



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

TYHJÖTURBOJÄRJESTELMÄN KOEAJON STANDARDINTI JA KEHITYSTYÖ

Aki Loippo

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2018
Kemiantekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan ko.
Kemiantekniikka

LOIPPO AKI

Tyhjöturbojärjestelmän koeajon standardointi ja kehitystyö

Opinnäytetyö 165 sivua, joista liitteitä 135 sivua
Huhtikuu 2018

Tässä opinnäytetyössä esitetään standardi eli vakiosuoritustapa Runtech Systems Oy:n tyhjöturbojärjestelmän FAT-testausta varten. Tämä standardi esitetään turbon koeajon ohjeistuksen ja koeajajan tarkistuslistan muodossa. Nämä dokumentit toimivat yrityksen laadunvalvonnan välineinä tasalaatuisen koeajosuorituksen takaamiseksi sekä koulutusmateriaalina uusien Pilot-laitoksen työntekijöiden perehdyttämisessä.

Työn yhteydessä tutustutaan yleisellä tasolla Runtech Systems Oy:n tyhjöturbon FAT-testaukseen, testauksen eri osa-alueisiin, testauksessa käytettävään laitteistoon sekä Pilot-laitos järjestelyihin. Työssä kiinnitetään erityishuomiota FAT-testaukseen laadunvalvonnan välineenä ja luotuun standardiin laadunvalvonnan työkaluna.

Lisäksi tarkastellaan suppeasti turbon FAT-testaukseen liittyviä kehitysmahdollisuuksia. Näitä ovat mm. tyhjöturbon reaaliaikainen kierrosnopeuden mittaaminen koeajopenkissä ja turbon moottoria jäähdyttävän jäähdytysilmapuhaltimen aikaansaaman ilmavirtauksen mittaaminen. Muita mainittavia kehityskohteita ovat FAT-testauksen raportoinnin automatisointi, vikakirjasto esimerkkitapauksineen koeajajan vianetsinnän tueksi sekä FAT-testauksen infopaketti yrityksen myyntiorganisaatiota varten.

Tulevaisuudessa uskotaan olevan mahdollista käyttää turbon FAT-testauksen standardointia varten laadittuja dokumentteja osana yrityksen myynti- ja markkinointistrategiaa. Tätä varten tulee luoda oma FAT-testausmenettelyä mahdollisimman tiiviisti ja informatiivisesti kuvaava informaatiopaketti jo olemassa olevan materiaalin pohjalta. Kun asiakkaiden tietämys turbotuotteiden testauksesta ja laadunvalvonnasta lisääntyy, niin myös luottamus käytössä olevaan teknologiaan kasvaa. Tämä taas lisää tuotteiden kysyntää.

Alkuperäiset dokumentit eli luodut liitteet ovat poistettu tämän julkiseksi tarkoitetun opinnäytetyön yhteydestä, sillä ne ovat täysin salassapitosopimuksen (NDA) alaisia ja tarkoitettu vain yrityksen oman henkilöstön käyttöön.

Asiasanat: FAT-testi, Pilot-laitos, tyhjö, turbo, standardi, kehitystyö

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu (TAMK)
Tampere University of Applied Sciences
Paper-, textile- and chemical engineering program
Chemical engineering

LOIPPO AKI:

Development and Standardization of a Vacuum Turbo Blower FAT-testing

Bachelor's thesis 165 pages, appendices 135 pages
April 2018

This thesis establishes a standard procedure and code of conduct for Runtech Systems turbo blower FAT-testing. This standard is originally written in the form of the two following documents: A turbo FAT-testing guide and operator's checklist. These documents are to be used as a tool for quality surveillance and as a training material for the new employees at the Pilot-plant. They are also meant to act as a support for the Pilot-plant operators while they are operating the turbo.

This thesis focuses on the turbo blower FAT-testing standard as a tool for quality surveillance. During the thesis, the readers will get a general understanding of the FAT-testing procedures of a Runtech Systems turbo blower. They will also get basic information on the Pilot-plant test facilities, its operating principles and the instruments in use.

On top of the things mentioned above, the thesis will also take a narrow peek into some of the development ideas related to the turbo FAT-testing and the Pilot-facilities. In this thesis we will mainly focus on coming up with a solution for a realtime speed measurement for the spinning rotor of the turbo and look for a solution on how to carry out a stationary volumetric measurement for the cooling air flow of the motor.

Runtech believes that in the future it may be possible to use some of the material created for the standardization of the FAT-test as a tool for marketing. Runtech will create an inclusive information package containing basic information regarding the turbo blower FAT-testing and the instruments used in it. Runtech will then use this to further increase the knowledge that its customers have on their products, which they believe will in return increase the demand of their products even further.

The original documents and appendices are removed from this thesis, which is meant to be a document available for the public. These appendices include the turbo FAT-testing guide and operator's checklist. They are documents shielded a by non-disclosure agreement and that is why they cannot be released as public information.

Key words: FAT-test, Pilot-plant, vacuum, turbo, standard, development

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TYÖN TAUSTAT.....	7
	2.1 Runtech Systems Oy – Yritys ja historia	7
	2.2 Tuotteet	8
	2.2.1 Turbojärjestelmät	9
	2.3 Palvelut	11
	2.4 Asiakkaat ja markkinat	12
	2.5 Työn tavoite ja motivaatio	12
3	TURBON FAT-TESTAUKSEN STANDARDOINTI	14
	3.1 Turbon Pilot-laitos	14
	3.1.1 Pilot-järjestelyt ja laitteisto	14
	3.2 Turbon koeajon standardi	19
	3.2.1 Koeajon ohjeistus ja tarkistuslista.....	22
4	TURBON FAT-TESTAUKSEN KEHITYSKOHTEET	23
	4.1 Yleiset kehityskohteet.....	23
	4.1.1 Reaaliaikainen kierrosnopeuden mittaus.....	23
	4.1.2 Jäähdytyspuhaltimen ilmavirtaus mittaus	25
	4.2 Dokumentaation kehityskohteet.....	26
5	POHDINTA.....	28
	5.1 Työn tavoitteiden täyttyminen	28
	5.2 Loppusanat.....	29
	LÄHTEET.....	30
	LIITTEET	31
	Liite 1. Koeajajan ohjeistus – Turbo FAT-testing Guidebook (s. 1/125).....	31
	Liite 2. Koeajajan tarkistuslista – Koeajajan Checklist (s. 1/10)	156

LYHENTEET JA TERMIT

<i>A</i>	Putken poikkipinta-ala, yksikkö m ²
DCS	Digitaalinen ohjausjärjestelmä, Digital Control System
FAT-testi	Factory Acceptance Testing
NDA	Non-disclosure agreement eli salassapitosopimus
Pilot-laitos	Tyhjöturbojärjestelmän koeajolaitos, tuotekehityslaitos
Runtech NA	Runtech North America
Standardi	Normi, vakiomääritelmä toiminnalle tai tehtävälle
Turbo	Tyhjöturbojärjestelmä, korkeataajuus keskipakopuhallin
Tyhjö	Alipaine eli tyhjiö (vacuum), yksikkö kPa
<i>v</i>	Virtausnopeus, m/s
Vortex-virtausmittaus	Pyörrevanamittaus
<i>Q</i>	Tilavuusvirta, yksikkö m ³ /s

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on luoda Runtech Systems Oy:n tyhjöturbojärjestelmän FAT-testaukselle vakio suoritustapa eli turbon koeajon standardi sekä tätä vastaavat koeajajan ohjeistus ja tarkistuslista. Näiden dokumenttien on määrä toimia Runtech Systems Oy:n laadunvalvonnan välineinä tasalaatuisen koeajosuorituksen takaamiseksi sekä koulutusmateriaalina uusien Pilot-laitoksen työntekijöiden perehdyttämisessä. Nämä dokumentit ovat salassapitosopimuksen (NDA) alaisia ja tarkoitettu vain yrityksen oman henkilöstön käyttöön.

Työn yhteydessä tutustutaan yleisellä tasolla turbon FAT-testaukseen, testauksen eri osa-alueisiin, laitteistoon ja testauksessa laadunvalvonnan takaamiseksi huomioitaviin asioihin. Tarkoitus on luoda eheä ja toistettavissa oleva suunnitelma (standardi) koeajon suorittamiselle. Näin pyritään kohti kestäväää kehitystä ja yhä tehokkaampaa laadunvalvontaa.

Työ sisältää lyhyen yritysesittelyn ja tutustumisosion Runtechin historiaan sekä tuotteisiin. Lisäksi tarkastellaan koeajon ja Pilot-laitoksen mahdollisia kehityskohteita, näiden ratkaisuja sekä tulevaisuuden näkymiä.

Runtech Systems Oy on tyhjöturbotoinnin Pilot-toiminnan osa-alueella ehdoton edelläkävijä, sillä kukaan muu vastaavan teknologia-alan laitetoimittaja ei tunnetusti testaa tuotteitaan ja kokoonpanojaan ennen niiden toimittamista asiakkaalle. Runtech sen sijaan testaa jokaisen tuotannosta asiakkaalleen toimitettavan tuotteen ennen sen lähettämistä maailmalle. Tämä on yksi Runtechin suurimmista kilpailueduista ja laaduntakeista.

Työn lopuksi tutkitaan, kuinka työlle asetetuissa tavoitteissa onnistuttiin koeajon dokumentoinnin ja standardoinnin osalta sekä miten Runtechin FAT-testauksen dokumentointia vielä voitaisiin kehittää. Tämän lisäksi pureudutaan luodun dokumentaation hyödyntämiseen mm. Runtechin myynnin ja markkinoinnin työkaluna tulevaisuudessa.

2 TYÖN TAUSTAT

2.1 Runtech Systems Oy – Yritys ja historia

Runtech Systems Oy perustettiin vuonna 1997. Yhtiö aloitti toimintansa konsultointiyrityksenä paperi- ja prosessiteollisuudelle, mutta alkoi pian valmistaa sekä kehittää omia tuotteitaan. Alkuaikoinaan Runtech valmisti hiilikuidusta erinäisiä tuotteita, joilla poistetaan kosteutta paperimassasta. Näitä ovat mm. erilaiset vedenpoistoon, käynninoptimointiin sekä päänvietiin liittyvät tuotteet kuten ”AirBlade”, ”AirCurtain”, ”Press RunShooter” ja ”TailBlade” (Loippo J. 2015).

Pikkuhiljaa Runtech kasvoi ja laajensi toimintaansa ostaen alan pienempiä toimijoita sekä perustamalla omia tytäryhtiöitä, kuten Runtech Energy Oy. Energyn toiminta keskittyi pääasiassa tuulivoimalatoiminnan ympärille, mutta käsitti myös muutamia yksityistalouksien energiatehokkuuden parantamiseen tarkoitettuja tuotteita, kuten aurinkokeräimiä ja lämminvesivaraajia. Tämä ei kuitenkaan pitkällä tähtäimellä osoittautunut kannattavaksi toiminnaksi, vaan Runtech Energyn toiminta lopetettiin muutamia vuosia myöhemmin (Loippo J. 2015).

Runtech Systemsin suurin edistysaskel tapahtui, kun konserni yhdistyi Ecopump Oy:n kanssa vuonna 2008. Tällöin Runtech sai myös Ecopumpin silloisen turbotoiminnan. Yhdistymisen jälkeen Runtech panosti voimakkaasti turbotoiminnan eteenpäin viemiseen ja kehitystyöhön. Tämä panostus kannatti, sillä tänä päivänä Runtechin tyhjäturbojärjestelmät ovat sen päätuotteita ja oman teknologia-alansa ehdotonta huippua. Näiden tuotteiden FAT-testauksen dokumentoinnin kehittämisen ja standardoinnin ympärille rakentuu myös tämä opinnäytetyö (Loippo J. 2015).

Tänä päivänä Runtech työllistää suoraan yli 100 työntekijää ja välillisesti vielä enemmän. Kiireellisimpinä aikoina Runtech ostaa sekä insinööri- että agenttipalveluita ulkopuolisilta suunnittelutoimistoilta ja palveluntarjoajilta. Erityisesti Runtechin Kiinan markkinat ovat kokeneet voimakasta kasvua ja Runtech perusti alkuvuodesta 2017 oman Kiinan tytäryhtiönsä Runtech China Company:n. (Loippo K. 2017)

Runtech laajensi hiljattaen toimintaansa myös Pohjois-Amerikan markkinoilla, ostamalla pitkäaikaisen yhteistyökumppaninsa RTS Alliance:n alkukesästä 2017 ja perustaen Runtech NA tytäryhtiön. Jatkossa Runtech tähtää nyt entistä voimakkaammin oman asemansa vahvistamiseen myös Pohjois-Amerikan markkinoilla. Yritys on kokenut erittäin voimakasta kasvua viimeisen muutaman vuoden ajan ja kasvun uskotaan jatkuvan. Tulevaisuuden näkymät ovat erittäin valoisat. (Loippo K. 2017)

2.2 Tuotteet

Runtech Systems Oy:n päätuotekategoriat liittyvät tänä päivänä pääosin paperiteollisuuden veden- ja kosteudenpoiston, päänniennin sekä tyhjäjärjestelmien toimituksiin. Tällä tavoin pyritään ottamaan talteen ja säästämään paperinvalmistusprosessista niin paljon energiaa kuin mahdollista.

Energiaa on prosessissa monessa eri muodossa ja näistä tärkeimmät ovat vesi, sähkö ja lämpö. Runtechin tuotteet pyrkivät poikkeuksetta säästämään sekä optimoimaan näiden kulutusta ja tällä tavoin kohti ”vihreämpää” tulevaisuutta.

Veden- ja kosteudenpoistoon sekä päänniennin liittyviä tuoteperheitä ovat mm. RunDryTM (dewatering&doctoring optimization) ja RunProTM (tail threading optimization). Runtechin suurimpia tuotteita ovat kuitenkin sen edellä mainitut tyhjäturbot. Muita tuotteita ovat mm. EcoFlow -vedenpoistomittarit sekä EcoDrop- ja EcoSep -vedenerottimet, jotka asennetaan ennen turboa.

EcoFlow -mittarit asennetaan mm. mittaamaan kaavarikaukaloilta prosessista poistettavan veden määrää ja EcoDrop -vedenerotin alipaineputkistoon ennen turboa. EcoDrop -vedenerotin poistaa alipaineputkistosta suurimman osan vedestä painovoiman avulla. EcoSep -vedenerottimen tarkoitus on suodattaa pois kiintoainepartikkelit sekä estää vesipisaroiden ja suurimman kosteuden ajautumista turbolle virtaavan prosessi-ilman mukana. Se asennetaan tavallisesti aivan turbon eteen.

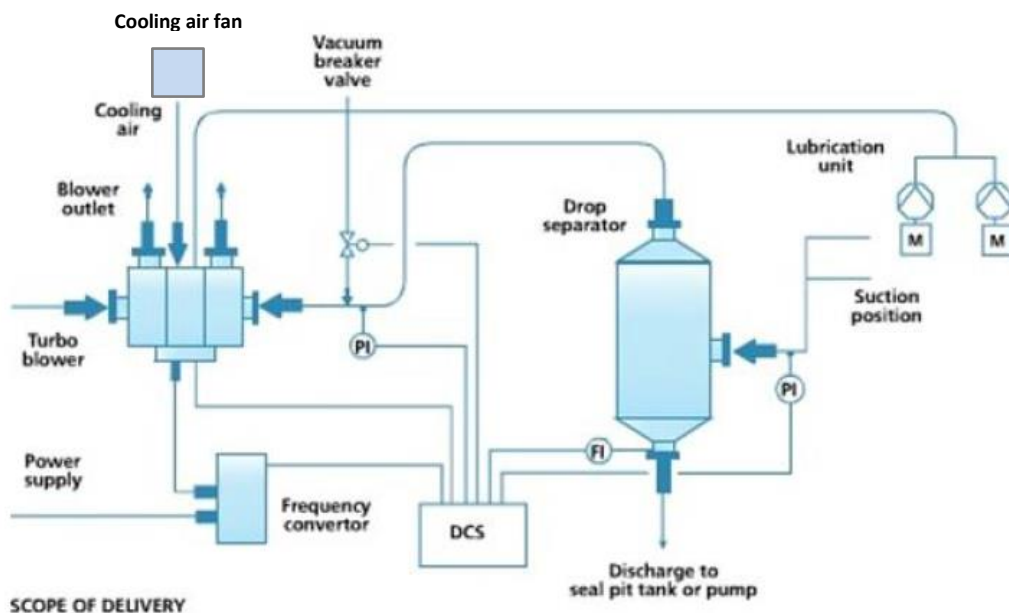
Turbotuotteiden mukana toimitetaan myös muita tämän toimintaan oleellisesti liittyviä oheistuotteita, kuten laakerien voitelua varten tarvittava öljykoneikko sekä

ohjausmoduulina toimiva taajuusmuuttaja. Nämä tuotteet hankitaan erillisen alihankintaketjun kautta.

Lisäksi Runtech valmistaa Kolhon tehtaallaan itse kaikki tyhjöturboissa käytettävät komposiittiset hiilikuitujuoksupyörät. Titaaniset juoksupyörät tilataan erilliseltä, titaanin valuun erikoistuneelta valimolta. Runtechin Kolhon tehdas keskittyy pääasiassa täysin vedenpoistoon ja päänvientiin liittyviin tuotteisiin sekä turbon juoksupyörien valmistukseen. Kotkan toimipisteellä tapahtuu tyhjöturbojen kokoonpano sekä näihin liittyvä testaus ja tuotekehitys.

2.2.1 Turbojärjestelmät

Tyhjöturbojärjestelmät, joita Runtech Systems Oy asiakkailleen toimittaa, sisältävät tavallisesti itse tyhjöturbon sekä muutamia muita tämän toimintaan oleellisesti liittyviä oheistuotteita. Toimitukseen lukeutuvat tavallisesti myös öljykoneikko, taajuusmuuttaja, moottorin jäähdytysilmapuhallin, vedenerotin ja vesipumppu. Toimitettavan tyhjöjärjestelmän periaatekaavio ja tämän sisältämä kokonaisuus on esitetty kuviossa 1.



KUVIO 1. Tyhjöjärjestelmän periaatekaavio (Runtech turbo edocker 2016, 11).

Tyhjö eli alipaine luodaan prosessiputkistoon tyhjöturbon moottorin akselilla suurella kierrosnopeudella pyörivän juoksupyörän avulla. Pyörivä juoksupyörä siirtää eli puhaltaa prosessiputkistossa olevaa ilmaa eteenpäin, aiheuttaen sitä edeltävään putkistoon alipaineen ja ilmavirtauksen. Näin ollen voidaan Runtechin tyhjöturbon todeta käytännössä olevan korkeakierrostaajuuksinen keskipakopuhallin.

Prosessista tuleva ilma saapuu turbolle vedenerottimen (EcoSep) läpi. Vedenerottimessa ilmasta erotetaan ylimääräinen kosteus sekä mahdolliset pien- ja kiintoainehiukkaset pakottamalla ilma virtaamaan suurella nopeudella erottimen sisällä olevan erotinkennoston lävitse. Erotettu vesi ja tämän mukana kulkeutuva kiintoaineesiirretään erottimen määrittä puolelta järjestelmän yhteydessä toimitetun vesipumpun avulla jäteveden joukkoon, josta se kulkeutuu tehtaan vedenpuhdistamolle. Käytyään läpi puhdistamon vedenkäsittelyprosessin puhdistetettu ja talteenotettu vesi palautetaan takaisin prosessikiertoon.

Tyhjöturbon moottorin pyörimisnopeudella säädellään turbon aikaansaaman alipaineen ja ilmavirtauksen suuruutta prosessin tarpeiden mukaan. Turbon moottorin ohjausmoduulina toimii turbotoimituksen yhteydessä toimitettava taajuusmuuttaja, jonka avulla säädellään myös turbon kierrosnopeutta. Runtechin tyhjöturbo on koko kierrosnopeusalueellaan ajettava ratkaisu, eikä sen toiminta-alue näin ollen sisällä niin kutsuttuja kriittisiä taajuuksia tai herätetaajuuksia. Kriittisellä taajuudella tarkoitetaan sitä kierrostaajuutta tai kierrostaajuusaluetta, joka vastaa pyörivän toimilaittekokonaisuuden ominaistaajuutta ja saa aikaan tämän dimensioiden hetkellisen muodonmuutoksen. Runtechin sovelluksessa nämä kriittiset taajuudet sijaitsevat runsaasti laitteen toimialueen ja kierrostaajuusalueen yläpuolella, mikä tekee laitteistosta alikriittisen sekä täysin kierrosnopeussäätöisen ratkaisun.

Runtech käyttää turboissaan The Switchin toimittamia sähkömoottoreita ja isoimmat turbot pyörivät yli 10 000 rpm kierrosnopeudella. Pyörivän moottorin laakeroinnin voitelua varten turbotoimitus sisältää myös oman öljykoneikkonsa. Tämän lisäksi turbon moottorille toimitetaan oma jäähdytyspuhallin, jonka tehtävänä on pitää moottorin lämpötila tasaisena. Moottorin jäähdytyspuhallin kierrättää suoraan prosessitilasta otettua suodatettua ilmaa moottorin lävitse, jolloin osa moottorin rakenteissa olevasta lämpöenergiasta siirtyy tähän jäähdyttämään moottoria.

Joissain tapauksissa Runtech toimittaa myös erillisen lämmönvaihtimen tyhjöturbon poistupuolelle. Lämmönvaihtimen tarkoituksena on ottaa talteen ilman kompression yhteydessä ilmaan siirtyvä lämpöenergia, kun ilma on ensin virrannut turbon lävitse. Lämmönvaihtimesta prosessi-ilmasta talteenotettu lämpö johdetaan sitten takaisin prosessiin ja käytetään mm. veden esilämmitykseen. Loppuosa turbon läpi virtaavassa prosessi-ilmassa olevasta lämpöenergiasta käytetään esim. vesihöyryn tuotantoon.

Kuvassa 1 on Runtechin tyhjöjärjestelmä tehtaalle asennettuna. Järjestelmä itsessään on melko kookas, joten se vaatii runsaasti tilaa asennuskohteessaan. Vaikka järjestelmät ovat standardoitu, vaativat ne loppusijoituskohteessaan muutamia esivalmisteluita ja putkistosuunnittelua, joten tarvitaan paljon projektihenkilökuntaa hoitamaan asennuksen suunnittelu sekä toteutus.



KUVA 1. Runtechin EP500-700-S -turbo ja tyhjöjärjestelmä tehtaalle asennettuna (Runtech 2015).

2.3 Palvelut

Runtech Systems Oy:n palveluita ovat erilliset paperiteollisuuden optimointi-, konsultointi-, mittaus- ja suunnittelutyöt, joita se tarjoaa asiakkailleen. Tämän lisäksi Runtech myös ylläpitää, huoltaa ja asentaa toimittamiaan tuotteita erillisen huolto- ja asennustiiminsä voimin.

Runtechin tarkoitus ja ensisijainen tavoite on tarjota asiakkaalleen voittavat ratkaisut sekä parasta mahdollista ammattitaitoa mitä paperiteollisuuden saralla löytyy. Runtechin toiminnan perusta on asiakaslähtöisyys sekä ensisijaisesti juuri asiakkaan edun tavoittelemisen. Kaikki Runtechin optimointiratkaisut ja tuotteet tähtäävät energiansäästöön itse prosessista. Tämä puolestaan mahdollistaa Runtechin asiakkaille vuositasolla useiden satojen tuhansien eurojen säästöt.

2.4 Asiakkaat ja markkinat

Runtech Systemsin tämän hetken suurimmat asiakkaat ja markkinat löytyvät Kiinasta. Kiinan hallitus on viime vuosina herännyt energiapolitiikkaan ja kiinnittää nyt erityishuomiota erilaisiin energiasäästöratkaisuihin teollisuuden aloilla. Kiinan hallitus on myös sitoutunut tukemaan eri alojen paikallisia teollisuusyrityksiä erinäisissä energiatehokkuuteen tähtäävissä hankkeissa. Näin ollen Kiinan markkinat ovat kapasiteettinsa puolesta ehdottomasti Runtechin tämän hetken suurin markkina ja asiakas.

Toiseksi suurin markkina-alue on Eurooppa. Tämän jälkeen tulevat muu Aasia, Afrikka ja Etelä-Amerikka. Runtech tähtää lähivuosina vahvistamaan asemansa voimakkaasti myös Pohjois-Amerikan markkinoilla. Runtechin pääasiakaskunta koostuu eri paperiteollisuuden alan yrityksistä ja yksityisistä toimijoista. Tämän lisäksi muutamia asiakkuuksia löytyy myös eri prosessiteollisuuden aloilta.

2.5 Työn tavoite ja motivaatio

Työn tavoitteena toimivat Runtech Systems Oy:n tarve tyhjöturbojärjestelmän FAT-testauksen standardoinnille ja koeajon suorittamista tukevalle ohjeistukselle. Tarkoituksena on luoda dokumentit, jotka asettavat selkeät raamit ja vakio toimintatavat turbon koeajon yhteydessä suoritettaville testaustoimenpiteille. Näiden dokumenttien on määrä toimia sekä koulutusmateriaalina uusien Pilot-laitoksen työntekijöiden perehdyttämisessä että turbotestauksen laadunvalvonnan välineinä. Tavoite on, että jokainen FAT-testauksesta huolehtivat Pilot-laitoksen työntekijä suorittaa koeajon jatkossa täysin samalla tavalla ja samoja toimenpiteitä noudattaen.

Yrityksen pitkän tähtäimen tavoitteena ja motivaationa on tällä tavoin tehostaa turbotuotannon laadunvalvontaa sekä samanaikaisesti kerätä laitteistostaan koeajodataa tulevaisuuden tuotekehitystä varten. Lisäksi FAT-testauksen standardoinnin ja tähän liittyvien dokumenttien on määrä toimia myös osana yrityksen markkinointistrategiaa. Koska yksikään toinen vastaavan teknologia-alan laitetoimittaja ei tunnetusti testaa jokaista asiakkaalleen toimitettavaa tuotetta yksilönä, on tämä Runtechille erinomainen laadun- ja bonus myös myyntitilanteissa.

Kaikki tämä on osa Runtechin pitkän tähtäimen strategiaa. Osa pyrkimystä kohti kestävästä kehityksestä, laadusta ja asiakastyytyväisyydestä. Runtechin motivaationa on halu olla oman teknologia-alansa paras ja suurin laitetoimittaja. Runtech ei aio kilpailla tuotteissaan hinnalla ja olla oman alansa edullisin laitetoimittaja. Päinvastoin – Runtech tähtää alansa parhaaseen tekniikkaan, laatuun ja kestävyys.

3 TURBON FAT-TESTAUKSEN STANDARDOINTI

3.1 Turbon Pilot-laitos

Turbon Pilot-laitos on toteutettu kokonaisuudessaan täysin turbotuotteiden FAT-testausta eli laadunvalvontaa ja tuotekehitysmittauksia varten. Järjestelyllä pyritään simuloimaan mahdollisimman tarkasti turbojen loppusijoituskohteen olosuhteita ja tällä tavoin todentamaan turbon suorituskyky osana prosessia. Samanaikaisesti kerätään jokaisesta suoritetusta koeajosta dataa tuotteiden jatkokehitystyötä varten. Runtechin tuotekehitysorganisaation työntekijät analysoivat tätä dataa työssään päivittäin, etsien jatkuvasti uusia kehityskohteita ja keinoja viedä tuotteitaan eteenpäin. Tämä on yksi Runtech Systems Oy:n kestävä kehityksen periaatteista.

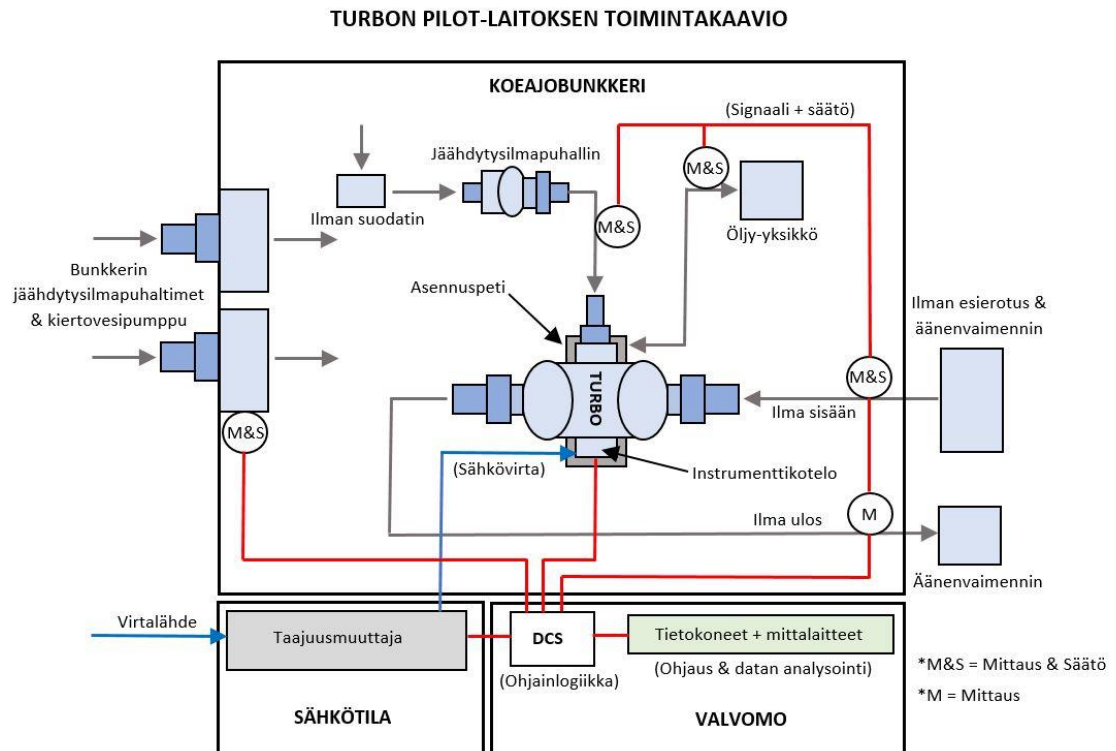
Suurin osa Pilot-laitokseen liittyvästä materiaalista ja sen järjestelyistä ovat salassapitosopimuksen (NDA) alaista tietoutta. Näin ollen käsittelemme aihetta tämän työn yhteydessä vain hyvin yleisesti ja pintapuolisesti. Tarkoitus on tästä huolimatta pyrkiä antamaan työn lukijalle mahdollisimman hyvä yleiskäsitys turbotestauksen järjestelyistä, mittauksista sekä näihin liittyvistä haasteista.

3.1.1 Pilot-järjestelyt ja laitteisto

Tutustutaan mittausjärjestelyihin sekä Pilot-laitoksen toimintaan tätä esittävän periaatekaavion avulla. Kuviossa 2 oleva turbon Pilot-laitoksen toimintakaaviosta nähdään, että koeajettava turbo on sijoitettu täysin omaan bunkkeriinsa.

Turboa ympäröivällä bunkkerilla on monta tehtävää. Bunkkeri eristää turbosta syntyvät meluhaitat ja mahdollistaa samanaikaisesti turboa ympäröivän testitilan olosuhteiden hallinnoinnin sekä tarkkailun. Lisäksi bunkkeri mahdollistaa myös turbon turvallisen ylikuormitustestaamisen ja uusien tuotteiden tuotekehitysajot. Vaikka kaikki tyhjöturbon komponentit on lähtökohtaisesti suunniteltu niin, ettei turbon hajoamisesta tulisi aiheutua vaaraa sen ympäristölle, on tämä lähes olematon mahdollisuus haluttu sulkea pois kokonaan turboa ympäröivän bunkkerin avulla. Mikäli laitteisto sattuisi edellä

mainittujen testien aikana hajoamaan, ei hajoamisesta aiheudu varaa tehtaan henkilökunnalle tai Pilot-laitoksen työntekijöille missään olosuhteissa.



KUVIO 2. Turbon Pilot-laitosjärjestelyn periaatekaavio.

Turbo asennetaan koeajotilaan bunkkerissa olevalle, lattian sisään betonivaletulle teräsrakenteiselle asennuspedille. Asennuspedin tehtävänä on toimia tukevana alustana massiiviselle laitekokonaisuudelle sekä eristää turbon perusta muusta tehdasympäristöstä. Tällä tavoin turbon moottorin ja toimilaitteen pyörimisliikkeen seurauksena syntyvät värinät eivät välity muuhun ympäristöön sekä resonoi yhdessä turbon rakenteiden kanssa. Mikäli näin kävisi, lisäksi tämä myös turbon pyörimisliikkeen seurauksena syntyneiden värinöiden voimakkuutta sekä vähentäisi huomattavasti mm. turbon laakereiden ja juoksupyörän käyttöikä. Vastaavasti ympäristöstä aiheutuvat värinät eivät välity koeajopenkissä olevalle turbolle. Tämä lisää myös turbolle suoritettavien värinätaso- ja -spektrimittausten tarkkuutta.

Turbon eristetty koeajotila mahdollistaa turboa ympäröivän tilan olosuhteiden hallinnoinnin ja tarkkailun. Normaalin FAT-testin aikana pyritään simuloimaan turbon loppusijoituskohteen olosuhteita säätämällä koeajotilan lämpötila noin 40 °C. Koeajotilan lämpötilaa tarkkaillaan useampaan eri mittauspisteeseen sijoitetun lämpötila-anturin

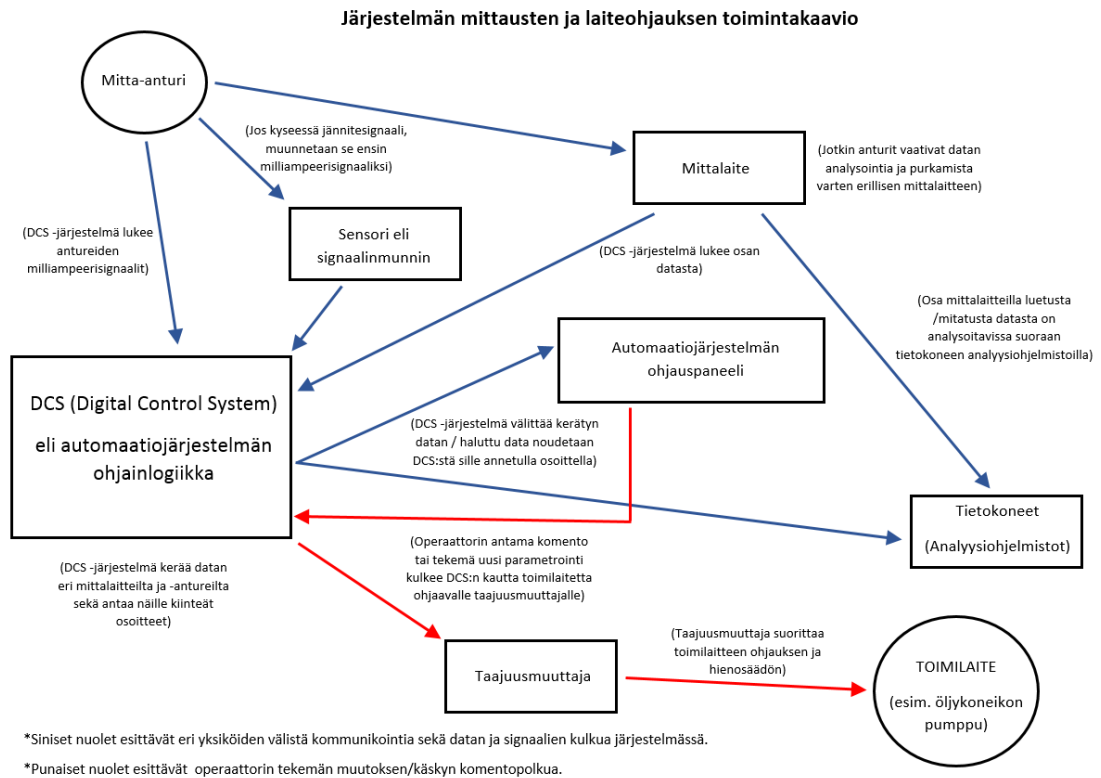
avulla. Lisäksi seurataan analogisen painemittarin avulla myös koeajobunkkerin ilmanpainetta laitteiston ja putkistojen mahdollisten vuotojen varalta. Bunkkerin lämpötilaa säädellään koeajotilan jäähdytysilmapuhaltimien ja kiertovesipumpun avulla. Näiden tehtävänä on pitää koeajobunkkeri halutussa lämpötilassa, kun turbon moottori ja moottorin jäähdytysilma sekä turbon läpi virtaava ilmavirtaus siirtävät tasaisesti lämpöä ympäristöönsä turbon ollessa käynnissä.

Turbon koeajotilan lämpötilan vakiointi on erityisen tärkeää myös turbon moottorin lämpötilojen ja sen lämpötestauksen osalta. Koeajotilaan sijoitettu moottorin jäähdytysilmapuhallin ottaa käyttämänsä pölysuodatetun jäähdytysilman usein suoraan samasta tilasta jossa turbo pyörii. Tämä tarkoittaa, että mikäli koeajotilan temperointi on hoidettu oikein, niin turbon moottorille menevä jäähdytysilma vastaa tällöin myös tehdasolosuhteissa käytössä olevaa noin 35 - 40 °C jäähdytysilmaa. Mikäli käytettävän jäähdytysilman lämpötila kohoaa liian korkeaksi (esim. yli 50 °C), vaikuttaa tämä suoraan moottorin jäähtyvyyteen. Tämä puolestaan nostaa moottorin käämien lämpötiloja ja vähentää käytettävissä olevan tehon määrää.

Turbon koeajojärjestely sisältää laakereiden voitelua varten myös oman öljykoneikkonsa. Öljykoneikon toimintaa hallinnoidaan sekä valvotaan laitteeseen asennettujen säätöventtiilien, mittalaitteiden ja -antureiden avulla, jotka välittävät tiedon laitteen toiminnasta automaation digitaaliselle ohjausjärjestelmälle (DCS). Öljykoneikolta mitataan mm. virtaavan öljyn paineet, tilavuusvirtaus ja lämpötilat sekä ennen että jälkeen turbon. Lisäksi tarkkaillaan öljysäiliön pinnan tasoa ja öljynsuodattimien tilaa.

Samalla tavoin hallinnoidaan myös muita koeajon oheislaitteita kuten moottorin jäähdytysilmapuhallinta, tilan jäähdytysilmapuhallinta ja kiertovesipumppua. Laitteisiin on asennettu kiinteät mittaukset, joista tarkkaillaan mm. lämpötiloja, paineita sekä niiden aikaansaamaa tilavuusvirtausta. Nämä mitta-anturit lähettävät tasaisesti signaalia automaatiojärjestelmän ohjainlogiikalle, josta tämä data sitten noudetaan näille määritettyjen kiinteiden osoitteiden kautta koeajajan nähtävälle automaatiojärjestelmän ohjauspaneeliin sekä tietokoneilla oleviin analyysiohjelmistoihin. Laitteiden etäohjaus on toteutettu kukin omalla taajuusmuuttajallaan, jotka ovat liitettynä automaatiojärjestelmän ohjainlogiikan yhteyteen ja ovat näin hallinnoitavissa suoraan koeajovalvomossa olevasta automaatiojärjestelmän ohjauspaneelistä. Kaikki koeajojärjestelyn yhteydessä olevat

kiinteät mittaukset ja ohjaukset ovat toteutettu saman periaatteen mukaisesti. Tätä periaatetta kuvaamaan on laadittu kuvio 3 (KUVIO 3.)



KUVIO 3. Järjestelmän mittauksen ja laiteohjauksen toimintakaavio.

Yllä olevan kuvion mukaisesti suurin osa turbon koeajossa käytettävistä mitta-antureista välittävät signaalinsa kiinteiden instrumenttiliitännöjen kautta suoraan koeajojärjestelmän automaation ohjainlogiikalle. Näihin lukeutuvat myös itse tyhjöturboon kiinnitettävät mittaukset ja instrumentit. Riippuen siitä mikä signaalityyppi on kyseessä, voidaan signaali joutua ensin kierrättämään erillisen sensoriyksikön kautta, jossa signaali muunnetaan sellaiseen muotoon että ohjainlogiikka ymmärtää sitä (esim. muunnetaan jännitesignaali milliampeerisignaaliiksi).

On tapauksia, joissa spesifiset mitta-anturit vaativat signaalin/datan lukuun ja käsittelyyn aivan oman mittalaitteensa. Tällöin anturin lähettämä signaali luetaan ja käsitellään ensin tähän tarkoitettua mittalaitetta apuna käyttäen, jonka jälkeen se vasta voidaan siirtää eteenpäin. Tämän jälkeen data siirtyy mittalaitteelta joko automaatiojärjestelmän ohjainlogiikalle tai vaihtoehtoisesti suoraan tietokoneen analyysiohjelmistoon. Kaikki antureiden avulla ohjainlogiikalle kerätty data on noudettavissa sieltä tälle erikseen määritettyä yksilöllistä osoitepolkua käyttäen. Näin voidaan kaikki anturien lähettämä

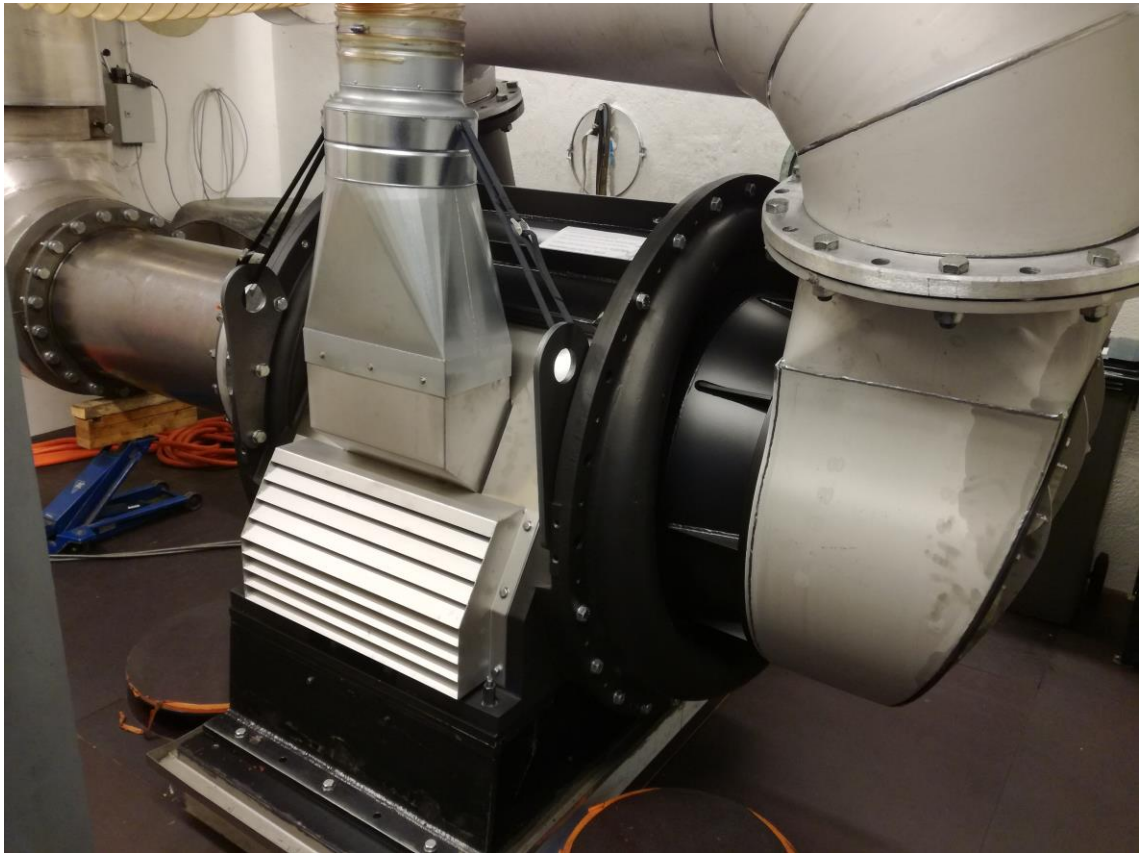
data esittää myös automaatiojärjestelmän ohjauspaneelissa sekä tietokoneen analyysiohjelmistoissa. Datan tallentaminen ja säilöntä toteutetaan järjestelmän yhteyteen liitettyä tietokonetta apuna käyttäen. Automaatiojärjestelmän ohjainlogiikalle tuleva signaalidata päivittyy reaaliajassa ja tietokone noutaa sekä tallentaa datan.

Automaatiojärjestelmän ohjauspaneelissa ja tietokoneen analyysiohjelmistoissa esitettävän datan perusteella operaattori tekee päätöksensä laitteistojen ohjauksesta sekä hallinnoi näiden parametointia automaatiojärjestelmän ohjauspaneelin kautta. Kun operaattori antaa komennon laitteiston ohjauksesta tai tekee muutoksen niiden parametointiin, kulkee tämä viesti ensin ohjauspaneelilta järjestelmän ohjainlogiikalle ja vasta sieltä laitteiston omalle taajuusmuuttajalle, joka toimii laitteen ohjainmoduulina sekä toimeenpanee käskyn. Näin ollen kaikki ohjauksen ja mittauksen dataliikenne kulkee lähes poikkeuksetta automaatiojärjestelmän ohjainlogiikan kautta. Mikäli jokin asetetuista parametroinnin raja-arvoista ylittyy tai alittuu, järjestelmä myös ilmoittaa tästä ja tarvittaessa ajaa itsensä alas hallitusti ennalta määrättyjä komentoja sekä toimintaohjeita mukaillen. Tämä pätee myös turbon ohjaukseen.

Turboa ajetaan oman taajuusmuuttajansa sekä tämän komentojen ja parametroinnin avulla. Taajuusmuuttaja keskustelelee automaatiojärjestelmän ohjainlogiikan sekä koeajon valvomon tietokoneiden kanssa. Ohjaus tapahtuu valvomon tietokoneilta, joilla hallinnoidaan taajuusmuuttajan komentoja ja parametointia tähän tarkoitettun ajo-ohjelmiston avulla. Mikäli jokin turboon liittyvän mittauksen raja-arvoista ylittyy tai alittuu, puuttuu automaatiojärjestelmän ohjainlogiikka tähän aivan samalla tavalla kuin muidenkin laitteiden kanssa ja suorittaa järjestelmän hallitun alasajon.

Turbon kierrosnopeutta säädellään taajuusmuuttajan nopeusohjeen eli taajuusmuuttajalta moottorille syötettävän virran lähtötaajuuden avulla. Turbon imuputkesta turbolle päätyvän ilmamäärän suuruutta voidaan järjestelyssä hallita myös erikseen tähän tarkoitukseen asennetun kuristusventtiilin avulla, jota ohjataan omalla säätökytkimellään. Avaamalla venttiiliä, turbo saa enemmän ilmaa ja sulkemalla venttiiliä turbolle kulkee putkistosta vähemmän ilmaa. Koeajojärjestelyssä turbon imu- ja poistopuolelta mitataan mm. ilman tilavuusvirtaus, lämpötila, paine ja ilman kosteus. Yhdessä turbolle imuputkesta saapuvan ilmamäärän sekä turbon pyörimisnopeuden avulla hallinnoidaan sen aikaansaamaa tyhjötasoa sekä tehonottoa. Tällä tavoin voidaan jokaisen eri tyhjäturbotyyppin puhallin- ja tuottokäyrästöt määrittää sekä todentaa käytännössä

koeajopenkissä suoritettavien mittausten avulla. Alla olevassa kuvassa 2 on yksi Runtechin turboista istutettuna Pilot-laitoksen koeajopenkkiin ja valmiina testausta varten.



KUVA 2. Runtechin EP500-700-S -tyhjöturbo koeajovalmiina Pilot-laitoksen koeajopenkissä.

3.2 Turbon koeajon standardi

Turbon tuotantokoeajon eli FAT-testin (Factory Acceptance Testing) tarkoituksena on varmistaa toimitettavan tuotteen laatu ja normaalitoiminta. Kyseessä on nelivaiheinen standardiprosessi ja nämä neljä vaihetta ovat:

1. Lämpöajo
2. Laakereiden kunnonvalvonta
3. Kiihdytysajot
4. Tuottomittaukset.

Turbon FAT-testauksen ensimmäisessä vaiheessa suoritetaan tyhjöturbon moottorin lämpötestaus. Lämpötestauksen aikana moottoria kuormitetaan sen maksimi tehonotolla. Kun moottorin lämpötila saavuttaa normaalin toiminta-alueensa, kytketään päälle moottoria jähdyttävä jähdytyspuhallin, jolloin lämpötilojen tulee tasaantua ja asettua aloilleen. Moottorin lämpötilojen on laitteiston täydellä kuormalla eli maksimi-ilmavirtauksella ja tätä vastaavalla tyhjötasolla asetettava sille ennalta määritetylle tasolle. Mikäli moottorin lämpötilat ylittävät ennalta määrätyn normaalin toiminnan vyöhykkeen turbon maksimi tehonotolla, tuote hylätään ja sen moottori vaihdetaan.

Lämpöajon aikana seurataan myös muiden tyhjöturbon komponenttien ja osa-alueiden normaalitoimintaa. Valvottavia asioita ovat mm. laakerien lämpötilat, öljyvirtaukset, öljyn paineet sekä toimilaitteen ja sen pyörimisliikkeen laakereille kohdistaman tärinän voimakkuus. Toimilaitteesta ja moottorin pyörimisestä aiheutuvat tärinätasot eivät turbon käynnin aikana saa millään kierrosnopeudella tai kuormalla ylittää näille määritettyjä maksimitasoja. Mikäli näin käy, turbo ei läpäise FAT-testiä ja se palautetaan takaisin tuotantoon korjaavien toimenpiteiden suorittamiseksi.

Mikäli tuote läpäisee lämpöajo-osuuden, siirrytään FAT-ajon seuraavaan vaiheeseen eli laakerien kunnonvalvontaan. Laakerien kunnonvalvonnan yhteydessä analysoidaan laakereilta turbon pyöriessä luetut tärinäspektrit. Nämä tärinäspektrit mitataan suoraan laakeripesiin kiinnitettäviä etävalvonnan tärinäantureita apuna käyttäen. Kyseessä on tähän käyttötarkoitukseen suunnitellut kiihtyvyyssanturit, joilla voidaan mitata laakerien kiihtyvyysspektrit sekä aksiaalisessa että horisontaalisessa suunnassa. Tämän jälkeen nämä kiihtyvyysspektrit analysoidaan tätä tarkoitusta varten olevassa analyysiohjelmistossa, joka purkaa luetut spektrit Fourier'n integraalimuunnoksen avulla erillisiksi nopeus- ja kiihtyvyysspektreiksi. Näistä spektreistä tutkitaan laakerien vikataajuudet, mahdolliset linjausvirheet ja viitteet juoksupyörän liikaepätasapainosta. Tämä tarkastelu suoritetaan usealla eri kierrosnopeudella. Mikäli spektrit ovat puhtaat ja laakerien vikataajuuksille tai niiden välittömään läheisyyteen ei osu epäilyttäviä tärinäpiikkejä, voidaan laakerit todeta kunnonvalvonnan läpäiseviksi sekä siirtyä näin testauksen seuraavaan vaiheeseen.

Seuraavana vuorossa on turbon koeajon kiihdytysajo-osuus. Kiihdytysajojen aikana suoritetaan kolme kappaletta hitaita kiihdytyksiä ja yksi erittäin nopea kiihdytys. Kiihdytysajojen tarkoituksena on sulkea pois sekä ilmiantaa ja paikallistaa mahdolliset

resonanssitaajuudet eli taajuudet, joissa turbon muu rakenne pääsee resonoimaan pyörivän toimilaittekokonaisuuden kanssa. Tämä puolestaan nostaa pyörivän moottorin ja toimilaitteen laakereihin kohdistamia värinätasoja huomattavasti. Tällaisia resonanssitaajuuksia ei laitteistossa ajon aikana saa esiintyä. Koska tyhjöturbon toimialueen kaikkien eri kierrostaajuuksien testaaminen yksitellen olisi aivan liian raskas ja aikaa vievä toimenpide, on tämä ongelma ratkaistu hitailla kiihdytysrampeilla. Näiden hitaiden kiihdytysten aikana tyhjöturbo käy läpi kaikki eri kierrostaajuuteensa ja vaikka kierrosnopeus hiljalleen muuttuu, niin on aika jolla kutakin kierrosnopeusalueetta ajetaan riittävän suuri siihen, että mahdolliset herätetaajuudet ehditään havaita.

Mikäli herätetaajuuksia ei havaita ja värinätasot pysyvät näiden kolmen hitaan kiihdytyksen aikana alle sovittujen raja-arvojen, suoritetaan lopuksi vielä yksi nopea kiihdytys. Nopean kiihdytyksen tarkoituksena on paikallistaa mahdollinen juoksupyörän epätasapaino sekä laakerien linjausvirheet, mikäli nämä eivät aiemmin mitatuista laakerien värinäspektreistä olleet havaittavissa. Molemmat edellä mainituista ilmiöistä ovat havaittavissa hetkellisesti kohonneina värinätasoina laakereilla. Mikäli värinätasot pysyvät sallituissa raja-arvoissaan, tuote läpäisee kiihdytysajotestauksen. Lopuksi jäljellä on enää koeajon tuottomittausosuus, jonka tarkoituksena on todentaa tyhjöturbon tuottama tyhjö ilmavirtauksen ja tehonoton suhteen.

Koeajon tuottomittausosuuden aikana määritetään turbon minimi ja maksimi tehonottoa vastaavat ilmavirtaukset ennalta määritetyillä kierrosnopeuksilla. Kun jokaista määritettyä kierrosnopeutta vastaavat minimi ja maksimi ilmavirtaukset on määritetty, jaetaan saatu ilmavirtausväli/toiminta-alue tasan sopiviin välipisteisiin, joilla turboa tämän jälkeen ajetaan. Näistä pisteistä mitataan sekä otetaan talteen turbon tuottoa ja tehonottoa vastaavat mittausdatat, joidenka avulla saadaan tuotteen tuotto- ja puhallinkäyrät todennetuiksi. Mikäli kyseiselle turbotyypille aiemmin sen tuotteistuksen yhteydessä laaditut puhallinkäyrät vastaavat nyt koeajettavan turbon mittausdatan avulla laadittuja tuottokäyriä, niin turbo katsotaan tuotoiltaan asiakkaalle myytyä tuotetta vastaavaksi ja se läpäisee koeajon.

Lopuksi jokainen suoritettu tuotannon koeajo raportoidaan ja tämä raportti toimitetaan asiakkaalle turbotoimituksen yhteydessä. Raportti sisältää tuotteen perustiedot sekä koeajon aikana määritetyt laitteiston lämpöajotrendit, kiihdytysajojen aikaiset värinätasotrendit ja tuottomittauskäyrästöt. Koeajoprosessin on tarkoitus suojella sekä

asiakasta että Runtech Systems Oy:ta ja taata molempien osapuolien tyytyväisyys toimitettavaan tuotteeseen.

3.2.1 Koeajon ohjeistus ja tarkistuslista

Tämän työn yhteydessä on tarkoitus luoda Runtech Systems Oy:n tyhjöturbojärjestelmän koeajolle standardirakenne, joka on esitetty kappaleessa 3.2 (kts. kappale 3.2 Turbon koeajon standardi) sekä tätä rakennetta vastaavat koeajajan ohjeistus (LIITE 1.) ja tarkistuslista (LIITE 2.). Dokumentit ovat salassapitosopimuksen (NDA) alaisia ja tarkoitettu vain yrityksen oman henkilöstön nähtäviksi. Näin ollen niiden rakennetta ja sisältöä käsitellään tässä julkiseksi tarkoitettussa dokumentissa vain hyvin lyhyesti ja pintapuolisesti.

Turbon koeajon ohjeistuksen tarkoitus on toimia manuaalina ja ohjenuorana koeajon standardin mukaiselle suorittamiselle. Ohjeistus pitää sisällään mm. lyhyen selostuksen koeajon yhteydessä noudatettavista turvallisuussäädöksistä ja varotoimenpiteistä (esim. sähkö- ja paloturvallisuus). Lisäksi se tarjoaa ohjeet turbon taajuusmuuttajan parametroinnille moottorityypin mukaan, raja-arvot koeajon yhteydessä tarkasteltaville mittauksille sekä eri turbo- ja moottorityyppien toiminta-alueille (esim. ilmavirtaukset, tehonotot ja tyhjötasot). Ohjeistus kertoo askel askeleelta koeajon yhteydessä käytettävien oheislaitteiden, mittalaitteiden ja ohjelmistojen käytöstä, suoritettavista koeajotoimenpiteistä, koeajon yhteydessä mitatun datan analysoimisesta, ongelmatilanteissa laitteistolle suoritettavasta vianetsinnästä sekä koeajon raportoinnista. Koeajon ohjeistus ei näin ollen vain opeta suorittamaan standardin mukaista koeajoa, vaan ennen kaikkea ohjaamaan ja hallinnoimaan tyhjöturboa sekä tämän oheislaitteita Pilot-laitoksen koeajopenkissä oikeaoppisesti.

Koeajon tarkistuslistan tarkoitus on toimia muistilistana koeajon aikana suoritettavista toimenpiteistä sekä samanaikaisesti valvoa ja todentaa koeajon suorittamista. Koeajon tarkistuslista tiivistää kaikki koeajon yhteydessä suoritettavat toimenpiteet, parametroinnit ja raja-arvot muutaman sivun mittaiseksi listaukseksi, jota koeajaja kuittaa sekä täydentää ajon edetessä. Näin voidaan valvoa ja todentaa koeajojen tulevan aina suoritetuksi samoja toimenpiteitä noudattaen koeajajasta riippumatta.

4 TURBON FAT-TESTAUKSEN KEHITYSKOHEET

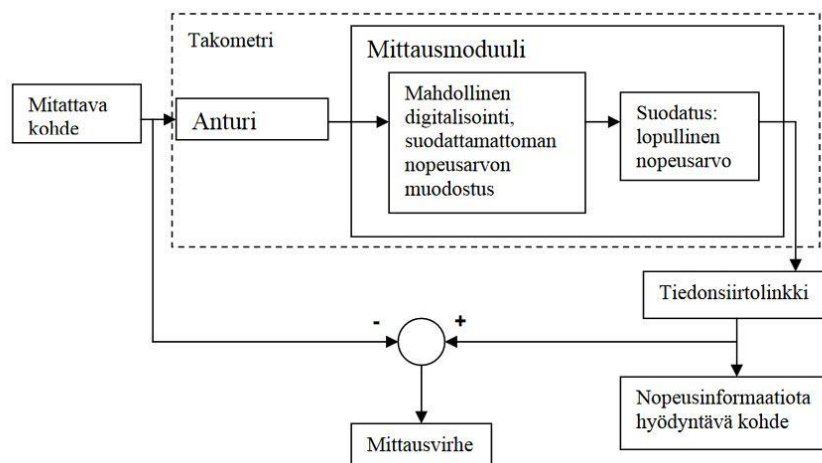
4.1 Yleiset kehityskoheet

Turbon koeajon mahdollisia kehityskohteita ovat mm. reaaliaikaisen kierrosnopeusmittauksen kehittäminen ja käyttöönotto, reaaliaikaiset laakerien kunnonvalvonnan värinäspektrimitaukset, koeajon raportoinnin kehittäminen sekä turbon moottorin jäähdytyspuhaltimen aikaansaaman ilmavirtauksen mittausjärjestelyn laadinta.

Tämän työn yhteydessä esitellään suppeasti ratkaisut sekä turbon reaaliaikaisen kierrosnopeuden että jäähdytyspuhaltimen aikaansaaman ilmavirtauksen mittauksille koeajon aikana. Kappaleessa 4.2 sivutaan myös suppeasti muutamia koeajon dokumentointiin ja raportointiin liittyviä ideoita.

4.1.1 Reaaliaikainen kierrosnopeuden mittaus

Reaaliaikaisen kierrosnopeuden mittaus on yksinkertaisinta toteuttaa optista laser takometriä apuna käyttäen. Takometri on laite tai järjestelmä, joka tuottaa pyörimisnopeusinformaatiota mittauskohdeesta. Useimmat nopeusmittausanturit eivät todellisuudessa mittaa suoraan esim. kappaleen pyörimisnopeutta, vaan nopeusinformaatio on osa jonkin muun mitattavan muuttujan kaavaa. Kuviossa 4 on esimerkki nopeusmittausjärjestelmän toimintaperiaatteesta.



KUVIO 4. Nopeusmittausjärjestelmän toimintaperiaate (Kivimäki, 2005).

Optiset takometrit ovat sähkömoottorien pyörimisnopeusmittauksissa yleisimmin käytetty anturityyppi. Optiset anturit ovat lähes huoltovapaita. Ne kestävät ulkoisia magneettikenttiä ja ovat rakenteeltaan suhteellisen yksinkertaisia sekä vieläpä melko edullisia. Optisten antureiden heikkous on, että niiden sisältämät optiset osat eivät siedä likaa tai pölyä. Näin ollen optisten antureiden käyttökohteiden tulee olla puhtaita tai antureiden ulkokuoren tiivis. (Kivimäki, 2005.)

Optiset laser anturit vaativat myös huomattavasti vähemmän tilaa kuin monet muut vastaavaan tarkoitukseen käytettävät nopeusanturit, eivätkä ne vaadi fyysistä kontaktia mitattavan kappaleen ja anturin välillä. Korkeakierrostaajuus sovelluksissa tämän kontaktin puuttuminen lisää merkittävästi mittausturvallisuutta. Koska Runtechin turbosovelluksessa puhaltimen molemmat päät ovat lisäksi vapaita eli varattuja toimilaitteelle ja ylimääräistä tilaa kierrosnopeuden mittausta varten ei tuotteen suunnittelun yhteydessä ole jätetty, on laser takometri ainut varteenotettava vaihtoehto kierrosnopeuden mittaukselle.

Optisen laser takometrin toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen. Laser takometrin lähettämä säde suunnataan kohti pyörivää kappaletta, johon on kiinnitetty heijastinteippiä tai vaihtoehtoisesti jokin muu heijastava pinnoite, josta infrapunavalon säde heijastuu takaisin takometrille. Takometri mittaa näiden takaisin heijastuvien pulssien määrää aikayksikköä kohden, jolloin saamme tietää pyörivän kappaleen pyörimisnopeuden. Mikäli pyörivän kappaleen pinta on erittäin kiiltävä, on myös olemassa laser takometreja, jotka mittaavat takaisin heijastuvan infrapunavalon kontrastieroja. Tällöin kiiltävään pintaan tehdään selkeä merkki esimerkiksi permanenttitussilla tai maalilla, jolloin osuessaan tähän merkkiin takaisin takometrille heijastuvan infrapunavalon kontrasti muuttuu. Takometri havaitsee tämän muutoksen ja lukee tästä pulssin aikayksikköä kohden. (Hareendran)

Optisen laser takometrin mittaama pulssitaajuus signaali muunnetaan lopuksi digitaaliseen ohjausjärjestelmään (DCS) yhteensopivaksi erillisen laskurikortin avulla. Pyörimisnopeus saadaan laskemalla tietyssä ajassa tulleiden pulssien lukumäärä. Menetelmä on yksinkertainen ja riskitön. Käyttöä varten tarvitaan vain anturia varten suunniteltu vakiokohdistettu teline, jonka avulla takometrin lasersäde asennetaan sekä kohdistetaan tyhjöturbon moottorin ja pesien väliin niin, että säde osuu moottorin akselille valittuun kohtaan. Tarkempia suunnitelmia telineestä, sen rakenteesta tai sijoittelusta ei

käydä läpi tämän opinnäytetyön yhteydessä, sillä nämä dokumentit ovat salassapitosopimuksen (NDA) alaisia ja tarkoitettu vain yrityksen oman henkilöstön nähtäviksi. (Ammatti-Instituutti Helsinki, 1997)

4.1.2 Jäähdytyspuhaltimen ilmavirtaus mittaus

Tämän sovelluksen yhteydessä ilmavirtauksen mittauksella tarkoitetaan tyhjöturbon moottorille kulkevan jäähdytysilmaputken tietyn poikkileikkauskohdan läpi virtaavan ilman tilavuusvirran määrittämistä. Tilavuusvirtauksen yksikkönä käytetään m^3/s . Tarkoitus on toteuttaa automaattinen mittausjärjestely, joka mittaa reaaliajassa turbon moottorille menevän jäähdytysilman tilavuusvirtausta ja välittää tästä tiedon Pilot-laitoksen DCS-järjestelmään.

Ilman tilavuusvirtauksen selvittämiseksi turvaudutaan niin kutsuttuun Vortex-virtausmittaukseen eli pyörreanamittausmenetelmään. Menetelmä perustuu pyörteiden synnyttämiseen ilmavirtauksessa. Pyörteet saadaan aikaiseksi esim. tähän tarkoitetuilla kolmion muotoisilla siipipaloilla eli virtausesteillä, joissa on ilmanpainemittaus. Virtauseste tulee sijoittaa symmetrisesti putken keskelle, kohtisuoraan virtausta vastaan ja esteen korkeuden on oltava putken halkaisijan suuruinen. (Frondelius, 2005.)

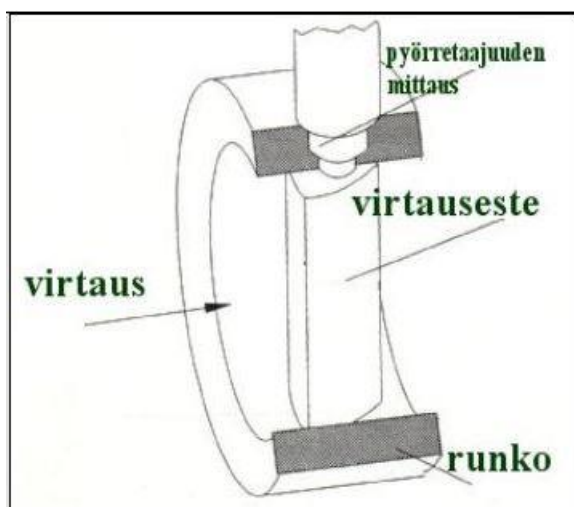
Pyörteiden syntymistaajuus eli pyörteiden syntymisnopeus aikayksikköä kohden on verrannollinen ilman virtausnopeuteen putkistossa, joten mitä suurempi on ilman virtausnopeus, niin sitä nopeammin pyörteitä syntyy. Nämä pyörteet saavat puolestaan aikaan painevaihteluja, jotka voidaan mitata virtausesteissä olevilla ilmanpaineantureilla. Kun nämä ilmanpaineanturit ovat kytkettynä spesifisesti tähän tarkoitukseen valmistetun mittalaitteen kanssa, osaa mittalaite nyt erottaa pyörteiden syntymistaajuuden niiden aikaansaamien ilmanpainevaihteluiden pohjalta. Tätä syntymistaajuutta apuna käyttäen mittalaite laskee sitten ilman virtausnopeuden näiden välillä olevan verrannollisuuden pohjalta, kun putken sisähalkaisija tunnetaan. Kun tunnetaan putkessa virtaavan ilman virtausnopeus, voidaan sen tilavuusvirtaus laskea kaavaa 1 apuna käyttäen. (Frondelius, 2005.)

(1)

$$Q_i = A \cdot v$$

, jossa Q_i = ilman tilavuusvirtaus (m^3/s)
 A = putken poikkipinta-ala (m^2)
 v = ilman virtausnopeus (m/s).

Todellisuudessa mittalaite kykenee suorittamaan myös tämän laskennan täysin itsenäisesti ja arvot voidaan noutaa DCS-järjestelmään suoraan mittalaitteelta. Kuvassa 3 on esitetty Vortex-virtausmittausasennuksen periaatekuva.



KUVA 3. Vortex-virtausmittausasennuksen periaatekuva. (Frondelius, 2005.)

4.2 Dokumentaation kehityskohteet

Dokumentaation kehityskohteita ovat mm. vikakirjasto koeajon ohjeistuksen yhteyteen. Vikakirjastoa varten on koeajojen yhteydessä nyt kerätty ja analysoitu dataa noin kaksi vuotta. Tämä data on tarkoitus valjastaa käytäntöön koeajoa tukevan vikakirjaston muodossa, jonka tarkoitus on antaa esimerkkitapaukset kunkin vian aiheuttamista ongelmista ja näin luokitella ne. Kirjasto kertoo myös kuinka vika löydettiin ja mitä laitteita sekä menetelmiä etsinnän yhteydessä käytettiin. Tämä tulee merkittävästi helpottamaan koeajajan vianetsintäprosessia sekä korjaavien toimenpiteiden määrittämistä.

Toinen merkittävä dokumentaation kehityskohta on tuotekehitysajaja varten laadittava oma ohjeistuksensa. Tuotekehitysajojen yhteydessä suoritettavat tuottomittausajot eroavat ratkaisevasti normaalista FAT-ajosta ja vaativat näin ollen oman ohjeistuksensa.

Näin toimitaan, sillä yrityksen toiminnan kannalta on erittäin tärkeää, että kaikki uusien tuotteiden testaus tulee suoritetuksi samaa kaavaa ja standardia noudattaen.

Koeajon dokumentointia kehitettäessä tulee tulevaisuudessa ottaa huomioon myös yrityksen mahdollinen strategia käyttää tätä varten erikseen laadittuja dokumentteja tuotteiden markkinoinnin välineinä. Tämä tarkoittaa, että turbotuotteiden FAT-testauksen menetelmistä sekä testauksen yhteydessä käytettävästä laitteistosta tulee laatia oma infopakettinsa.

Kun kaikki turbotestaukseen liittyvät dokumentit ovat kunnossa, niin ei suinkaan tule unohtaa koeajon nykyisten raportointipohjien kehitystyötä. Nämä raportointipohjat tulee automatisoida niin, että ne ovat PILOT-laitoksen operaattorille mahdollisimman helppokäyttöisiä. Näin minimoidaan inhimilliset virheet. Mikäli mahdollista, niin paras ratkaisu olisi todennäköisesti liittää ne yrityksen käyttämän SAP-portaalin yhteyteen.

5 POHDINTA

5.1 Työn tavoitteiden täytyminen

Tämän työn yhteydessä laadittiin standardi Runtech Systems Oy:n tyhjöturbojärjestelmän FAT-testaukselle sekä tarkasteltiin myös suppeasti muutamia koeajon kehityskohteita. Kaikki työn aikana luodut dokumentit liittyen turbon koeajoon on nyt otettu aktiiviseen käyttöön Runtechin päivittäisessä toiminnassa ja niistä on todettu olevan suurta hyötyä.

Koeajajan ohjeistusta käytetään aktiivisesti uusien työntekijöiden perehdytyksen tukena ja FAT-testauksen manuaalina. Koeajajan tarkistuslista puolestaan toimii koeajon standardin mukaista suorittamista valvovana lomakkeena ja edistää näin suoritettujen FAT-ajojen tasalaatuisuutta. Kiitos luotujen dokumenttien, on koeajon suoritustapa nyt yhdenmukaistettu koeajajasta riippumatta. Näin on varmistettu, että jokainen asiakkaalle lähtevä turbo saa varmasti ansaitsemansa tasalaatuisen kohtelun.

Vaikka työn yhteydessä otettiin jo muutamia erittäin merkittäviä kehitysaskelaita turbon FAT-testauksen suhteen, niin kehitystyötä riittää. Yksi merkittävimmistä kehityskohteista on reaaliaikaiset laakerien kunnonvalvonnan tärinäspektrimittaukset koeajoa varten sekä tämän vaatimat laitteisto ja ohjelmistomuutokset. Muita kehityskohteita ovat mm. koeajon raportoinnin automatisointi ja liittäminen yrityksen käyttämän SAP-portaalin yhteyteen, vuosien varrella kerätystä koeajodatasta laadittava vikakirjasto sekä turbomyyntiä ja markkinointia tukevan materiaalin laadinta tulevaisuutta varten.

Runtech Systems Oy:n tavoitteena on tulevaisuudessa hyödyntää tuotteiden FAT-testauksesta olemassa olevaa infomateriaalia myös oman markkinointi ja myyntistrategiansa tukena. Tämä on erittäin merkittävä kilpailuetu, sillä todistettavasti vielä yksikään toinen vastaavan alan toimittaja ei testaa jokaista toimitettavaa tuotettaan vastaavien metodien mukaisesti. Runtechin tavoite on pitkällä tähtäimellä myös merkittävästi lisätä omien asiakkaidensa tietoisuutta ja valveutuneisuutta tuotteidensa sekä niiden testauksen suhteen. Runtech pyrkii kaikessa toiminnassaan vakuuttamaan sekä nykyiset asiakkaansa että tulevat potentiaaliset asiakkaansa paperi- ja prosessiteollisuuspiireissä siitä, että tuotteiden laatuun ja laadunvalvontaan kiinnitetään

erityistä huomiota sekä panostetaan asianmukaisesti. Tämä on osa suurempaa pyrkimystä, jossa Runtech aikoo olla oman alansa laadullisesti paras ja teknologisesti edistynein laitetoimittaja. Pitkällä tähtäimellä tämän uskotaan myös lisäävän tuotteiden kysyntää.

Edellä luetellun lisäksi, työn yhteydessä perehdytään suppeasti myös yrityksen historiaan, tuotteisiin ja toimintaan, nykyiseen FAT-testausmenettelyyn sekä Pilot-laitoksen toimintaan. Tavoite oli antaa työn lukijalle yleispätevä käsitys siitä mitä yritys tekee ja miten tyhjöturbojärjestelmien testaus käytännössä tapahtuu sekä mitä puitteita tämä vaatii. Pidemmittä puheitta, voitaneen näiden tavoitteiden todeta täyttyneiksi.

5.2 Loppusanat

Lopuksi haluan vielä lausua kiitokset Runtech Systems Oy:lle mahdollisuudesta suorittaa tämä insinöörityö kokopäiväisen työn ohessa. Tämä on ollut ainutlaatuinen tilaisuus. Kiitokset myös perheelleni ja ystäväilleni sekä erityisesti luottopakilleni Glenlivet. Ilman Teitä ja tukeanne tämän työn loppuun saattaminen ei olisi ollut mahdollista. Kiitos!

LÄHTEET

Ammatti-Instituutti Helsinki. Anturitekniikan perusteet 1997. Luettu 24.4.2018.
http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver/yhteinen/anturitekniikka1_01_26.pdf

Frondelius L. 2005. Vortex-virtauksen mittaus. Luettu 24.4.2018.
<http://moodle.keuda.fi/kansiot/kao-lf/MITTAUS/VORTEX/vortex-mittaus.htm>

Hareendran T.K. RPM Measurement: Sensor and Techniques. Luettu 24.4.2018.
<https://test.electronicsforu.com/rpm-measurement-sensors-techniques/>

Kivimäki O. Diplomityö 2005. Takometrin nopeusmittausvirheiden kompensointi. Luettu 24.4.2018.
<http://metrology.hut.fi/courses/S-108.4020/s2005/esitelmat/kivimaki.pdf>

Loippo J. Opinnäytetyö 2015. Sähkömagneettisen laakeroinnin soveltaminen tyhjöturbojärjestelmään. Luettu 24.11.2017.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/99932/Loippo_Juho.pdf?sequence=1&isAllowed=y

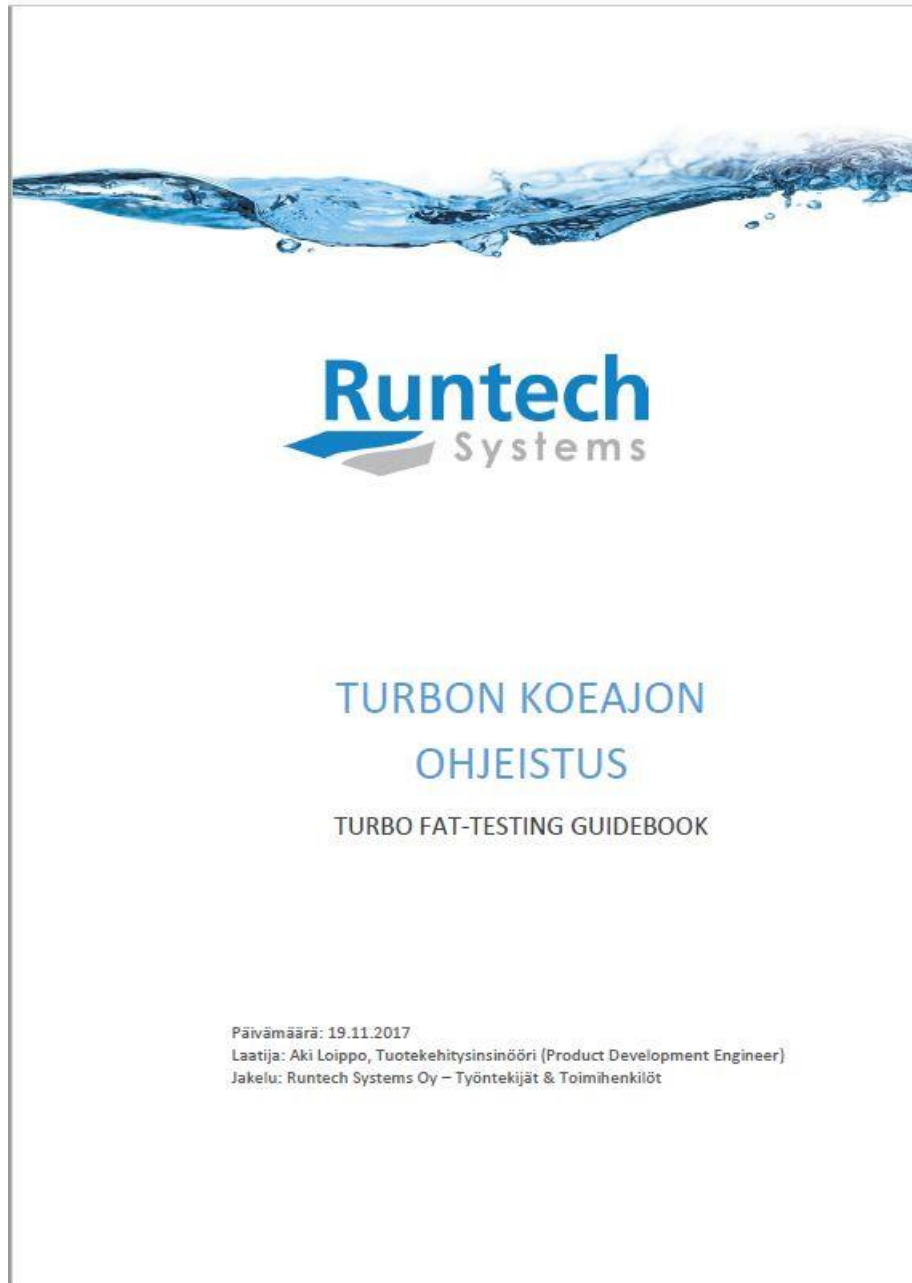
Loippo K. Haastattelu yrityksen historiasta ja toiminnasta. Henkilökohtaiset muistiinpanot 17.11.2017.

Runtech Systems Oy. Turbo edocker. Luettu 24.11.2017.
http://www.runtech.fi/Turbo_edocker/

Runtech Systems Oy. Vacuum energy saving and optimization. Luettu 24.11.2017.
<http://www.runtech.fi/index.php/en/runeco-vacuum-system-energy-saving-and-optimization#ep500-700-s-turbo>

LIITTEET

Liite 1. Koeajajan ohjeistus – Turbo FAT-testing Guidebook (s. 1/125)



HUOM! Dokumentti on täysin salassapitosopimuksen (NDA) alainen ja tarkoitettu vain yrityksen oman henkilöstön käyttöön. Tämän vuoksi dokumentti on kokonaisuudessaan poistettu tästä julkiseksi tarkoitettusta työstä.

Liite 2. Koeajajan tarkistuslista – Koeajajan Checklist (s. 1/10)

HUOM! Dokumentti on täysin salassapitosopimuksen (NDA) alainen ja tarkoitettu vain yrityksen oman henkilöstön käyttöön. Tämän vuoksi dokumentti on kokonaisuudessaan poistettu tästä julkiseksi tarkoitettusta työstä.