

Kunnonvalvonnan oppimisympäristön suunnittelu

Eerikki Fröblom

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Konetekniikka
Insinööri (AMK)

KEMI 2014

ALKUSANAT

Haluan kiittää työn toimeksiantajaa Aslak Siimestä Lapin ammattikorkeakoulun tekniikan TKI-osastolta työn aiheesta, sekä ohjaajiani Arja Kotkansaloa sekä Jaana Tarvaista saamastani erinomaisesta ohjauksesta ja hyvistä neuvoista.

Haluan myös kiittää kaikkia, jotka ovat tavalla tai toisella auttaneet ja olleet tukena tämän opinnäyteprosessin, sekä koulun loppuun saattamisen aikana.

Keminmaa 27.5.2014

Eerikki Fröblom

TIIVISTELMÄ

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU, Teollisuus ja luonnonvarat

Koulutusohjelma:	Kone- ja tuotantotekniikka
Opinnäytetyön tekijä:	Eerikki Fröblom
Opinnäytetyön nimi:	Kunnonvalvonnan oppimisympäristön suunnittelu
Sivuja:	41
Päiväys:	27.5.2014
Opinnäytetyön ohjaajat:	Insinööri (YAMK) Arja Kotkansalo ja Insinööri (YAMK) Jaana Tarvainen
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella Lapin ammattikorkeakoulun Kemmin teollisuuden ja luonnonvarojen yksikön erästä oppimisympäristöä siten, että siellä voitaisiin suorittaa erilaisia kunnonvalvonnan mittauksia. Oppimisympäristön suunnittelussa mittalaitteiden käyttö rajattiin tässä työssä oppimisympäristössä oleviin keskipakopumppuun ja sähkömoottoriin.</p> <p>Opinnäytetyössä syvennyttiin keskipakopumpun ja sähkömoottorin rakenteeseen, toimintaan sekä näissä esiintyviin prosessisuureisiin. Työssä selvitettiin myös pumppussa ja moottorissa ilmenevät yleisimmät viat ja niiden aiheuttajat. Työssä tutustuttiin vika- ja vaikutusanalyysiin (VVA) sekä vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysiin (VVKA).</p> <p>Mittalaitteet rajattiin koskemaan värähtelymittauslaitteistoa, lämpökameraa sekä stroboskooppiä. Oppimisympäristöön oli tarkoitus suunnitella opiskelijoille ohjeet näiden mittalaitteiden mahdolliseen käyttöön sekä pohtia sitä, kuinka näitä laitteita voitaisiin käyttää turvallisesti oppimisympäristössä. Lisäksi työssä mietittiin millaista pohjatietoa opiskelija tarvitsee suoriutuakseen kyseisistä kunnonvalvonnan mittauksista.</p> <p>Opinnäytetyössä saatiin laadittua suuntaa antavat ohjeet kunnonvalvonnan värähtelymittauksille, lämpökamerakuvaamiseen sekä stroboskoopin käyttöön. Opinnäytetyössä mietittiin oppimisympäristön turvallisuuteen liittyviä asioita. Työssä laadittiin suppeat vika- ja vaikutusanalyysit pumpulle ja moottorille sekä vika-, vaikutus-, ja kriittisyysanalyysit. Työssä tuotiin myös esille Lapin ammattikorkeakoulun tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminnassa kehitetty kunnonvalvontaan liittyvä mobiilisovellus ja sen mahdollinen hyödyntäminen oppimisympäristössä.</p>	
<p>Asiasanat: kunnonvalvonta, keskipakopumppu, vaihtosähkömoottori, VVA, VVKA värähtelymittaus, lämpökamera.</p>	

ABSTRACT

LAPLAND UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Technology

Degree programme:	Mechanical and Production Engineering
Author:	Eerikki Fröblom
Thesis title:	Design of Condition Monitoring Learning Environment
Pages:	41
Date:	27 May 2014
Thesis instructors:	Jaana Tarvainen, M.Eng and Arja Kotkansalo, M.Eng
<p>The purpose of this study was to design a learning environment for the Unit of Industry and Natural Resources at Lapland University of Applied Sciences to enable performing a variety of condition monitoring measurements. The condition monitoring measurements were limited to concern only centrifugal pump and electric motor in the learning environment.</p> <p>The study focused specifically on the structure and functions of the centrifugal pump and electric motor, including also the related process variables. This study also identified the most common faults in the pump and in the motor and the reasons behind the problems. In this study a closer look was taken at the Failure Models and Effects Analysis (FMEA) and to the Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA)</p> <p>Measuring equipment was limited to the vibration measuring devices, thermal imaging camera and stroboscope. The focus of this study was to design guidelines for this learning environment which would help students to use these measuring devices properly and first and foremost carry out the tasks safely. In addition, this study also takes into account what kind of basic knowledge students will need to be able to perform these condition monitoring tasks.</p> <p>As a result, this study provides directional guidelines for how to use condition measuring devices like vibration measurements, thermal imaging and stroboscope safely in the school's learning environment. Compact Failure Models and Effects Analysis (FMEA) and Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA) relating to the pump and motor were also introduced. The mobile application for the condition monitoring developed at Lapland University of Applied Sciences is mentioned in this study as well as the possible use in the learning environment.</p>	
<p>Keywords: condition monitoring, centrifugal pump, electric motor, FMEA, FMECA, vibration measurement, thermal imaging camera.</p>	

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 OPPIMISYMPÄRISTÖN TEORIAA	8
3 VESIPROSESSI	9
4 TUTKITTAVAT LAITTEET.....	12
4.1 Keskipakopumput ja niiden yleisimmät viat	13
4.2 Vaihtosähkömoottorit ja niiden viat	15
5 MITTAUKSET KUNNONVALVONNASSA	17
5.1 Koneiden värähtelyiden mittaaminen	17
5.2 Lämpötilojen mittaaminen	18
5.3 Stroboskoopin käyttö kunnonvalvonnassa	18
6 KUNNOSSAPIDON TIETOJÄRJESTELMÄT	19
6.1 Artturi-kunnossapitotietokortisto	20
6.2 Artturi-ennakkohuoltosovellus	20
7 VV -JA VVK- ANALYYSIT	22
8 PUMPUN JA MOOTTORIN VV- JA VVK-ANALYYSIT	25
9 OPPIMISYMPÄRISTÖN SUUNNITTELU	28
9.1 Työturvallisuus	28
9.2 Värähtelymittausten suunnittelu	29
9.3 Stroboskoopin käytön suunnittelu	33
9.4 Ohjeet lämpökamerakuvaukseen	34
9.5 Mobiililaitteen hyödyntäminen visuaalisessa tarkastuksessa	39
10 POHDINTA	40
LÄHTEET	41

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

VVA	Vika- ja Vaikutusanalyysi (FMEA = Failure Modes and Effects Analysis)
VVKA	Vika-, Vaikutus- ja Kriittisyysanalyysi (FMECA = Failure Mode, Effects and Criticality Analysis)
TKI	Tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta (Research and development)

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on kehittää oppimisympäristöä Lapin ammattikorkeakoulun Kemin teollisuuden ja luonnonvarojen yksikön prosessiautomaatiolaboratorioon siten, että siellä voitaisiin tulevaisuudessa suorittaa prosessissa olevien koneiden kuntoon liittyviä kunnonvalvontamittauksia erilaisia mittalaitteita apuna käyttäen. Aiheen työlle antoi Lapin ammattikorkeakoulun yhteydessä toimiva tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminnan kunnossapitoryhmä.

Työssä on tarkoitus tutustua prosessiautomaatiolaboratorion vesiprosessiin yleisesti, jotta saataisiin käsitys, millaisessa ympäristössä tutkittavat laitteet sijaitsevat ja mikä on niiden rooli prosessissa. Oppimisympäristön suunnittelu rajataan koskemaan ainoastaan vesiprosessissa olevaa pumppuyksikköä, johon kuuluu keskipakopumppu ja tämän käytönä toimiva vaihtovirta sähkömoottori. Työssä tutustutaan näiden laitteiden rakentamiseen ja niissä vaikuttaviin prosessisuureisiin.

Työssä selvitetään pumppuyksikön yleisimmät viat ja syyt, jotka aiheuttavat kyseisiä vikoja. Opinnäytetyössä tutustutaan vika- ja vaikutusanalyysiin sekä vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysiin ja kokeillaan, kuinka näitä analysointimenetelmiä voitaisiin hyödyntää oppimisympäristön suunnittelun apuvälineenä.

Työssä suunnitellaan kuinka oppimisympäristöön käyttöönotettavia kunnonvalvonnan mittalaitteita käytetään. Tässä työssä mittalaitteina ovat värähtelymittauslaitteisto, lämpökamerakuvaus, sekä pysäytyskuvan muodostava ja kierroslukuja ilmaiseva stroboskooppi. Lisäksi työssä huomioidaan tutkimus- ja kehitysyksikössä kehitetty mobiilisoluvellus aistinvaraiseen kunnonvalvontaan ja se, kuinka sitä voidaan hyödyntää kunnossapidontietojärjestelmän kanssa oppimisympäristössä suoritettavaan kunnonvalvontakierrokseen. Työssä kartoitetaan millaisen pohjakoulutuksen oppilas tarvitsee, jotta hän voi käyttää mittalaitteita oppimisympäristössä. Työssä selvitetään oppimisympäristön työturvallisuuteen liittyviä asioita siten, että mittalaitteiden käyttö olisi turvallista.

2 OPPIMISYMPÄRISTÖN TEORIAA

Oppimisympäristö koostuu oppimiseen liittyvästä fyysisestä ympäristöstä, psyykkisistä tekijöistä ja sosiaalisten suhteiden kokonaisuudesta, jossa erilaisten asioiden opiskelu ja oppiminen tapahtuvat. Fyysiseen oppimisympäristöön voidaan liittää koulun rakennukset, tilat, opetusvälineet ja opiskelumateriaalit. Tilat ja välineet joilla oppimista edesautetaan, tulee järjestää siten että niitä voidaan käyttää monipuolisesti hyväksi opetuksessa. Oppimisympäristön varustuksen tulee olla sellainen, että se tukee oppilaan kehittymistä nykyaikaisen tietoyhteiskunnan jäseneksi. (Opetushallituksen www-sivut 2014, Hakupäivä 9.5.2014.)

Oppimisympäristön tulee olla fyysisesti, psyykkisesti ja sosiaalisesti turvallinen. Oppimisympäristön on myös tuettava oppilaan oppimismotivaatiota, uteliaisuutta ja tarjota oppilaille kiinnostavia ongelmatilanteita ja haasteita jotka edesauttavat oppilasta arvioimaan tavoitteitaan ja toimintaansa. Oppimisympäristössä olisi suotavaa sekin, että se edistäisi vuoropuhelua opettajan ja oppilaan välillä sekä ohjaisi oppilaita työskentelemään ryhmässä. Tavoitteena olisi kiireetön, avoin, rohkaiseva ja myönteinen ilmapiiri kaikille oppimisympäristössä osana oleville. (Opetushallituksen www-sivut 2014, Hakupäivä 9.5.2014.)

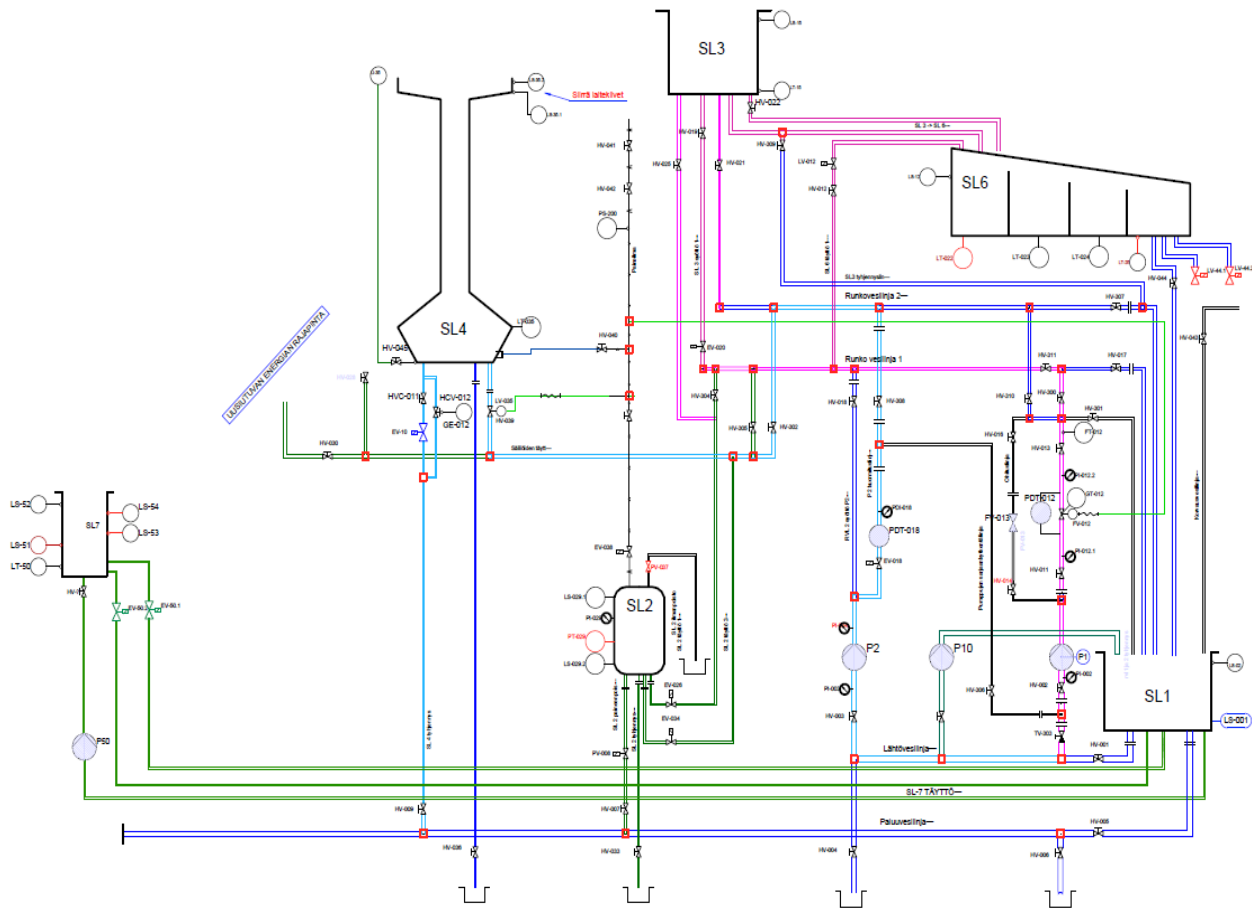
3 VESIPROSESSI

Lapin ammattikorkeakoulun teollisuuden ja luonnonvarojen Kemin yksikössä luokassa delta 1150 sijaitsee prosessiautomaatiolaboratorio, jonka osana toimii vesiprosessi. Vesiprosessissa on tarkoitus opettaa oppilaille prosessiautomaatiota ja väylätekniikkaa. Tulevaisuudessa prosessiautomaatiolaboratoriossa tullaan opettamaan oppilaille koneiden kunnossapitoa ja kunnonvalvontaa. (Leinonen 2012.)

Automaatiolaboratorio voidaan jakaa kahteen osaan, joita ovat valvomo ja prosessihuone. Prosessihuoneessa sijaitsee itse vesiprosessi (kuva 1), joka koostuu erilaisista säiliöistä, putkistoista ja kentälaitteista. Valvomossa sijaitsevat erilaiset ohjelmoitavat logiikat ja prosessiasemat, joilla prosessia voidaan ohjata. Kuvassa kaksi on esitettyinä koko vesiprosessin PI-kaavio. (Leinonen 2012.)

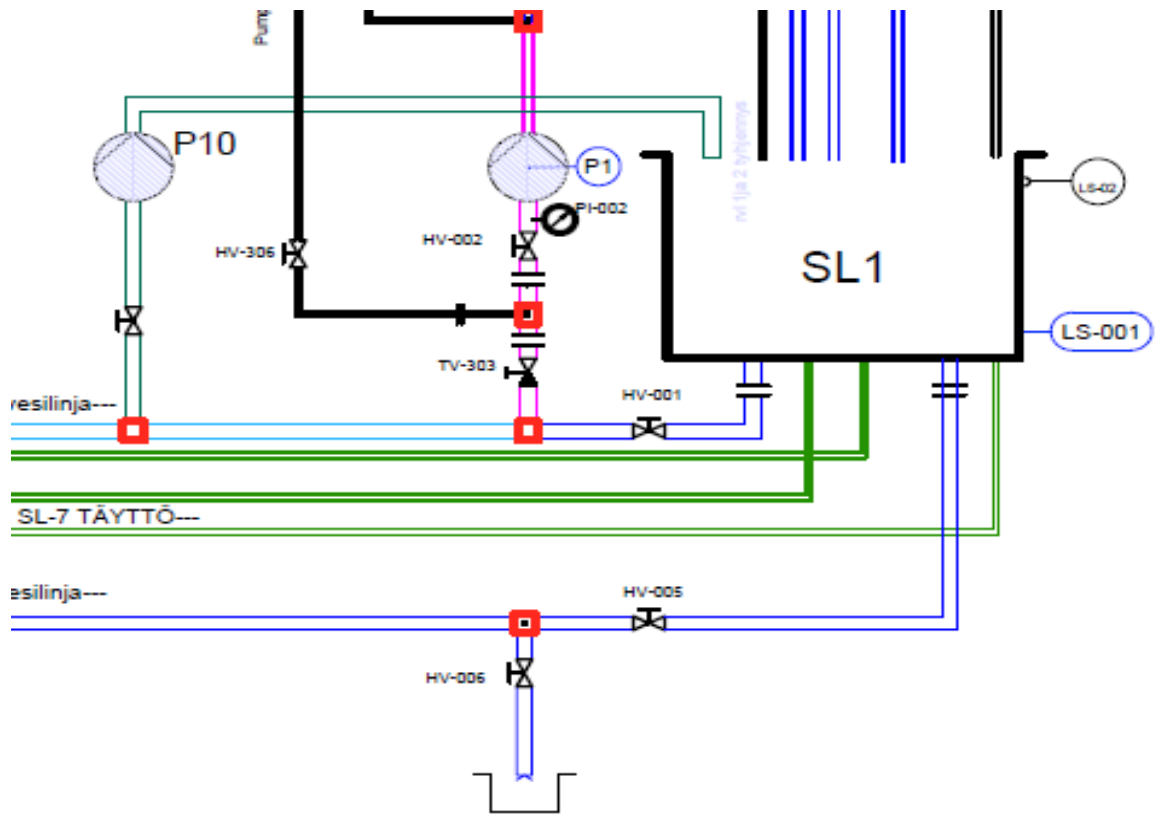


Kuva 1. Vesiprosessi.



Kuva 2. Vesiprosessin PI-kaavio. (Maronen 24.10.2013, sähköpostiviesti.)

Kuvassa kolme näkyy pumpun sijainti vesiprosessissa, joka on nimetty PI-kaaviossa nimellä P10. PI-kaaviosta myös selviää, että pumppu P10 kierrättää vettä säiliöstä SL1 pois ja takaisin. Pumpun imuputkistossa on venttiili HV-001.



Kuva 3. Pumppu P10, säiliö SL1 sekä venttiili HV-001. (Maronen 24.10.2013, sähköpostiviesti.)

4 TUTKITTAVAT LAITTEET

Tässä opinnäytetyössä keskeisimpinä laitteina ovat keskipakopumppu sekä vaihtovirta sähkömoottori. Sähkömoottori toimii tässä sovelluksessa keskipakopumpun käyttönä. Pumpun tarkoitus on pumpata vettä pois säiliöstä ja takaisin. Opinnäytetyössä keskitytään tutkimaan pumpun ja sähkömoottorin toimintaa ja näissä esiintyviä vikoja sekä niiden kunnonvalvontaa.

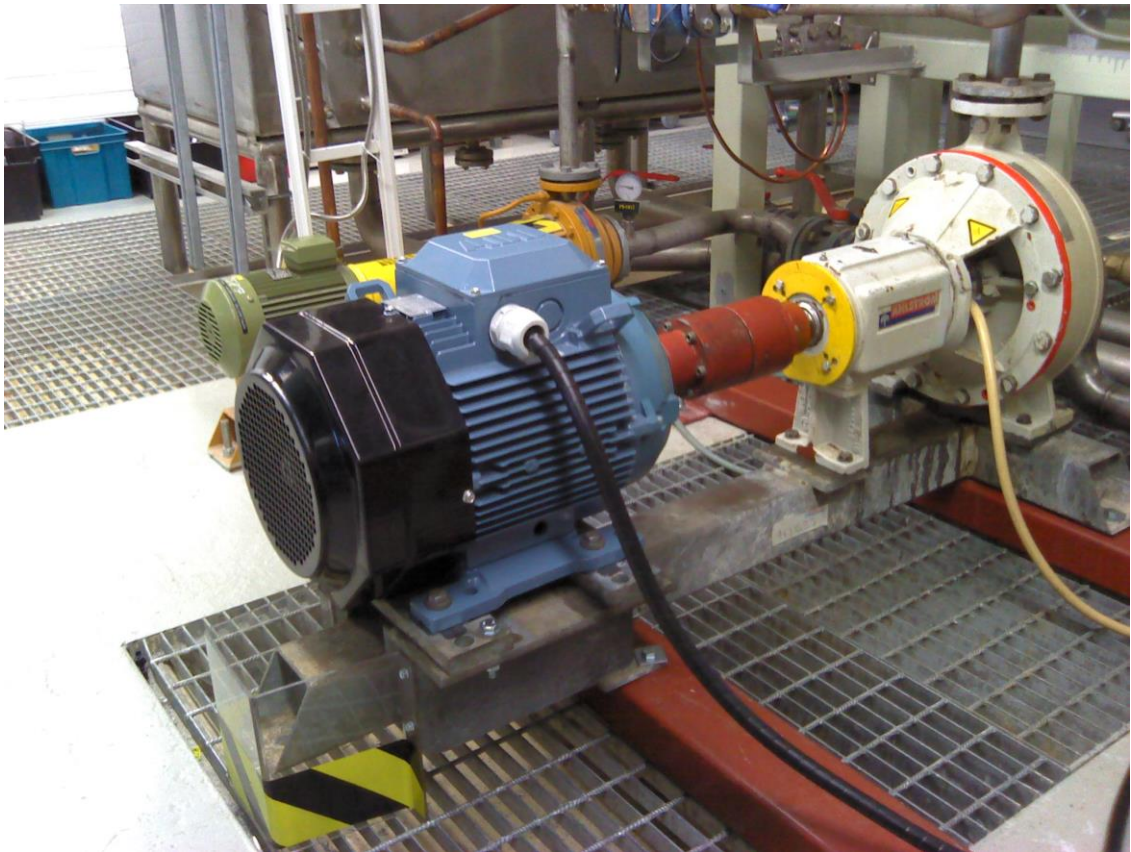
Keskipakopumpun ja sähkömoottorin muodostama pumppuyksikkö on teollisuudessa yleisesti käytetty tapa siirtää nesteitä paikasta toiseen. Alla olevista taulukoista 1 & 2 löytyy moottorin ja pumpun keskeisimmät tiedot. Kuvassa neljä esiintyvät tässä opinnäytetyössä kyseessä olevat pumppu ja sähkömoottori. Oppimisympäristön sähkömoottoria ohjataan taajuusmuuttajalla.

Taulukko 1. Sähkömoottorin tekniset tiedot.

Merkki ja malli	ABB M2AA 160 MLA 4
Teho P (kW)	11
Jännite U (V)	400
Taajuus f (Hz)	50
Pyörimisnopeus n (r/min)	1463
Virta I (A)	20,7

Taulukko 2. Pumpun tekniset tiedot.

Merkki ja malli	Ahlström APP 23-40
Nostokorkeus H (m)	25
Tilavuusvirta Q (l/s)	6
Pyörimisnopeus n (r/min)	1430



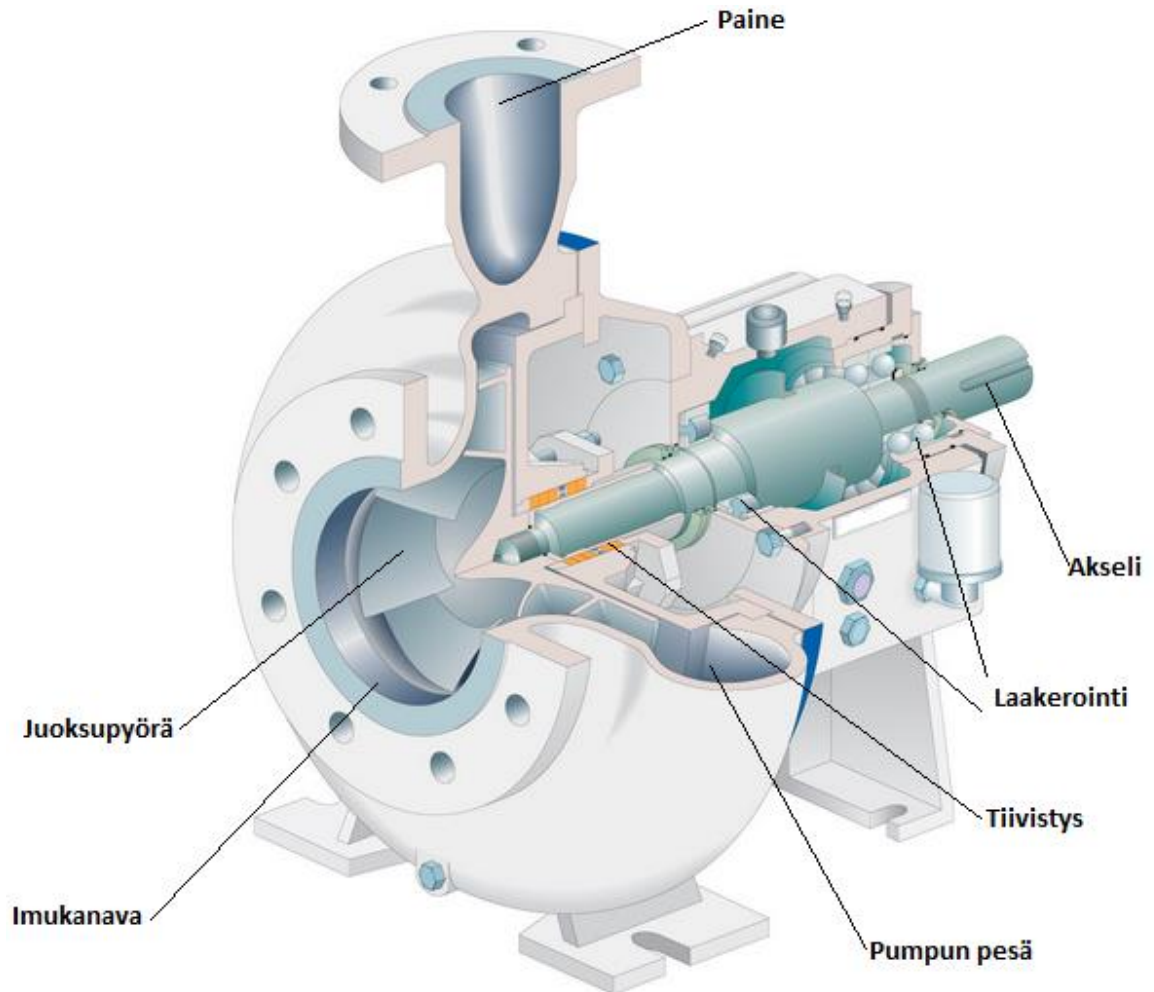
Kuva 4. ABB sähkömoottori ja Ahlström pumppu.

4.1 Keskipakopumput ja niiden yleisimmät viat

Keskipakopumput toimivat siten, että pumpun akseli välittää tehon kytkimeltä pumpun juoksupyörään. Pumpun tehdessä sille määrättyä työtänsä sen juoksupyörä antaa nesteelle nopeuskomponentin, joka on pyörän tangentin suuntainen. Lisäksi neste saa juoksupyörässä tietyn paineen lisäyksen, joka johtuu pyörän nesteeseen aiheuttamasta keskipakovoimasta. Näin neste tunkeutuu putkistoon voittaen korkeuseron, virtausvastukset ja paineen, joita se kohtaa matkallaan. Kun neste poistuu paineistuneena juoksupyörän kehältä, juoksupyörän keskelle virtaa kokoajan uutta nestettä imuputkistoa pitkin ilmakehän paineen vaikutuksesta ja pumpun tuottaman imun avulla. Näin ollen pumpun läpi kulkee nestettä jatkuvana virtana ensin imuputkistosta juoksupyörälle, jonka kehältä se siirtyy pumpun pesään, josta se painuu paineputkea pitkin pois. (Wirzenius 1968, 52.)

Pumpun pyörivän akselin ja pesän väli täytyy tiivistää, ettei neste pääsisi pois pesästä akselin reiän kautta tai että pesään menisi ilmaa. Tiivistys tapahtuu tiivisteillä, jotka on sijoitettu omaan tiivistepesäänsä akselin ympärille. (Wirzenius 1968, 53.)

Pumpun pesä on yhdistetty pulteilla laakeripesään, jossa akseli pyörii laakerien kannatella sitä. Näin keskipakopumpusta on kehittynyt aikojen saatossa kuvan viisi kaltainen rakennelma, joka kuvaa tyypillistä keskipakopumpun rakennetta. (Wirzenius 1968, 52.)



Kuva 5. Keskipakopumppu (Directindustry www-sivut 2014, hakupäivä 8.5.2014.)

Yksi pumpun yleinen vika on akselitiivisteiden kuluminen. Akselitiiviste on herkkä viikaantumisille, mikäli pumpun käytössä tai ohjauksessa ilmenee ongelmia. Ongelmana voidaan pitää sitä, että pumpussa ei ole nestettä eli pumppua ajetaan kuivana, jolloin akselitiiviste voi vaurioitua. Muita syitä akselitiivisteiden kulumiselle voi olla pumpattavan nesteen epäpuhtaus, tämä voi olla haitaksi pumpun tiivisteelle. Lisäksi tiiviste voi vaurioitua sen takia että se on asennettu väärin asennuspaikalla. (Toikka 2013, 4.)

Juoksupyörän kuluminen voi olla myös ongelman aiheuttaja pumppausprosessissa. Juoksupyörä kuluu yleensä silloin kun pumppua käytetään väärässä toimintapisteessä, väärässä pyörimisnopeudessa tai että juoksupyörä on täysin väärän tyyppinen, väärän

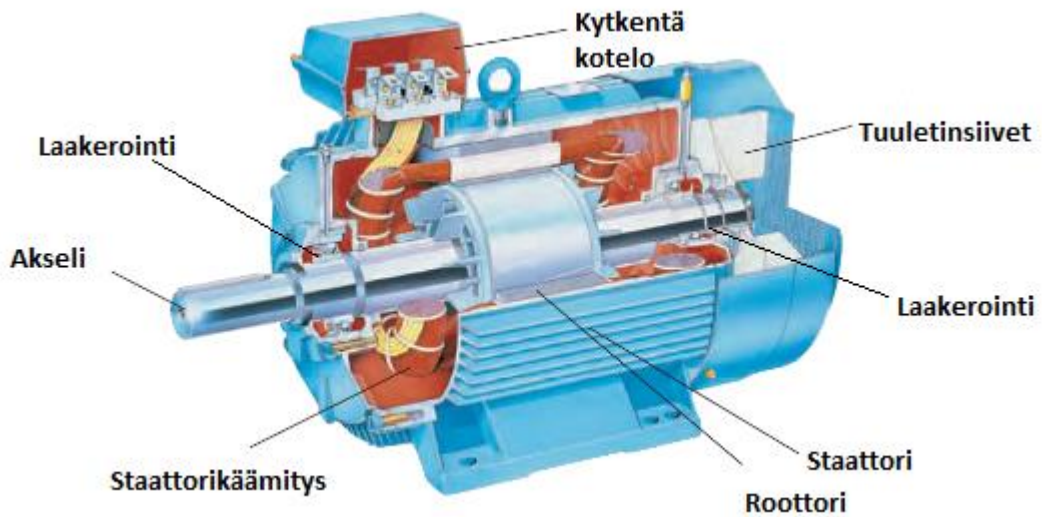
kokoinen tai väärästä materiaalista. Kaikki mainitut ovat yhteydessä siihen, että tarvittavat lähtötiedot puuttuvat pumppua tilattaessa tai lähtötiedot on valittu väärin. (Toikka 2013, 4.)

Pumpun vikaantumiseen liittyy myös vahvasti se, että pumppu on asennettu väärin lopukäyttöpaikalle. Asennuksessa ilmeneviä ongelmia voivat olla linjauksen puute, huono alustaan kiinnitys ja putkiston huono tuenta. Linjauksen puutteen takia pumpun osat kuluvat voimakkaammin, kuin silloin jos linjaus suoritetaan onnistuneesti. Kun putkisto on hyvin tuettu, pumppuun ei kohdistu sitä kautta ylimääräisiä vääntäviä voimia. Pumppu täytyy olla myös hyvin kiinnitetty alustaansa. (Toikka 2013, 4.)

Pumpussa olevat laakerit ovat myös alttiita vikaantumaan ennenaikaisesti mikäli pumpun asennuksessa, huollossa tai käytössä ilmenee virheitä. Näitä virheitä ovat yleensä kytkimen ja moottorin linjauksessa tapahtuva vahinko jolloin laakereihin kohdistuu ylimääräisiä voimia akselin pyöriessä. Pumpun voitelun puute tai liiallinen voitelu voivat myös osaltaan edesauttaa laakeroinnin hajoamista ennenaikaisesti. Myös veden joutuminen laakeripesään painepesun yhteydessä voi koitua laakereiden kohtaloksi mm. korroosion muodossa. (Toikka 2013, 5.)

4.2 Vaihtosähkömoottorit ja niiden viat

Oikosulkumoottori toimii magneettikentän ja moottorissa olevien virtaa sisältävien johtimien välisten vuorovaikutuksien seurauksen perusteella. Oikosulkumoottori on rakenteeltaan varsin yksinkertainen sisältäen akselin laakereineen, roottoreineen ja tuuletinsiipineen. Itse moottorin runko koostuu staattorista sekä moottorin sähköliitännöistä. Kuvassa kuusi on esitettyä oikosulkumoottorin rakenne. (ABB www-sivut 2014, hakupäivä 21.5.2014.)



Kuva 6. Oikosulkumoottori. (Enggcyclopedia www-sivut 2014, hakupäivä 9.5.2014.)

Epätahtimoottoreissa yleisimpiä vikoja ovat laakeri- ja käämiviat, jotka aiheuttavat kunnossapitotöitä sähkömoottoreissa. Käämivika voi syntyä esimerkiksi moottorin käynnistyksen yhteydessä, jos esimerkiksi moottori on ollut varastoituna kosteassa ja staattorikäänneihin on kerääntynyt siten kosteutta. Käämityksen saavuttaessa kastepisteen sen eristysvastusarvo romahtaa, jolloin käämityksessä syntyy erilaisia oikosulkuja. Eristysvastusmittauksilla käyttöönoton yhteydessä voidaan varmistua siitä, että moottorin eristyskyky on riittävä. (Valtonen 2013, 7.)

Toisenlainen käämivika voi syntyä kun taajuusmuuttajakäytössä olevaan moottoriin syötetään suurella nousunopeudella jännitepulsseja. Nämä pulssit aiheuttavat käämin pinnalle osittaispurkauksia ja käämi vanhenee näin ennenaikaisesti. Joskus käämitys saattaa löystyä, joka saattaa viitata moottorin värähtelyihin. Joten on tärkeää tarkistaa moottorin käämityksen kunto silloin tällöin. (Valtonen 2013, 8.)

5 MITTAUKSET KUNNONVALVONNASSA

Koneiden ja laitteiden komponentit sekä niiden todennäköiset vikaantumismekanismit määrittävät ne kunnonvalvontatekniikat, joita kunnonvalvonnassa hyödynnetään. Täydellinen kunnonvalvonta vaatii sen, että koneiden ja laitteiden kuntoa seurataan usealla niille sopivilla laitteilla. Tavallisimmin koneiden kuntoa valvotaan värähtelymittauksilla. Värähtelyiden seurannan lisäksi varteenotettavia valvontatekniikoita ovat mm. lämpötilojen seuranta, visuaaliset tarkastukset, öljyanalysit sekä sähkötekniset kunnonvalvontamenetelmät. (Mikkonen & Kautto 2009, 162.)

Vikojen tunnistaminen on tärkeää, että voidaan ajoittaa mahdolliset korjaustoimenpiteet järkevästi. Ajoituksessa on tärkeää, että tietyn tyyppisen vian ilmetessä voidaan pysäyttää toiminto saman tien ja miettiä korjausajankohtaa, ennen kuin laite kerkeää hajoamaan lopullisesti. Joissakin tapauksissa pelkkä säätö- tai voitelutoimenpide korjaa tilanteen, jonka jälkeen laitteen käyttöä voi jatkaa. (Mikkonen, Jantunen, Miettinen, Leinonen, Kautto & Lumme 2009, 297.)

Kunnonvalvonnan suunnittelu sisältää seuraavia vaiheita PSK 5705 standardin mukaan:

- Määritetään koneiden kriittisyys laitoksessa ja niiden kunnonvalvonnan tarve.
- Valitaan koneille soveltuvat valvontamenetelmät.
- Suunnitellaan valvontamenetelmien toteutettavuus.
- Laaditaan kunnonvalvontasuunnitelma, joka selventää:
 - o valvontatekniikoita ja menetelmiä sekä raja-arvoja
 - o aikaa suoritettavien mittausten välillä
 - o mittaustoiminnan käytännön suunnittelua
 - o tulosten dokumentointia, raportointia ja seuranta. (Mikkonen & Kautto 2009, 162.)

5.1 Koneiden värähtelyiden mittaus

Pyörivissä koneissa esiintyy värähtelyitä niiden käydessä. Värähtelyillä on omat herätteensä, jotka johtuvat erilaisista voimista, jotka puolestaan johtuvat laitteen normaalista toiminnasta, kuten koneen valmistuksessa ja asennuksessa ilmenevistä epätarkkuuksista. Värähtelyitä aiheuttavat myös erilaiset viat koneissa esimerkiksi epätasapaino, joka

saattaa johtua jonkin osan kulumisesta tai osan vaurioitumisesta. (Mikkonen & Miettinen & Jantunen 2009, 224.)

5.2 Lämpötilojen mittaaminen

Lämpötilojen mittaamista käytetään yleisesti teollisuudessa suojaus- ja hälytysjärjestelmissä. Kun lämpötila kappaleessa nousee, niin samalla materiaali laajenee ja aiheuttaa rakenteeseen lämpöjännityksiä. Mikäli lämpötila nousee esimerkiksi akselin toisessa päässä liikaa, voi akseli taipua kuten myös toisesta päästä lämmennyt koneen runko. Näin ollen on tärkeää seurata koneiden lämpötiloja että ne pysyvät sallituissa rajoissa, mikäli lämpötilat alkavat nousta jossakin liikaa on syytä tarkastella lämmön nousun aiheuttajaa. (Miettinen, Leinonen, Riutta, Heinonen & Kokko 2009, 439.)

Lämpötilaa voidaan mitata ainetta koskevalla menetelmällä tai koskemattomalla menetelmällä. Koskettavia menetelmiä ovat yleisimmin metallivastusanturit ja termopariaanturit. Koskemattomaa menetelmää käytettäessä mitataan kappaleen lähettämää lämpösäteilyä. Koskemattomia mittaamenetelmiä ovat infrapunalämpömittarit ja lämpökamerat. (Miettinen, Leinonen, Riutta, Heinonen, Kokko 2009, 439.)

5.3 Stroboskoopin käyttö kunnonvalvonnassa

Kunnonvalvonnassa voidaan käyttää niin sanottuja aisteihin perustuvia havaintoja. Näiden havaintojen pohjalta voidaan arvioida laitteiden kuntoa, joka on ollut aiemmin ainoa tapa suorittaa kunnonvalvontaa. Mainittakoon tässä ihmisillä olevia aisteja, jotka soveltuvat laitteiden kunnonvalvontaan ovat näköaisti, kuuloaisti, tuntoaisti ja hajuaisti. (Miettinen, Leinonen, Riutta, Heinonen, Kokko 2009, 418.)

Näkyvissä olevien pyörivien osien kunnan tarkkailuun voidaan käyttää stroboskooppia. Stroboskooppi toimii siten, että sen välkkymistaajuus asetetaan vastaamaan koneen pyörimis- tai värähdystaajuutta, jolloin saadaan aikaiseksi niin sanottu pysäytyskuva. Pysäytyskuvasta voidaan tehdä näköhavaintoja pyörivästä kohteesta. Stroboskoopilla voidaan tarkistaa myös koneen kierrosluku ja pyörimissuunta. (Miettinen, Leinonen, Riutta, Heinonen, Kokko 2009, 448.)

6 KUNNOSSAPIDON TIETOJÄRJESTELMÄT

Kunnossapitojärjestelmät ovat tietojärjestelmiä, joiden päätehtävänä on määritellä tehtaan tai laitoksen kunnossapitotoimenpiteet ja ajoittaa ne suoritettavaksi oikea-aikaisesti kunnossapito-ohjelmien tai määriteltyjen tapahtumien pohjalta. Kunnossapitojärjestelmät voivat myös hyödyntää kunnonvalvontajärjestelmiltä saatua tietoa. Kunnossapitojärjestelmät pitävät huolen toiminnanohjauksesta sekä materiaalivirtojen hallinnasta, jotta voitaisiin minimoida tuotantojärjestelmien seisonta-ajat ja varmistaa että tuotanto toimii odotetulla tavalla. (Edu www-sivut, hakupäivä 26.5.2014.)

Kunnossapitojärjestelmät keräävät myös kulutietoja käytetystä työvoimasta ja materiaaleista ja näin on helpompi aikatauluttaa ennakoivaa kunnostamista ja huoltamista. Kunnossapitojärjestelmiä voivat käyttää sekä tehtaan oma henkilöstö, että kunnossapitoyritykset. Näin järjestelmään saadaan kerättyä hyödyllistä tietoa korjattavista tai huollettavista kohteista, jotta työn suunnittelu ja toteutus onnistuisi helpommin seuraavilla keroilla. Kuva seitsemän selventää kunnossapidon tietojärjestelmään liittyviä asioita. (Edu www-sivut, hakupäivä 26.5.2014.)



Kuva 7. Kunnossapidon tietojärjestelmään liittyviä asioita. (Edu www-sivut, hakupäivä 26.5.2014.)

6.1 Artturi-kunnossapitotietokortisto

Artturi on Tamperelaisen Solteq Oyj tarjoama kunnossapitotietojärjestelmä. Artturi sisältää kunnossapitokortiston, johon voi syöttää tiedot kohteista, joita on tarkoitus kunnossapitää ja huoltaa. Kortisto on kokonaisuus, jolla on oma hierarkiansa. Sieltä nähdään laitepaikkojen, eri laitteiden, varaosien sekä asiakirjojen väliset suhteet siinä määrin, kuin tietojen haun ja huoltotoiminnan seurannan puitteissa on ollut järkevää perustaa ne järjestelmään. Kortisto luo rungon koko kunnossapitotietojärjestelmälle. (Artturi ohje Solteq Oyj 2007,3.)

Kortiston luomishetkellä kannattaa miettiä mitkä ovat suurimpia laiteryhmiä, joten kannattaa perustaa niitä varten omat korttiryhmit. Mallikortit voi luoda esimerkiksi pumpeille ja sähkömoottoreille. Mallikorteille voi valmiiksi liittää halutut tietokentät (ketut). Artturista löytyy valmiit tietokentät kortteihin, joihin sisältyy standardiin PSK 5941 liittyviä tietoja esimerkiksi standardinomaiset mittasuureet + mittayksiköt esim. (Teho kW). (Artturi ohje Solteq Oyj 2007,28.)

Artturissa voidaan laitepaikkaan liittää sähköisessä muodossa olevia tiedostoja esimerkiksi kuvia, käyttöohjeita, Excel-taulukoita liitetiedostona ja niiden auki saaminen riippuu kyseisten liitteiden tiedostomuodoista. On tärkeää, että huolehditaan kortiston tietojen ajan tasalla pysymisestä kortiston luonnin jälkeen. (Artturi ohje Solteq Oyj 2007,33.)

6.2 Artturi-ennakkohuoltosovellus

Artturissa oleva ennakkohuoltosovellus on suunniteltu valvonta- ja hälytysjärjestelmäksi, sekä rekisteriksi säännöllisesti toistuviin ennakkohuoltoihin, kunnonvalvontaan, voiteluhooltoon tai esimerkiksi kalibrointiin. Sovelluksen tietoja voidaan muokata vallitsevaa tilannetta vastaavaksi jo silloin, kun saadaan palautetta työn suorituksista. Silloin järjestelmän laatimat huoltotyölistat ja työmääräimet vastaavat tehtaan/laitoksen todellista tilannetta. (Artturi ohje Solteq Oyj 2007,4.)

Artturi ennakkohuoltosovellus osaa myös ajoittaa huollot sille annetuin erillisin perustein, esimerkiksi käyttötunteihin perustuvassa ohjauksessa, jolloin sovellukseen täytyy tallentaa käyttötunteja määrääjain, jotta ajoitus onnistuisi. Muitakin perusteita on mah-

dollista asettaa. Ennakkohuolto on mahdollista suunnata mille tahansa Artturista löytyvään kohteeseen. Tarvittaessa voidaan työ kohdistaa moneen laitteeseen yhtäaikaaisesti. Työhön voidaan tallentaa työn nimen lisäksi esimerkiksi tarvittavat työ-ohjeet, työn kuvaus, suorittavan huoltoryhmän tunnus, vetäjä sekä työn ajoitus. Ajoitettuja töitä voidaan myös hakea järjestelmästä ja kuitata ne. (Artturi ohje Solteq Oyj 2007,4.)

Kriittisyydellä kuvataan riskin suuruutta, joka ilmenee tarkasteltavassa kohteessa. Kohde määritellään kriittiseksi, mikäli siihen liittyvä riski koskee loukkaantumista, aineellista vahinkoa, tuotannon menetystä tai muuta ei hyväksyttävää seurausta. Laitetasolla kriittisyyttä voidaan laskea taulukon neljä kertoimien avulla. Taulukosta saadaan kertoimia kriittisyyden laskemisen avuksi sekä kaava, jolla lasketaan kriittisyysindeksi. Taulukko jakaa riskien tekijöitä erilaisiin osiin, joita ovat turvallisuusriskit, ympäristöriskit, tuotannonvaikutusriskit sekä korjauskustannus- tai seurauskustannusriskit. (PSK 6800, hakupäivä 21.5.2014.)

Taulukko 4. Laitetason kriittisyyden kertoimet (PSK 6800, hakupäivä, 21.5.2014.)

Kohde	Painoarvo [W]	Vikaantumisväli [p]	Kerroin [M]	Valintakriteeri
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit $W_s = 30$	1 = Pitkä vikaantumisväli esimerkiksi yli 5 vuotta 2 = Pitkähkö vikaantumisväli esimerkiksi 2 – 5 vuotta 4 = Lyhyehkö vikaantumisväli esimerkiksi 0,5 – 2 vuotta 8 = Lyhyt vikaantumisväli esimerkiksi 0 – 0,5 vuotta	$M_s = 0$	Ei turvallisuusriskiä
			$M_s = 2$	Vähäinen turvallisuusriski
			$M_s = 4$	Kohtalainen turvallisuusriski
			$M_s = 8$	Merkittävä turvallisuusriski
			$M_s = 16$	Vakava turvallisuusriski
	Ympäristöriskit $W_e = 20$		$M_e = 0$	Ei ympäristöriskiä
			$M_e = 2$	Vähäinen ympäristöriski
			$M_e = 4$	Kohtalainen ympäristöriski
			$M_e = 8$	Merkittävä ympäristöriski
			$M_e = 16$	Vakava ympäristöriski
Tuotantovaikutukset	Tuotannon menetyks $W_p = 0 \dots 100$	$M_p = 0$	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle	
		$M_p = 1$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi (esimerkiksi ≤ 3 h)	
		$M_p = 2$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi (esimerkiksi ≤ 10 h)	
		$M_p = 3$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi (esimerkiksi 10 - 24 h)	
		$M_p = 4$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi (esimerkiksi > 24 h)	
	Laatukustannus $W_q = 30$	$M_q = 0$	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatukustannuksia.	
		$M_q = 1$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 1 h)	
		$M_q = 2$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 3 h)	
		$M_q = 3$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 3-8 h)	
		$M_q = 4$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 8 h)	
Korjaus- tai seurauskustannukset $W_r = 20$	$M_r = 0$	Korjauskustannuksilla tai seurauskustannuksilla ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin.		
	$M_r = 1$	Vähäiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 2 h)		
	$M_r = 2$	Keskinkertaiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 10 h)		
	$M_r = 3$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä (esimerkiksi 10-24 h)		
		$M_r = 4$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 24 h)	

Lopullinen kriittisyysluokittelu voidaan tehdä taulukon muodossa, joka antaa tulokseksi laitteiden kriittisyysindeksit sekä kriittisyyden osaindeksit. Kriittisyysluokittelu tehdään taulukon viisi mukaiselle pohjalle. (PSK 6800, hakupäivä 21.5.2014.)

8 PUMPUN JA MOOTTORIN VV- JA VVK-ANALYYSIT

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus tehdä pumpulle ja moottorille VVA ja VVKA. Vika- ja vaikutusanalyysihin on kerätty vain muutamia vikoja, joita voi ilmaantua oppimisympäristössä. Taulukoissa kuusi ja seitsemän on tehty vika- ja vaikutusanalyysit vesiprosessissa oleville pumpulle ja moottorille. Nämä analyysit tulevat toivottavasti päivittymään ajan saatossa.

Taulukko 6. Esimerkki VVA keskipakopumpulle.

Laite	Tehtävä	Vioittumistapa	Vian aiheuttaja	Vian vaikutus		Vian havaitseminen	Varokeinoja
				Paikalliset vaikutukset	Vaikutukset koko järjestelmän toimintaan		
Pumppu Ahlström APP 23-40	Pumppaa vettä	Laakeri hajoaa	Linjausvirhe Korroosio Epätasapaino Taipunut akseli Mekaaninen löysyys Väärä voitelu	Pumppu hajoaa, eikä pumppaa vettä.	Pumppu hajoaa, eikä pumppaa vettä.	Värähtelyt Iskusysäykset Ääni Haju Lämpötila	Linjaus Huolto Oikea voitelu
		Akselitiiviste kuluu	Kuivana ajo Epäpuhtaudet Väärä asennus	Pumppu vuotaa vettä liikaa	Pumppu vuotaa vettä liikaa	Liiallinen veden tiputus	Tarkista että, tiiviste toimii oikein. Tarkista veden tiputus
		Juoksupyörä kuluu	Väärä toimintapiste Materiaali väärä Kavitaatio	Ei saavuteta tarvittavaa pumppaustehoa	Ei saavuteta tarvittavaa pumppaustehoa	Värähtelyt Prosessisuureet	Tarkista, ettei pumppu kavitoi
		Pumppu hajoaa nopeasti	Linjauksen puute Väärin suoritettu asennus Huono kiinnitys alustaan Putkiston kiinnitys	Pumppu hajoaa, eikä pumppaa vettä.	Pumppu hajoaa, eikä pumppaa vettä.	Linjauksen suoritus Oikea asennus Hyvä kiinnitys	Huolellinen huolto

Taulukko 7. Sähkömoottorin VVA esimerkki.

Laite	Tehtävä	Voittumistapa	Vian aiheuttaja	Vian vaikutus		Vian havaitseminen	Varokeinoja
				Paikalliset vaikutukset	Vaikutukset koko järjestelmän toimintaan		
Sähkömoottori ABB M2AA 160 MLA 4	Toimii pumpun käyttönä	Moottori hajoaa	Linjausväärä	Moottori hajoaa, eikä käytä pumppua	Moottori hajoaa, eikä pyöritä pumppua	Värähtelyt Lämpötila Ääni Haju	Oikea linjaus
		Käämit hajoavat	Väärä ohjaustapa Kosteus	Moottori ja pumppu eivät suorita vaadittua tehtävää	Moottori ja pumppu eivät suorita vaadittua tehtävää.	Värähtelyt Lämpötila Eristysvastusmittaus	Mittaa eristyskyky Tutki käämien kuntoa
		Moottori ylikuormenee	Ylikuormitus	Moottori pysähtyy ja pumppu myös	Moottori pysähtyy ja pumppu myös.	Lämpötila Haju	Oikea kuormitus
		Likaisuus	Moottori pysähtyy ja pumppu myös	Moottori pysähtyy ja pumppu myös.	Lämpötila Haju	Puhdista moottori ja varmista riittävä ilmankierto	

Taulukossa kahdeksan on pumpun ja moottorin vika- vaikutus- ja kriittisyysanalyysi oppimisympäristön laitteille. Kriittisyysarvioinnin taulukko on PSK 6800 standardin mukainen. Pumpun ja moottorin vikaantumisväli on määritelty pitkäksi eli yli viisi vuotta, koska laitteet eivät ole jatkuvassa käytössä.

Turvallisuusriskit on arvioitu kohtalaisiksi ja kerroin on tällöin neljä, koska on pieni riski, että joku loukkaa itsensä, jos pumpussa ei ole akselin suojarakenne paikoillaan. Ympäristöriskit ovat pumpulla ja moottorilla vähäiset, koska ne eivät sisällä paljoa öljyä tai muita vaarallisia aineita. Tuotannonmenetyks on saanut kertoimet neljä, koska jos laitteista toinen särkyy niiden korjaus kestää yli 24 tuntia. Laatuksannuksien kerroin on neljä, koska jos laite hajoaa se aiheuttaa yli kahdeksan tunnin tuotannon menetyksen. Korjauskustannukset ovat saaneet kertoimen kolme, koska jos laitteet hajoavat niiden korjaus kestää yli 24 tuntia, jotka vastaavat pitkää tuotannon menetystä.

Taulukko 8. Pumpun ja moottorin VVKA. (PSK 6800, hakupäivä 21.5.2014.)

Laitos: Prosessiautomaatiolaboratorio delta 1150

Kriittisyysluokittelun kohde: Pumppu ja moottori

Tekijät: Eerikki Fröblom

Versio: 2

Päiväys: 21.05.2014

Kriittisyyden raja-arvo 400

Tuotannon menetyksen painoavokerroin Wp 100

Toimintopaikan tunnus	Toimintopaikan nimitys	Vikaantumisväli (1...8)	Turvallisuus (0...16)	Ympäristö 0...16	Tuotannon menetys (0...4)	Loppu-tuotteen laatukustannus (0...4)	Korjauskustannus (0...4)	Kriittisyysindeksi	Kriittisyyden osaindeksit				
		Painoarvot W →	30	20	100	30	20	K	Ks	Ke	Kp	Kq	Kr
Pros.aut.lab (delta 1150)	Pumppu Ahlström APP 23-40	1	4	0	4	4	4	720	120	0	400	120	80
	Sähkömoottori ABB 11 kW	1	4	0	4	4	4	720	120	0	400	120	80

9 OPPIMISYMPÄRISTÖN SUUNNITTELU

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus suunnitella kunnonvalvonnan mittalaitteiden käyttöä oppimisympäristössä. Oppimisympäristön suunnittelussa on tärkeää, että ympäristö tulisi vastaamaan oikeaa teollisuusympäristöä. Tutkittaviksi laitteiksi valikoituivat laitteet eli keskipakopumppu ja oikosulkumoottori ovat yleisiä teollisuudessa.

Näitä prosessilaitteita tullaan mittaamaan tässä työssä erilaisilla kunnonvalvonnan mittalaitteilla, joita ovat värähtelymittauslaitteisto, lämpökamera sekä stroboskooppi. Seuraavissa kappaleissa tullaan esittämään, kuinka näitä mittalaitteita voitaisiin käyttää oppimisympäristössä. Seuraavat ohjeet tulevat varmasti päivittymään ajan saatossa.

Ennen toimimista oppimisympäristössä seuraavat kurssit tulee olla suoritettuna:

- sähköoppi
- lämpöoppi
- värähtely- ja aalto-oppi
- toimilaitteiden perusteet
- toimiminen työympäristössä
 - o sisäinen työturvallisuus perehdytys oppimisympäristöön
- energiatekniikan perusteet
- energiatekniikka
- energiatekniikan laboratoriot
- koneiden ja laitteiden käynnissäpito 1
- mittaukset ja tiedonkeruu
- prosessi- ja kunnossapitotiedon analysointi
- koneenelimien perusteet
- Artturi kunnossapidon tietojärjestelmän koulutus.

9.1 Työturvallisuus

Toimiessaan oppimisympäristössä ja käyttäessään mittalaitteita on tärkeää ottaa huomioon työn turvallinen suoritus sekä tunnistamattomat vaaratekijät. Esimerkiksi käsiä tai mittalaitteiden johtoja ei saa laittaa pyörivään akseliin. Työturvallisuus on erittäin isossa roolissa oppimisympäristössä ja on täten erittäin tärkeää ottaa se huomioon, kuten teollisuudessakin. Seuraavat ohjeet ovat omia ehdotuksia työturvallisuuteen liittyen oppi-

misympäristössä. Ohjeet tulevat mahdollisesti täydentymään, kun oppimisympäristö otetaan käyttöön tulevaisuudessa. Tarkemmat turvallisuusohjeet tulee laatia syksyn 2014 aikana

Turvallisuus ohjeet:

- Älä työnnä käsiä pyöriviin tai kuumiin koneenosiin.
- Katso että kukaan ei koskettele pumppua sitä käynnistäessä tai sen käydessä.
- Katso etteivät mittareiden johdot pääse osumaan missään tapauksessa pyöriviin koneenosiin.
- Käytä kuulosuojaimia.

9.2 Värähtelymittausten suunnittelu

Oppimisympäristössä suoritetaan värähtelymittauksia pumpulle ja moottorille kannettavalla VIBXPERT2 värähtelymittarilla. Värähtelymittauksien tarkoituksena on saada mitatuksi laitteista värähtelytietoja. Värähtelytiedot kirjataan Artturiin esimerkiksi ennakkohuoltotyön yhteydessä, josta ne löytyvät myöhempiä tarkasteluja varten. Ohessa ovat suuntaa-antavat ohjeet mittauksen suoritukseen.

Värähtelyjen mittaaminen etenee seuraavasti:

- Tunnista mitattavan kohteen työturvallisuusriskit.
- Kokoa mittalaitteisto.
- Valitse mittarista mittaus asetukset.
- Pumput (300-1200rpm) Velocity mm/s taajuusalue: 2-1000Hz TAI Acceleration g taajuusalue: 2-3000Hz. (Mikkonen 2009, 595.)
- Sähkömoottorit (300-1200rpm) Velocity mm/s taajuusalue: 2-1000Hz TAI Acceleration g taajuusalue: 2-3000Hz. (Mikkonen 2009, 595.)
- Kiinnitä anturi laakeripesään laakerin kohdalle. Pistä muistiin kohta, josta otat mittauksen.
- Käynnistä pumppu, havaitse kierrosnopeus stroboskoopilla tai jollakin muulla tavoin.
- Suorita värähtelymittaus.
- Sammuta pumppu.
- Tutki tuloksia.
- Kirjataan tiedot Artturiin.

Pumpun käynnistys tapahtuu kuvassa kahdeksan esiintyvstä ohjauspaneelistä, siten että ensin käännetään potentiometri 2 täysin vastapäivään, jonka jälkeen käännetään katkaisija 1 myötäpäivään. Tämän jälkeen säädetään pumpun pyörimisnopeus maksimiinsa kääntämällä potentiometriä 2 täysin myötäpäivään. Pumpun sammutus tapahtuu kääntämällä potentiometri 2 täysin vastapäivään, jonka jälkeen katkaisija 1 käännetään nolla asentoon.






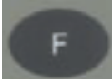
Kuva 8. Pumpun ohjauspaneeli.

Kokoa Vibxpert2 värähtelymittauslaitteiston salkusta kuvan yhdeksän mukaiset kolme anturikomponenttia 1-3. Yhdistä osat 1-3 ja kytke värähtelyanturin johto Vibxpert2 laitteen A-kanavaan, joka on merkitty numerolla neljä kuvaan yhdeksän. Kiinnitä anturi pumpun laakeripesään kohtaan 6.



Kuva 9. Mittausjärjestelyt

Kun laitteisto on koottuna, voidaan aloittaa mittaus ja toimia esimerkiksi seuraavasti:

- Paina laite päälle. .
- Valitse Multimode.
- , , Signals, Enter.
- Valitse haluttu mittaus esimerkiksi velocity.
- , valitse vel/2-1600 Hz.
- Kiinnitä anturi pumpun laakeripesässä kuvan yhdeksän mukaisiin kohtiin. Kuvassa kahdeksan olevat kohdat 5-8 ovat nimeltään: 5 = vaaka2, 6 = vaaka1, 7 = pysty2, 8 = pysty1.
- Tee mittaus.
- Tallenna tulokset. Paina menu, save, anna nimi, menu ja ok.

Mittalaitteen ohjekirjasta löytyy tarvittaessa lisätietoja.

Värähtelyjen aiheuttajaa voi koettaa etsiä seuraavista taulukoista 9 & 10 (Mikkonen 2009, 588.)

Taulukko 9. Pumppujen vianhaku värähtelyjen avulla (Mikkonen 2009, 588.)

Taajuus	Harmoiset	Amplitudi (mm/s)	Todennäköinen syy	Huomiot	
1 x n	Ei	1 x n vaaka > 3,8 1 x n pysty > 3,0 aksaalinen on pieni	Epätasapaino	1 x n vaihe vakaa	
		1 x n vaaka > 3,8 1 x n pysty > 3,8 1 x n aksiaali > 2,5	Taipunut akseli	1 x n vaihe-ero laakerien välillä on 180 astetta	
		1 x n vaaka > 4,6 1 x n pysty < 2,0	Resonanssi vaakasuuntaan	Vallitseva taajuus voi olla epälineaarisuuden takia muukin kuin 1 x n	
		1 x n vaaka < 2,0 1 x n pysty > 4,6	Resonanssi pystysuuntaan		
		Kasvaa käynnistyksen jälkeen	Lämpötaipuma		
		Korkea amplitudu moottorin kierrosluvulla pumpussa	Pumpun alustan resonanssi moottorin taajuudella		
		Korkea amplitudu pumpun kierrosluvulla moottorissa			
		Korkea akselon suunnassa	Hydraulinen epätasapaino	Ei voi tasapainottaa	
		Korkea rasdiaalisuunnassa	Juoksupyörän epätasapaino		
		2 x n		1 x n vaaka > 4,6 1 x n pysty < 2,0	Vaakaan resonanssi, pystyyn linjausvirhe
	1 x n vaaka < 2,0 1 x n pysty > 4,6			Pystyyn resonanssi, vaakaan linjausvirhe	
	2 x n ja 3 x n		1 x n vaaka > 3,8 1 x n pysty > 3,0 Aksiaali on pieni	Epätasapaino ja epälineaarisuus (löysyys/iso välis)	1 x n on vakio, 1/2 x n aliharmoninen voi esiintyä
			Aksiaali on suuri	Vinossa oleva laakeri	
	3 x n, 4 x n, 1/2n			lukkiutunut kytkin tai ulkoinen voima	Lukkiutunut kytkin on usein kuormasta riippuvainen. Usein epäsymmetrinen aikatasosignaali
	2 x n, 3 x n ja 4 x n		Harmoniset korkeampia kuin n	Vinossa oleva laakeri tai laakerit eri korkeudella	Aksiaalivärähtely voi olla voimakasta
			Kavitaatio	Korkeataajuisia laajakaistaista värähtelyä	
			Takaisinvirtaus		
Aliharmonisia, 0,05...0,3 x n					
Siipien lkm x n	Ei		Akustinen resonanssi		
0,45...0,5 x n	Ei		Pesän/Ohjaussiipien ja virtauksen häiriö tai liiallinen välis juoksupyörän ja pesän välissä		
0,4 x n			Öljyn pyörteily	Ratakäyrän sisällä luuppi	
0,5 x n	1/2 x n		Hankaus, laakerit irti		

Taulukko 10. Sähkömoottoreiden vianhaku värähtelymittauksin (Mikkonen 2009, 591.)

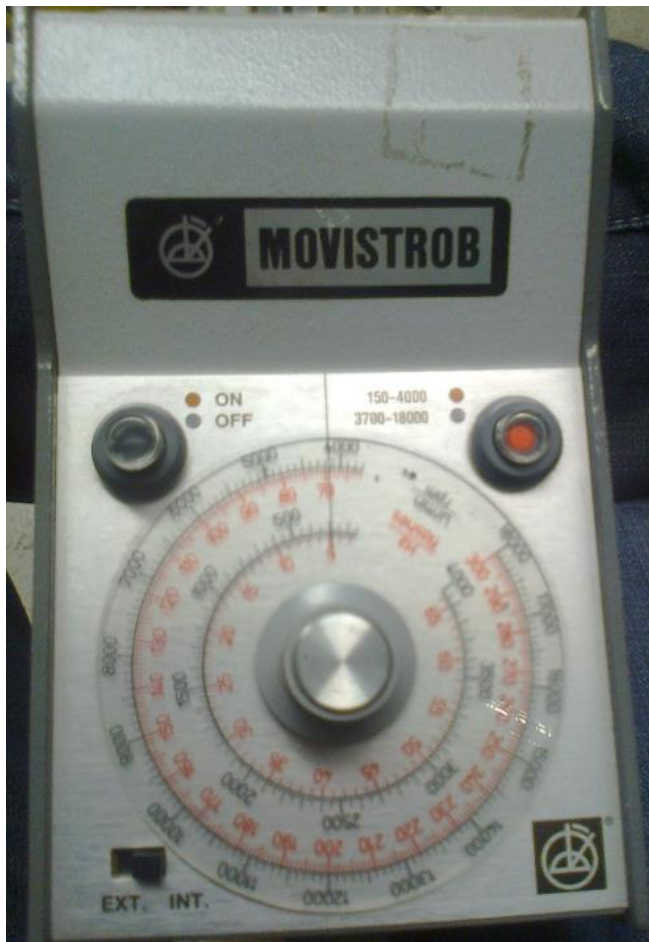
Taajuus	Harmo-niset	Amplitudi (mm/s)	Todennäköinen syy	Huomiot	
1 x n	Ei	1 x n vaaka > 3,8 1 x n pysty > 3,0 aksaalinen on pieni	Epätasapaino	1 x n vaihe vakaa	
		1 x n vaaka > 3,8 1 x n pysty > 3,8 1 x n aksiaali > 2,5 1 x n vaaka > 4,6 1 x n pysty < 2,0	Taipunut akseli Resonanssi vaakasuuntaan	1 x n vaihe-ero laakerien välillä on 180 astetta	
		1 x n vaaka < 2,0 1 x n pysty > 4,6	Resonanssi pystysuuntaan	Vallitseva taajuus voi olla epälineaarisuuden takia muukin kuin 1 x n	
	2 x n	Kasvaa käynnistyksen jälkeen	1 x n vaaka > 4,6 1 x n pysty < 2,0	Lämpötaipuma	
			1 x n vaaka < 2,0 1 x n pysty > 4,6	Vaakaan resonanssi, pystyyn linjausvirhe	Vaihe-ero suoravetokytkimen yli on enintään 10 astetta
	2 x n ja 3 x n		1 x n vaaka < 2,0 1 x n pysty > 4,6	Pystyyn resonanssi, vaakaan linjausvirhe	
			1 x n vaaka > 3,8 1 x n pysty > 3,0 Aksiaali on pieni	Epätasapaino ja epälineaarisuus (loysyys/iso vällys)	1 x n on vakio, 1/2 x n aliharmoninen voi esiintyä
	3 x n, 4 x n, 1/2n		Aksiaali on suuri	Vinossa oleva laakeri	
					Lukkiutunut kytkin on usein kuormasta riippuvainen. Usein epäsymmetrinen aikatasosignaali
2 x n, 3 x n ja 4 x n	Roottorisauvojen ohitustaa-juus + sivunauhhat		Harmoniset korkeampia kuin n	Vinossa oleva laakeri tai laakerit eri korkeudella	
				Aksiaalivärähtely voi olla voimakasta	
1 x n			Epäkeskeinen roottori	Värähtely huojuu, häviää kun syöttövirta katkaistaan	
2 x jättämä	Sivunauhhat N x n ja N x F:n ympärillä		Roottorisauvavaurio	Kuten epäkeskeinen roottori, mutta kulmarippuvainen huojunta	
2 x f _s (verkko-taajuus)			Roottori staattisesti epäkeskeinen Staattorin kiinnitys moottorin runkoon löysä Staattorissa löysät laminaatit tai käämit	Riippumaton napojen lukumäärästä Värähtelyn suuruus riippuvainen kuormasta	
f _s = staattorin urien lkm x n			Staattorin urien ohitustaajuus		
f _s = Roottorisauvojen lkm x n	2 x f _s 2 x f _s sivunauhhat	2 x f _s voi olla korkeampi kuin f _s	Irtonaiset roottorisauvat		
2 x f _s	1/3 x f _s sivunauhhat		Vaiheistusviat	Vika voi olla satunnainen, jos liittimet ovat löysässä	
6 x f _s	12 x f _s , 18 x f _s jne	Tasavirtamoottoreilla ja taajuusmuuttajakäytöillä aina näkyvissä	Murtunut kenttäkaämi Viallinen SCR Kontraktihäiriö	Kasvanut amplitudi kertoo viasta	

9.3 Stroboskoopin käytön suunnittelu

Stroboskoopilla voidaan mitata koneiden pyörimisnopeudet ja pyörimissuunnat. Stroboskoopilla tarkastellaan pyörivien osien kuntoa. Kuvassa 10 on stroboskooppi. Stroboskoopin käyttö tapahtuu seuraavalla tavalla:

- Paina stroboskoopin virtanappi päälle, jolloin valo alkaa välkkyä.
- Suuntaa stroboskooppi pumpun ja moottorin kytkimeen.
- Säädä stroboskoopin välkkymistaajuutta siten, että näyttää siltä, että kytkin pysähtyisi.
- Lue mitta-asteikosta pyörimisnopeus.

- Tee sama moottorin tuuletinsiiville ja katso ovatko ne ehjät ja puhtaat.



Kuva 10. Stroboskooppi

9.4 Ohjeet lämpökamerakuvaukseen

Lämpökameralla kuvataan pumppua ja moottoria. Otetut kuvat tallennetaan ja kuvat liitetään Artturiin.

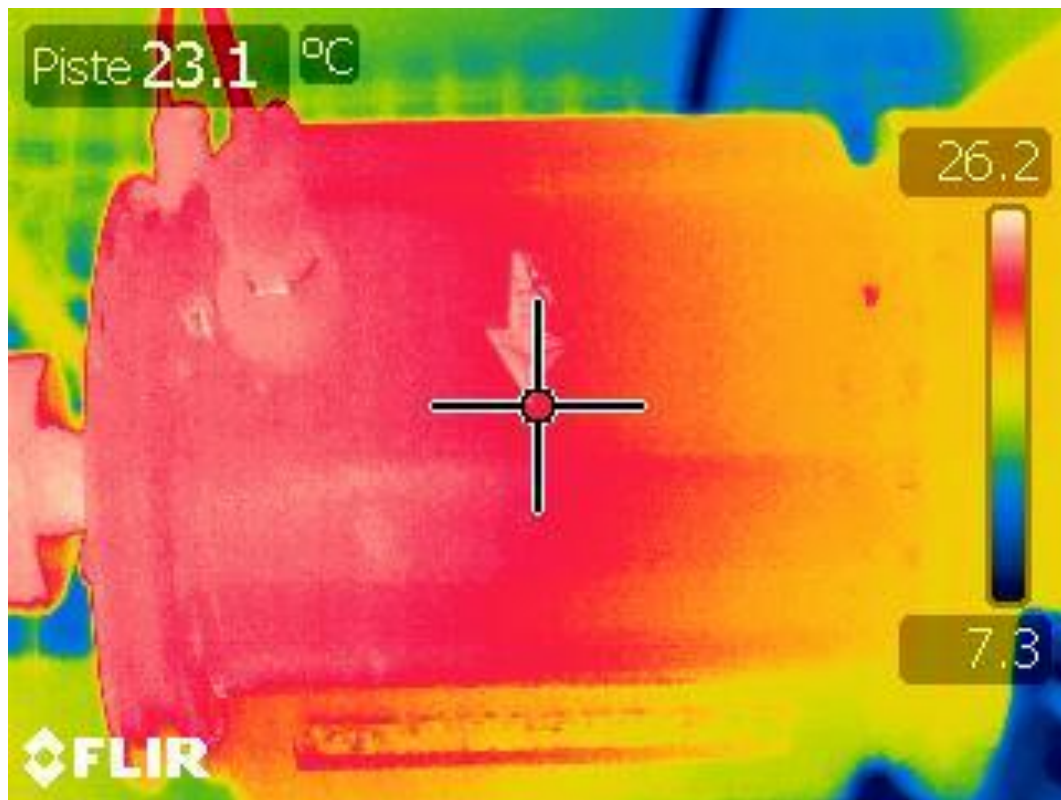
Käynnistä kamera ja ota kuva samasta paikasta siten, että kamera on suunnattuna joka kerta samaan pisteeseen ja kamerassa on samat asetukset kuin aikaisemminkin. Kuvassa 11 on kyseinen lämpökamera koteloineen. Pakkauksesta löytyy hyvät suomenkieliset ohjeet lämpökameran käyttöön.



Kuva 11. Lämpökamera

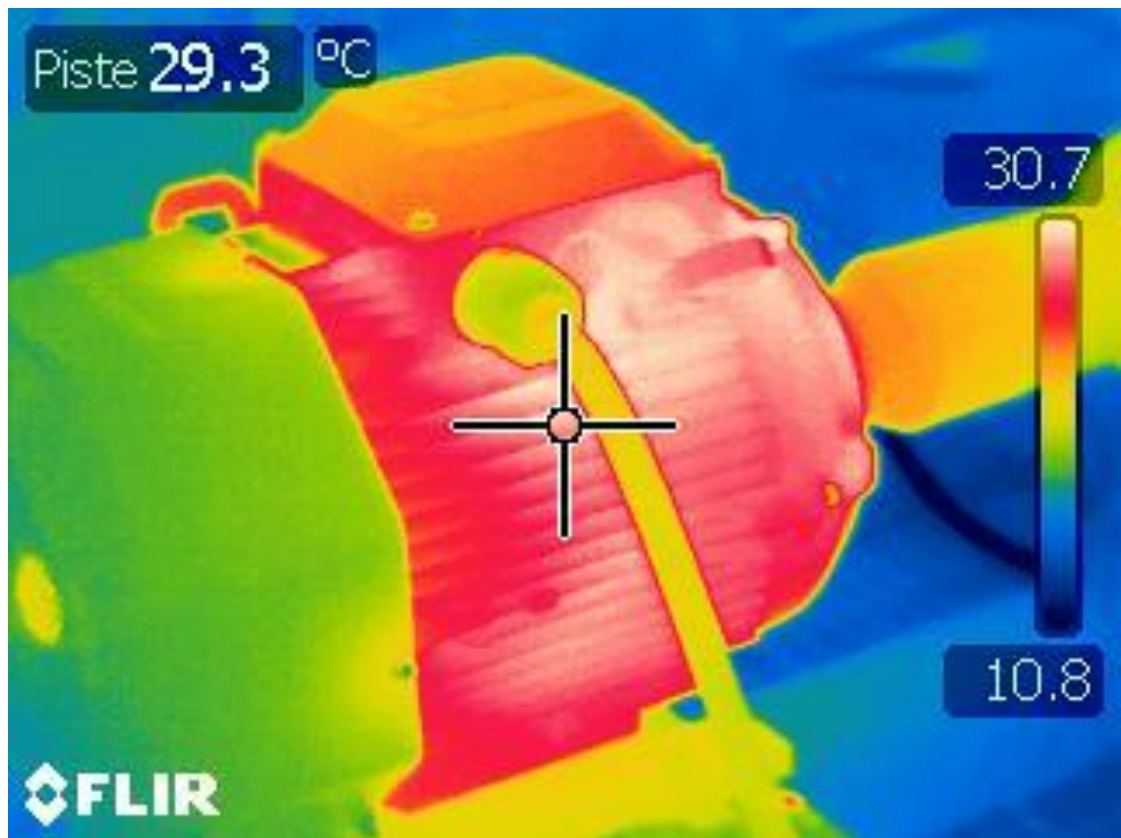
Lämpökameralla on tarkoitus kuvata säännöllisesti pumppua ja sähkömoottoria. Erityisesti olisi hyvä kuvata tarkemmin pumpun spiraalipesää, laakeripesää, akselitiivistettä. Myös sähkömoottoria olisi hyvä kuvata erikseen. (Toikka 2013, 3.)

Kuvassa 12 on otettu lämpökamerakuva pumpun laakeripesästä 28.4.2014. Pumppu on pyörinyt kuvanottohetkellä noin 15 minuuttia kierrosnopeudella 745 rpm.



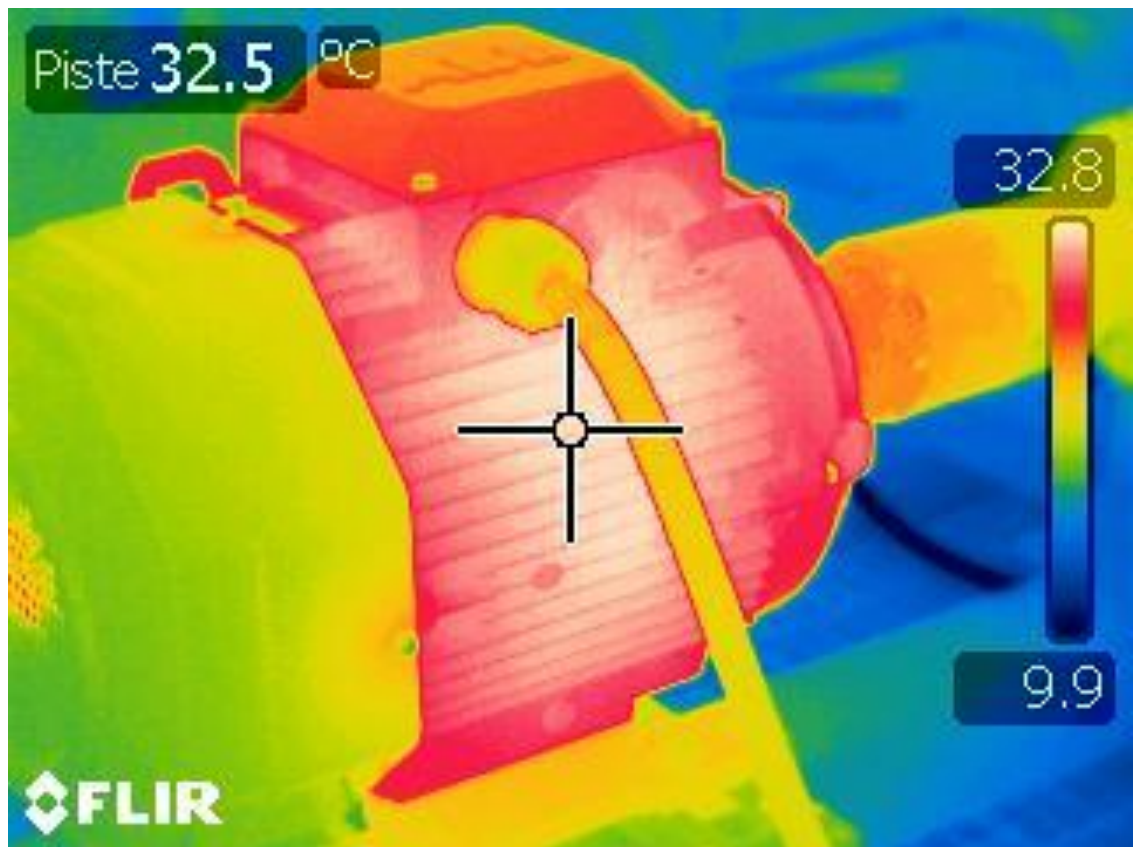
Kuva 12. Pumpun laakeripesän lämpökamerakuva

Kuvassa 13 Sähkömoottori on ollut käynnissä noin 15 minuuttia kierrosnopeuden ollessa 745rpm.



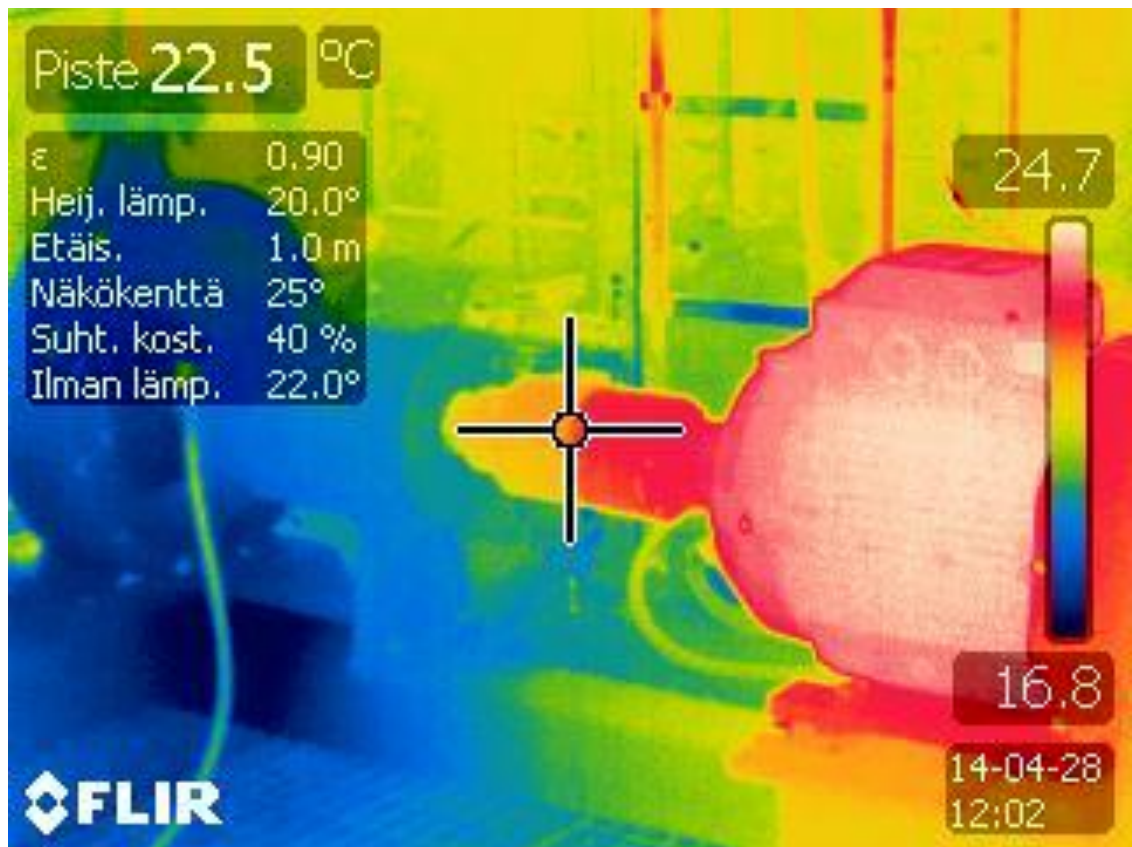
Kuva 13. Sähkömoottorin lämpökamerakuva moottorin ollessa käynnissä.

Kuva 14 on otettu juuri, kun sähkömoottori on sammutettu. Ennen kuvan ottoa sähkömoottoria ajettiin noin 15 minuuttia kierrosnopeudella 745rpm.



Kuva 14. Sähkömoottorista otettu kuva heti moottorin sammuttamisen jälkeen.

Kuvassa 15 on lämpökamerakuva sähkömoottorista ja pumpusta niiden oltua päällä noin 15 minuuttia kierrosnopeuden ollessa 745rpm.



Kuva 15. Lämpökamera kuva pumpusta ja moottorista.

9.5 Mobiililaitteen hyödyntäminen visuaalisessa tarkastuksessa

Oppimisympäristössä olisi tarkoitus hyödyntää mobiililaitetta ja sen käyttöliittymää aistinvaraisessa kunnonvalvonnassa, joka on kehitetty Lapin ammattikorkeakoulun TKI:n käynnissäpidon tutkimusryhmässä. Mobiililaitetta käytetään aistinvaraiseen ennakkohuoltokierroksen suorittamiseen. Käyttöliittymään kirjataan kuulo- ja näköhavainnot ajoittain ennakkohuoltokierroksen aikana. Käyttöliittymässä on myös mukana tietyt ennakkohuoltotoimenpiteet, joita laitteille suoritetaan kierroksen aikana. (Tarvainen 15.5.2014, sähköpostiviesti.)

Kun oppilas on suorittanut ennakkohuoltokierroksen mobiililaitteen avulla, olisi tarkoitus saada yhteys Artturi-kunnossapitotietojärjestelmään, jonne tehdään yhteenveto tarkastuksista. Yhteenvetoon kirjataan tieto siitä, mikäli kaikki on kunnossa tai jos on huomautettavaa häiriöistä tai vioista, nekin kirjataan ylös. Mobiililaitteen käytössä olisi tärkeää se, että sillä saadaan suora yhteys Artturiin. (Tarvainen 15.5.2014, sähköpostiviesti.)

10 POHDINTA

Työssä saatiin kartoitettua kunnonvalvonnan oppimisympäristön laitteiden yleisimpiä vikoja ja niiden aiheuttajia. Näiden tietojen pohjalta työssä saatiin tehtyä suppeat vika- ja vaikutusanalyysit sekä vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysit tutkittaville laitteille. Työssä perehdyttiin hieman kunnonvalvonnan eri mittauksiin. Työssä saatiin myös laadittua hyvinkin yksinkertaiset ohjeet mittalaitteiden käyttöön.

Opinnäytetyöstä saadut ohjeet ja analyysit eivät välttämättä ole täysin riittäviä tositoimia ajatellen, mutta ne toivon mukaan täydentyvät ja paranevat ajan mittaan. Toivottavasti oppimisympäristöstä saadaan kehitettyä tulevaisuudessa esimerkillinen oppimisympäristö kaikkia kunnossa- ja käynnissäpitoon liittyviä osa-alueita ajatellen.

Opinnäytetyön sisällöstä, saattaa olla hyötyä sellaiselle, joka alkaa suunnitella tässä opinnäytetyössä esiintyviä osa-alueita syvällisemmin kyseiseen oppimisympäristöön, tai muuten haluaa tutustua oppimisympäristön laitteisiin. Työn aihe oli mielenkiintoinen ja haastava ja se liittyi vahvasti nykypäivään.

Opinnäytetyön tekeminen oli hieman takkuilevaa ja loppua kohden tahti kiristyi ja työstä sitten kiireen kanssa tuli enemmänkin teoriapainotteinen ja asioiden perustelu jäi yleistasolle. Opinnäytetyön teon aikana tuli huomattua projektisuunnitelman tärkeys ja se, että pitää siitä kiinni mikäli se suinkin on mahdollista.

LÄHTEET

ABB www-sivut. Hakupäivä 21.5.2014

<<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/9324577570fc2313c125765e002bfcd2.aspx>>

Edu.fi, 2014. Kunnossapito menestystekijä.

<<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/index.html>>

Enggcyclopedia www-sivut. Hakupäivä 9.5.2014

<<http://www.enggcyclopedia.com/2012/09/squirrel-cage-induction-motors/>>

Leinonen, Jarkko 2012. Profibus-kenttälaitteiden asennussuunnitelma vesiprosessiin.

Opinnäytetyö. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Kemi

Maronen, Juha, projekti-insinööri, Lapin ammattikorkeakoulu, Lähetetty leikkaustyökä-

lusta. Sähköpostiviesti. eerikki.froblom@edu.lapinamk.fi 24.10.2013

Mikkonen, Henry 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-Media

Opetushallitus, 2004. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet.

<http://www.oph.fi/download/139848_pops_web.pdf>

PSK 6800, 2008, Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. Helsinki: PSK Haku-

päivä 21.5.2014 < www.psk-standardisointi.fi>

SFS 5438, 1988. Järjestelmän luotettavuuden analysointimenetelmät. Vika- ja

vaikutusanalyysi (VVA). Helsinki: SFS Hakupäivä 21.5.2014 <www.sfs.fi>

Solteq Oyj, 2007. Kunnossapito ja harmonisointi. Artturi ohje

Tarvainen, Jaana, projekti-insinööri, Lapin ammattikorkeakoulu, Mobiililaitte. Sähkö-

postiviesti eerikki.froblom@edu.lapinamk.fi 15.5.2014.

Toikka, Niko 2013. Prosessipumput. Promaint 2013:3

Valtonen, Mikko 2013. Epätahtimoottoreiden korjaava kunnossapito. Promaint 2013:3

Wirzenius, Allan 1968. Keskipakopumput. Tampere: Kustannusyhtymä.