Reference Manual. 4. uudistettu painos. Southfield: AIAG.
- 3 Burke, E. & Silvestrini, R. 2017. The Certified Quality Engineer Handbook. 4. uudistettu painos. Milwaukee: ASQ.
- 4 Extech instruments – 3-Axis G-force datalogger > http://www.ex-tech.com/products/resources/VB300_UM-en.pdf > Luettu 19.01.2022
- 5 Halonen, Allan. 2012. Näyttämömekaniikka. Metropolia Ammattikorkeakoulu: Metropolian koulutusmateriaali.
- 6 Helsingin Kaupunginteatteri > <https://hkt.fi/tietoa-teatterista/> > Luettu 12.1.2022
- 7 Hyvärilä, Jari; Pauliina, Mattila; Parikka, Hanna; Saarela, Elisa & Wirkkala, Petri. 2019. Luotettava mittausprosessi. Centria-ammattikorkeakoulu. Kokkola: Centria kirjasto- ja tietopalvelu.
- 8 Järviö, Jorma; Piispa, Taina; Parantainen, Timo & Åström, Thomas. 2007. Kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy.
- 9 Kauppila, Jenna & Ylinen, Timo. 2017. Sähköasennukset 3. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 10 Kinnunen, S. 2018. Mittausten luotettavuuden varmistaminen (MSA). Ylivieska: Centria-ammattikorkeakoulu Oy.
- 11 Lean and Six Sigma > <https://www.isixsigma.com/dictionary/gage-rr/> > Luettu 10.02.2022
- 12 Leica Disto™ D5 – The original laser distance meter > https://shop.leica-geosystems.com/sites/default/files/2019-03/leica_disto_d5_user_manual_en.pdf > Luettu 14.02.2022

- 13 PCE_VDL 24I – Tärinäanalysointilaite > https://www.elbecon.fi/tiedostot/PCE-VDRL_24I_Tarinalaite.pdf > Luettu 14.02.2022