

**VAASAN YLIOPISTO**

**TEKNILLINEN TIEDEKUNTA**

**ENERGIATEKNIikka**

Saana Hautala

**NOPEAKÄYNTINEN DIESELMOOTTORI VEBIC-  
MOOTTORILABORATORIOON**

Diplomityö, joka on jätetty tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten  
Vaasassa 29.11.2017.

Työn valvoja

Seppo Niemi

Työn ohjaaja

Jukka Kiijärvi

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Vaasan yliopiston teknillisessä tiedekunnassa osana energiatekniikan diplomi-insinöörin tutkintoa. Diplomityö on osa Vaasan yliopiston kansainvälistä HERCULES-2 -tutkimusohjelmaa, jonka tavoitteena on kehittää polttoainejoustava toimintaympäristönsä mukautuva laivamoottori.

Kiitän työni valvojaa professori Seppo Niemeä tästä diplomityöaiheesta sekä kaikista neuvoista työhöni liittyen. Kiitän Jukka Kiijärveä työni ohjaamisesta ja palautteesta kirjoittamisen edetessä. Lisäksi kiitän molempia opeistanne energiatekniikan kursseilla, joilla kiinnostukseni energiatekniikkaa kohtaan syventyi. Kiitokset myös laboratorioinsinööri Olav Nilssonille perehdytyksestä ja kaikesta avusta prosessin aikana. Lisäksi kiitän kaikkia muita yhteistyötahoja, jotka ovat edesauttaneet tämän diplomityön etenemistä.

Lopuksi esitän kiitokset perheelleni, ystäväilleni ja erityisesti avomiehelleni. Teidän tukenne sekä opintojen että diplomityöprosessin aikana on ollut korvaamatonta ja mahdollistanut valmistumiseni tässä aikataulussa, kiitos siitä.

Vaasa, 29.11.2017

Saana Hautala

<b>SISÄLLYSLUETTELO</b>		<b>sivu</b>
	ALKUSANAT	2
	SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO	8
	TIIVISTELMÄ	10
	ABSTRACT	11
1	JOHDANTO	12
2	TECHNOBOTHNIAN MOOTTORILABORATORIO	14
	2.1 AGCO Power 44 AWI -moottori	16
	2.2 Pyörrevirtajarru	16
	2.3 Moottorin ja jarrun yhteenliittäminen	18
	2.4 Jäähdytysjärjestelmä	19
	2.4.1 Moottorin jäähdytys	19
	2.4.2 Polttoaineen jäähdytys	19
	2.4.3 Pyörrevirtajarrun jäähdytys	20
	2.5 Johdotukset	21
	2.6 Horiba SPARC -ohjausjärjestelmä	22
	2.7 Mittalaitteet	24
	2.7.1 Pyörimisnopeusmittaukset	24
	2.7.2 Sylinteripaineen mittaus	24
	2.7.3 Polttoaineen kulutuksen mittaus	26
	2.7.4 Moottorin jäähdytysveden virtauksen mittaaminen	26
	2.7.5 Lämpövirtamittaus	27
	2.7.6 Ilmanmäärämittaus	27
	2.7.7 Pakokaasun mittaukset	28
	2.8 Tiedonkeruujärjestelmä	35
3	SUUNNITELMA VEBIC-MOOTTORILABORATORIOON	37
	3.1 Suunnitelman tavoitteet ja työn rajaus	37
	3.2 Moottorilaboratorio 3.2 ja valvomo	37
	3.3 Froude EC 50 TA -pyörrevirtajarru	40
	3.4 Moottorin ja jarrun yhteenliittäminen	43
	3.4.1 Jarrupenkki	43
	3.4.2 Akseli ja suoja	44
	3.4.3 Kytkin	44
	3.5 Jäähdytyslaitteet	45
	3.5.1 Välijäähdytin	45
	3.5.2 Lämmönsiirrin	46
	3.5.3 Polttoainejäähdytin	46
	3.6 Ohjausjärjestelmä	47
	3.6.1 Frouden ohjauskaappi	48
	3.6.2 A04 ja MP620BS	49
	3.6.3 FEV DCU3000	51
	3.6.4 AVL:n vaihtoehto	52
	3.7 Mittalaitteet	53
	3.7.1 Pyörimisnopeusmittaukset	53
	3.7.2 Sylinteripaineen mittaus	53

3.7.3	Polttoaineen kulutuksen mittaus	54
3.7.4	Moottorin jäähdytysveden virtauksen mittaus	55
3.7.5	Lämpötasemittaukset	56
3.7.6	Ilmanmäärämittaus	58
3.7.7	Pakokaasun mittaukset	62
3.8	Tiedonkeruujärjestelmä	62
3.8.1	Service Tool	63
3.8.2	LabVIEW	63
3.8.3	Tiedonkeruu mittalaitteilta	66
3.9	Laitteiden sijoitus moottorilaboratoriossa 3	67
3.9.1	Lämmönsiirrin, välijäähdytin ja polttoainejäähdytin	67
3.9.2	Magneettinen suodatin	68
3.9.3	Sähköliitântäkaappi	69
3.9.4	Ohjausjärjestelmä ja tiedonkeruulaitteisto	69
3.9.5	Kistler KiBox	69
3.9.6	AVL Fuel Balance	70
3.9.7	Virtausmittarit	70
3.9.8	Pakokaasun mittalaitteet	72
3.9.9	Kaapelireitit	73
4	JOHTOPÄÄTÖKSET	75
5	YHTEENVETO	79
	LÄHDELUETTELO	81
	LIITTEET	88
	LIITE 1. Kaapeleiden suositellut asennustavat	88

**KUVAT****sivu**

Kuva 1. TB:n moottorilaboratorion valvomo. Valvomoon sijoitetut laitteet ovat: 1) Horiba SPARC, 2) EEPS 3090, 3) savutusmittarin laskentayksikkö, 4) LEW2002-virtalähde, 5) ilmanmäärämittarin laskentayksikkö, 6) AVL Smoke Meter (savutusmittari), 7) Kistler KiBox -indikointilaitteisto ja 8) sylinteripainemittauksen varausvahvistin.	14
Kuva 2. TB:n moottoriselli ja moottorijärjestelmä. Kuvaan on merkitty: 1) AGCO Power 44 AWI -moottori, 2) Horiba WT300 -pyörrevirtajarru, 3) sähköliitännäiskaappi, 4) lämmönsiirrin, 5) välijäähdytin ja 6) jäähdytysveden virtausmittari.	15
Kuva 3. ECU:n ja ohjausjärjestelmän välinen sähköliitännäiskaappi.	22
Kuva 4. TB:n ohjausjärjestelmän toimintakaavio.	23
Kuva 5. Oikealla Kistler KiBox -mittalaite ja vasemmalla varausvahvistin TB:n laboratoriossa.	25
Kuva 6. ABB Sensyflow FMT700 P -ilmamassamittari ja näytöllinen laskentayksikkö (ABB 2014).	28
Kuva 7. AVL Smoke Meter 415SE -savutusmittarin mittausperiaate. Mukailtu lähettä AVL (2007: 24).	29
Kuva 8. TB:n mittalaitekaapin laitteet ovat: 1) EC-L, 2) CSS-M, 3) CLD 822 M h, 4) näytelinjojen lämpötilasäätimet, 5) VE 7, 6) Ultramat 6, 7) Oxymat 61 ja 8) VE 222.	30
Kuva 9. Gasmel™ DX4000 -kaasuanalysaattori ja näytteenottoyksikkö liikuteltevassa kärryssä.	33
Kuva 10. Ylhäällä kiekkolaimennin ja alapuolella EEPS 3090 -hiukkasspektrometri.	34
Kuva 11. Tiedonkeruujärjestelmän osat ja informaation kulkusuunnat (National Instruments 2017).	36
Kuva 12. VEBIC:in moottorilaboratorio 3:n pohjapiirustus.	38
Kuva 13. VEBIC:in moottorilaboratorio 3.2. Kuvassa on merkittynä: 1) pikapalo-posti, 2) polttoaineen syöttölinjat, 3) jäähdytysvesilinjat, 4) paineilma, 5) hälytyksen merkkivalot ja 6) lattiakiskot.	39
Kuva 14. Moottorilaboratorion 3 valvomotila. Vasemmalla on sisäänkäynti moottorilaboratorioon 3 ja oikealla ovi laboratorioon 3.2.	40

Kuva 15. Froude EC 50 TA -pyörrevirtajarru.	41
Kuva 16. Frouden ohjauskaappi.	49
Kuva 17. A04-ohjain ja MP620BS-mittalaite (Borghi 2017).	50
Kuva 18. FEV DCU3000 -ohjausjärjestelmä (Johansson, A. 2017).	51
Kuva 19. AVL Fuel Balance -mittalaitteen rakenne. Muokattu lähde AVL (2017a).	54
Kuva 20. AVL FLOWSONIX™ Air -massavirtamittarin toimintaa kuvaava periaatekaavio. Muokattu lähde AVL (2017b).	59
Kuva 21. FEV AirRate -massavirtamittari (Johansson, A. 2017)	60
Kuva 22. Tiedonkeruulaitteiston rakenne (National Instruments 2017).	64
Kuva 23. Lämmönsiirtimen suositeltu asennusasento ja vesivirtaukset. Muokattu lähde Bowman (2016).	67
Kuva 24. Välijäähdyttimen suositeltu asennusasento sekä ilma- ja vesivirtaukset. Muokattu lähde Bowman (2017).	68
Kuva 25. Sensyflow FMT700-P -ilmamassamittarin asennus. Muokattu lähde ABB (2014).	72
Kuva 26. Esimerkki kaapeleiden asettelusta avoimilla kaapelihyllyillä. Muokattu lähde Martyr & Plint (2012: 100).	88
Kuva 27. (a) Monijohdinsähkökaapeleiden suositeltu etäisyys kaapelikanavassa tai hyllyllä, (b) Yksittäisen vaiheen sähköjohtojen suositeltu etäisyys, järjestys ja asettelu sekä suojamaakaapelin sijoitus jokaisen nipun väliin (Martyr & Plint 2012: 99).	88

<b>TAULUKOT</b>	<b>sivu</b>
Taulukko 1. AGCO Power 44 AWI -moottorin tiedot.	16
Taulukko 2. Horiba WT300 -pyörrevirtajarrun tietoja (Horiba 2007: 55).	17
Taulukko 3. Froude EC 50 TA -pyörrevirtajarrun tietoja (Dynamometer World 2017).	41
Taulukko 4. Kahden välijäähdyttimen arvojen vertailutaulukko (Whittaker 2017).	45
Taulukko 5. Eri ilmanmäärämittalaitteiden tietoja (ABB 2014; LaMadrid 2017; Johansson, A. 2017).	61
Taulukko 6. National Instruments tuotteiden hinnat (National Instruments 2017).	65

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

### *Symbolit*

$c$	Ominaislämpökapasiteetti
$D$	Putken sisähalkaisija
$F_C$	Coriolisvoima
$m$	Massa
$P_{\text{otto}}$	Moottorin ottoteho
$P_{\text{syötetty}}$	Moottoriin syötetty teho
$v$	Nopeus
$\dot{V}$	Tilavuusvirta
$\Delta T$	Lämpötilan muutos
$\rho$	Tiheys
$\Phi_{\text{siirtyvä}}$	Jäähdytysveteen siirtyvä lämpövirta
$\omega$	Kulmanopeus

### *Lyhenteet*

CAN	Controller Area Network
CO	Hiilimonoksidi
CO <sub>2</sub>	Hiilidioksidi
DSP	Digitaalinen signaaliprosessori
ECU	Moottorin ohjausyksikkö (Engine Control Unit)
EEPS	Engine Exhaust Particle Sizer <sup>TM</sup> ; pakokaasun hiukkaslukumäärämittari
FID	Liekki-ionisaatiodektektori (Flame Ionization Detector)

FSN	Savutuservo (Filter Smoke Number)
FTIR	Fourier-muunnosta hyödyntävä infrapunaspektroskopia (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)
H <sub>2</sub> O	Vesihöyry
N <sub>2</sub> O	Typpioksiduuli
NH <sub>3</sub>	Ammoniakki
NO	Typpimonoksidi
NO <sub>2</sub>	Typpidioksidi
NO <sub>x</sub>	Typenoksidit
O <sub>2</sub>	Happi
O <sub>3</sub>	Otsoni
PID	Integroiva ja derivoiva säädin (Proportional-integral-derivative)
PM	Pienhiukkaset (Particle Matter)
PN	Hiukkaslukumäärä (Particle Number)
SO <sub>2</sub>	Rikkidioksidi
TB	Technobothnia
VEBIC	Vaasa Energy Business Innovation Centre

---

**VAASAN YLIOPISTO****Teknillinen tiedekunta**

<b>Tekijä:</b>	Saana Hautala	
<b>Diplomityön nimi:</b>	Nopeakäyntinen dieselmoottori VEBIC- moottorilaboratorioon	
<b>Valvoja:</b>	Professori Seppo Niemi	
<b>Ohjaaja:</b>	TkT Jukka Kiijärvi	
<b>Tutkinto:</b>	Diplomi-insinööri	
<b>Yksikkö:</b>	Sähkö- ja energiatekniikan yksikkö	
<b>Koulutusohjelma:</b>	Sähkö- ja energiatekniikan koulutusohjelma	
<b>Suunta:</b>	Energiatekniikka	
<b>Opintojen aloitusvuosi:</b>	2013	
<b>Diplomityön valmistumisvuosi:</b>	2017	<b>Sivumäärä: 88</b>

---

**TIIVISTELMÄ**

Vaasan yliopiston yhteyteen on rakennettu tutkimus- ja innovaatioalusta VEBIC. VEBIC:in tavoitteena on kehittää tehokasta energiantuotantoa ja energialiiketoimintaa, edistää kestävästä kehitystä sekä vakiinnuttaa yliopiston asema energiatutkimuksessa. Diplomityö on tehty osana VEBIC:in kansainvälistä HERCULES-2-ohjelmaa.

Uudessa VEBIC-moottorilaboratoriossa on paikka AGCO Power 44 AWI -moottorille, jota on aiemmin käytetty Technobothnian (TB) moottorilaboratoriossa. VEBIC-laboratorioon on moottoria varten hankittava kuormitusjarru ohjainlaitteineen, moottorin apujärjestelmät ja mittauslaitteistoja. Työn aikana perehdyttiin TB:n moottorilaboratorioon, jota käytettiin työssä vertailupohjana. Työssä huomioitiin kirjallisuudesta avautuneita näkökulmia sekä AGCO Powerilla vieraillessa esiin nousseita seikkoja. Lisäksi haastateltiin asiantuntijoita ja yritysten yhteyshenkilöitä.

Työn alkaessa yliopiston varastossa oli Froude EC 50 TA -pyörrevirtajarru ja ohjauskaappi, ja työn aikana hankittiin uusi polttoaineenkulutusmittari. Yliopistolla on ennestään pakokaasumittauslaitteet ja sylinteripainemittari, jotka tuodaan VEBIC:iin. Olemassa olevat tiedonkeruujärjestelmä, akseli ja kytkin, jäähdytyslaitteet ja jäähdytysveden virtausmittari, magneettinen suodatin sekä pyörimisnopeuden mittausratkaisut todettiin toimiviksi ja mitoitettiin VEBIC:in moottorilaboratorioon soveltuviksi. Uusia ratkaisuja kartoitettiin ohjausjärjestelmän, ilmanmäärämittarin ja lämpötasemittausten osalta. Turun ammattikorkeakoulun ratkaisuun päädyttiin lämpötasemittausten toteutuksessa. Uudet ohjausjärjestelmät tarjoavat monipuolisemmat ja tarkemmat ohjausmahdollisuudet kuin yksinkertaiset edullisemmat vaihtoehdot. Uusien järjestelmien välillä ei löydetty merkittäviä eroja. Horiba SPARC -järjestelmän eduksi kuitenkin nousi toimiva moottorinohjaus ja osaaminen ohjelmiston käytöstä. Ilmanmäärämittareissa päädyttiin ABB:n ja AVL:n tarjoamiin ratkaisuihin. Tuleva budjetti tulee lopulta määrittämään, mikä ilmanmäärämittari ja ohjausjärjestelmä uuteen laboratorioon hankitaan.

---

**AVAINSANAT:** moottorilaboratorio, moottorin apulaitteet ja asennus, laitteiden hankinta

---

**UNIVERSITY OF VAASA****Faculty of technology**

<b>Author:</b>	Saana Hautala
<b>Topic of the Thesis:</b>	High-Speed Diesel Engine to the VEBIC Engine Laboratory
<b>Supervisor:</b>	Professor Seppo Niemi
<b>Instructor:</b>	University Lecturer, D.Sc. Jukka Kijärvi
<b>Degree:</b>	Master of Science in Technology
<b>Department:</b>	Department of Electrical Engineering and Energy Technology
<b>Degree Programme:</b>	Degree Programme in Electrical and Energy Engineering
<b>Major of Subject:</b>	Energy Technology
<b>Year of Entering the University:</b>	2013
<b>Year of Completing the Thesis:</b>	2017

**Pages: 88**

---

**ABSTRACT**

A research and innovation platform VEBIC has been built in connection to University of Vaasa. Objectives are to develop efficient energy production and energy business, promote sustainable development and to establish university's position in energy research. Thesis is made as a part of VEBIC's international HERCULES-2 program.

The new VEBIC engine laboratory has a place for an AGCO Power 44 AWI engine, which has earlier been used in Technobotnia's (TB) engine laboratory. The engine needs to be equipped with a dynamometer and control equipment, engine auxiliaries and measurement equipment for the VEBIC laboratory. During the work, TB's engine laboratory was studied and used as a reference. Perspectives of literature and considerations that raised when visiting AGCO Power were also taken into account. In addition, experts and contact persons were interviewed.

When the work started, the university had a Froude EC 50 TA eddy-current dynamometer and a control cabinet in stock. In addition, a fuel consumption meter was acquired during the work. University already has an exhaust and cylinder pressure measurement equipment which is brought to VEBIC. The existing data acquisition system, shaft, coupling, cooling devices, flow meter of cooling water, magnetic filter and rotation speed measurement solutions were found to be functional and were sized to suit VEBIC's engine laboratory. New solutions were searched for the control system, air flow meter and thermal balance measurements. The solution used in Turku University of Applied Sciences for thermal balance measurements was selected. New control systems offer more diverse and accurate control than simple and more affordable options. Significant differences were not detected between the new systems. Engine control and knowledge in system usage were considered as benefits of the Horiba SPARC control system. ABB's and AVL's solutions for air flow meters were selected. The future budget will determine which flow meter and control system will be purchased in the new laboratory.

---

**KEYWORDS:** engine laboratory, engine auxiliaries and installation, acquisition of equipment

## 1 JOHDANTO

Vuoden 2017 aikana on valmistunut Vaasan yliopiston yhteyteen uusi tutkimus- ja innovaatioalusta Vaasa Energy Business Innovation Center (VEBIC). Uudella tutkimus- ja innovaatioalustalla halutaan tuoda yhteen tutkimus- ja yritysmaailma ja kehittää tehokasta energiantuotantoa, energialiiketoimintaa sekä kestäväää kehitystä. Tavoitteena on vahvistaa Vaasan yliopiston asemaa energiatutkimuksessa kansallisesti ja kansainvälisesti. Ensimmäinen kansainvälinen EU:n rahoittama tutkimus VEBIC:issä on HERCULES-2 -ohjelma, jossa tutkimus kohdistuu polttoaineisiin, ohjausjärjestelmiin ja pakokaasun puhdistukseen. (Vaasan yliopisto 2017c.) Diplomityön aihe on saatu Vaasan yliopistolta, ja työ on toteutettu osana HERCULES-2 -ohjelmaa.

VEBIC sisältää yhteensä kolme moottorilaboratoriota sekä polttoainelaboratorion. Tämä yhdistelmä tarjoaa entistä paremmat mahdollisuudet polttoaine- ja moottoritutkimuksen yhteistyölle (Vaasan yliopisto 2017c). Moottorilaboratorioissa 1 ja 2 tutkitaan keskinopeita Wärtsilän moottoreita. Laboratorioon 1 asennettiin 2017 syksyllä Wärtsilä 4L20 -moottori, ja laboratorioon 2 on tavoitteena sijoittaa Wärtsilän yksisylinterinen tutkimusmoottori. Moottorilaboratoriossa 3 tutkimukset suoritetaan nopeakäyntisillä moottoreilla. Laboratorio 3 koostuu kahdesta moottorilaboratoriosta: laboratorioissa 3.1 on kaikkiaan kolme paikkaa, ja laboratorioissa 3.2 on tilaa yhdelle moottorille. Laboratorioon 3.2 asennetaan AGCO Power 44 AWI -työkonedieselmoottori, jota on käytetty Vaasan yliopiston tutkimuksissa Technobothnian (TB) moottorilaboratoriossa.

Moottorin asennusta ja käyttöönottoa varten VEBIC-laboratorioon tarvitaan tietty määrä uusia laitteistoja. Joitakin laitteita yliopistolla on entuudestaan, mutta suurin osa laitteista joudutaan hankkimaan. Moottoria siirrettäessä on huomioitava laitteiden sijoitus, ohjaus ja tiedonkeruu.

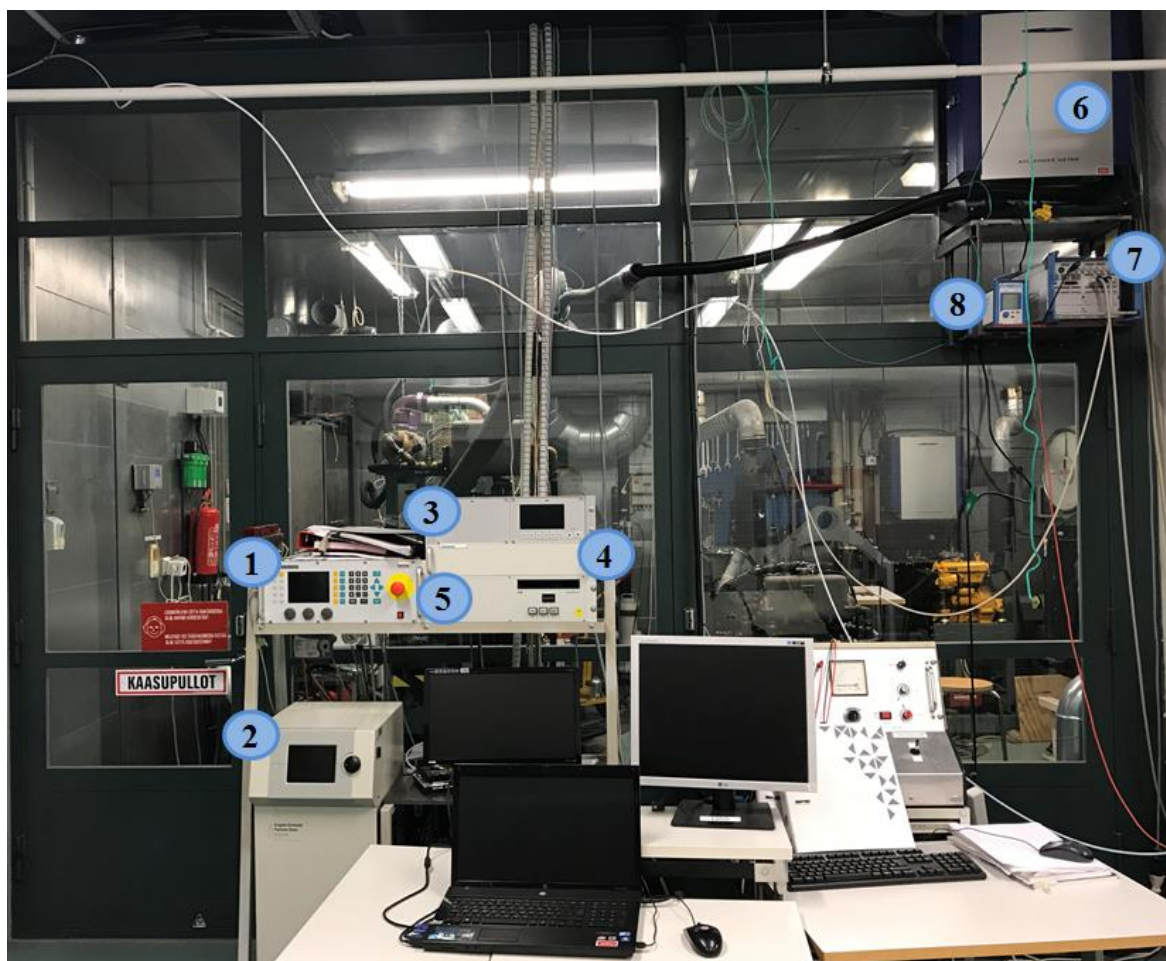
Tämän työn tavoitteena oli laatia suunnitelma moottorin asentamista ja käyttöönottoa varten. Työ aloitettiin yhtä aikaa toisen diplomityön kanssa, joka toteutettiin samassa ohjelmassa. Tomas Haapalan työ ”Moottorilaboratorioiden pakokaasumittausten suun-

nittelu” keskittyi pakokaasumittausten toteutukseen VEBIC:issä, joten siihen alueeseen ei syvennytä tässä työssä.

Diplomityön alussa esitellään TB:n moottorilaboratorio, siellä käytetyt laitteet ja ratkaisut, jotta saadaan kokonaiskäsitelmä nopeakäyntisen moottorin tutkimusinstallaatiosta. Työn kolmannessa luvussa käydään läpi, mitä laitteita yliopistolla jo on VEBIC-laboratoriota varten ja mitä laitteita täytyy hankkia. Luvuissa vertaillaan uusia vaihtoehtoja ja TB:llä käytettyjä laitteita. Vertailuna on käytetty myös muiden moottorilaboratorioiden ratkaisuja. Johtopäätökset ja suositellut ratkaisut VEBIC:in moottorilaboratorioon käsitellään omassa luvussaan.

## 2 TECHNOBOTHNIAN MOOTTORILABORATORIO

TB:n moottorilaboratorio ja tutkimusmoottori sijaitsevat rakennuksen alimmassa kerroksessa. TB:n moottorilaboratorion valvomo on esitetty kuvassa 1 ja moottoriselli sekä moottorijärjestelmä kuvassa 2.



**Kuva 1.** TB:n moottorilaboratorion valvomo. Valvomoon sijoitetut laitteet ovat: 1) Horiba SPARC, 2) EEPS 3090, 3) savutusmittarin laskentayksikkö, 4) LEW2002-virtalähde, 5) ilmanmäärämittarin laskentayksikkö, 6) AVL Smoke Meter (savutusmittari), 7) Kistler KiBox -indikointilaitteisto ja 8) sylinteripainemittauksen varausvahvistin.



**Kuva 2.** TB:n moottoriselli ja moottorijärjestelmä. Kuvaan on merkitty: 1) AGCO Power 44 AWI -moottori, 2) Horiba WT300 -pyörrevirtajarru, 3) sähköliitäntäkaappi, 4) lämmönsiirrin, 5) välijäähdytin ja 6) jäähdytysveden virtausmittari.

## 2.1 AGCO Power 44 AWI -moottori

VEBIC-moottorilaboratorioon asennettava nopeakäyntinen dieselmoottori on AGCO Power 44 AWI. Moottori on nelisylinterinen työkonemoottori, jossa on hukkaportilla varustettu turboahdin, yhteispaineruiskutus ja ahtoilman välijäähdytys. Kuvassa 2 on kuvattu moottori TB:n laboratoriossa numerolla 1. Moottorin tekniset tiedot on esitetty taulukossa 1.

**Taulukko 1.** AGCO Power 44 AWI -moottorin tiedot.

Sylinterien määrä	4
Sylinterin halkaisija (mm)	108
Iskun pituus (mm)	120
Iskutilavuus (l)	4,4
Nimellispyörimisnopeus (rpm)	2200
Maksimiteho nimellispyörimisnopeudella (kW)	101
Maksimivääntömomentti (Nm)	600

## 2.2 Pyörrevirtajarru

Pyörrevirtajarru on yksi sähköisistä dynamometreistä, jonka käyttöä suositaan teollisuudessa varsinkin testiselloolosuhteissa. Pyörrevirtajarrut hyödyntävät sähkömagneettista induktiota vääntömomentin synnyttämiseksi ja tehon jarruttamiseksi. Testioloissa pyörrevirtajarrulla voidaan säätää eri kuormitusolosuhteita moottorille, mikä mahdollistaa tarkan moottorin vääntömomentin ja tehon mittauksen. Tehoa säädellään muuttamalla syötettävää magnetoimisvirtaa, mikä mahdollistaa nopeat kuorman vaihtelut. Yleisesti pyörrevirtajarrut ovat yksinkertaisia ja vankkoja koneita, joilla voidaan saavuttaa jarrutusmomentti jo melko pienillä nopeuksilla. (Atkins 2009: 12–13; Martyr & Plint 2012: 256.)

Pyörrevirtajarrut, joiden roottorin ja häviölevyjen välissä on ilmapäli, jaetaan roottorin muodon mukaan levy- ja rumpujarruihin. Levyjarrujen läpi on ylläpidettävä vaadittua virtausta, koska pienikin häviö jäähtyöksessä voi aiheuttaa häviölevyjen vääntymisen, mikä johtaa roottorin ja levyjen välisen ilmapälin sulkeutumiseen vahingollisin seurauksin. Tämän vuoksi laboratoriosellin ohjaussysteemiin on hyvä liittää havaitsemislaitteita riittävän virtauksen varmistamiseksi. Rumpujarruilla on levyjarruja suurempi inertia, mutta ne ovat vähemmän herkkiä jäähtyysvesiolosuhteille. Lisäksi on pyörrevirtajarruja, joiden roottorin ja häviölevyjen välissä on vettä. Ne altistuvat helposti korroosiolle pysähdyksissä ollessaan. Lisäksi niillä on suurempi inertia, ja jäähtyysveden vastus aiheuttaa korkeamman minimivääntömomentin. (Martyr & Plint 2012: 256.)

TB:llä käytetty pyörrevirtajarru on Horiba WT300. Pyörrevirtajarru on levymallinen, jossa on ilmapälykset, ja rungossa on kaksi magnetointikäämiä. Horiba WT300 -pyörrevirtajarrun maksimimagnetointivirta on 10 A, joka on syötetty Horiban LEW2002-virtalähteen kautta. LEW2002 on sijoitettu valvomoon laitekärnyyn ja esitetty kuvassa 1 numerolla 4. Pyörimisnopeuden mittaamiseen on käytetty pulssigeneraattoria, ja vääntömomentti on mitattu voima-antureiden avulla. Jäähtyysveden virtausta on valvottu jäähtyysveden sisääntulossa olevalla virtausvahdilla. (Horiba 2007: 16, 55.) Horiba WT300 -pyörrevirtajarru on esitetty kuvassa 2 numerolla 2, ja jarrun tekniset tiedot löytyvät taulukosta 2.

**Taulukko 2.** Horiba WT300 -pyörrevirtajarrun tietoja (Horiba 2007: 55).

Maksimipyörimisnopeus (rpm)	7500
Nimellismomentti (Nm)	1200
Nimellisteho (kW)	300
Hitausmomentti (kgm <sup>2</sup> )	0,49
Paino (kg)	670

Pyörrevirtajarrun hyviä ominaisuuksia ovat matala inertia, yhteensopivuus tietokoneohjauksen kanssa sekä yksinkertainen rakenne. Heikkouksia ovat herkkyyys huonolle jääht-

dytykselle sekä soveltumattomuus jatkuville nopeille tehomuutoksille. Lisäksi pyörrevirtajarrun värähtelyn poistamiseen tulee kiinnittää huomiota, sillä värähtely saattaa vaikuttaa sähköisten dynamometrien ohjausherkkyyteen. (Martyr & Plint 2012: 249; Atkins 2009: 13.)

### 2.3 Moottorin ja jarrun yhteenliittäminen

TB:n moottorilaboratoriossa sekä moottori että jarru ovat kiinnitettynä jarrupenkkiin. Jarrupenkkiä ei ole erikseen kiinnitetty lattiaan, vaan jarrupenkki makaa omalla painollaan kumitassujen päällä. TB:n järjestelmä on esitetty kuvassa 2. Jarrupenkki on suunniteltu juuri tälle moottorin ja jarrun yhdistelmälle.

Jarru ja moottori on liitetty yhteen Gewes-nivelakselilla, jolla on teleskooppisia ominaisuuksia. Nämä ominaisuudet mahdollistavat ajon aikana tapahtuvan kulmakiertymisen ja muutokset aksiaalipituudessa Akselin rakenteellisten ominaisuuksien ansiosta moottorin ja jarrun ei välttämättä tarvitse olla täysin samassa tasossa. Kuitenkaan huomattava korkeuseroa moottorin ja jarrun välillä ei saa olla. Käytössä kallistuskulma tulisi olla mahdollisimman pieni, sillä kulman kasvaessa nivellaakerien käyttöikä lyhenee; ei kuitenkaan alle  $1^\circ$ , jotta säilytetään riittävä voitelukalvo laakereissa. Akselin liikkuminen vähentää tärinän aiheuttamia ongelmia ja syntyvää melua. (GEWES 2014.) TB:llä käytetyn akselin malli on GEWES 4496-63-00/03X0365-3. Nivelakselissa on laippakiinnitykset. Nivelakselin pienin puristuspuite on 365 mm ja suurin 340 mm. Nimellismomentti on 4400 Nm ja rajoitettu momentti on 6200 Nm. (Suutari 2017.) Lisäksi akseli on suojattu erillisellä suojarakenteella, joka on mitoitettu nykyiselle järjestelmälle.

Moottorin ja pyörrevirtajarrun ollessa kytkettynä yhteen akselilla voi syntyä suuria heilahtelevia vääntömomenteja, jotka aiheuttavat melua ja vaurioita laitteille. Tätä kutsutaan resonanssinopeudeksi. TB:n laboratoriossa on moottorin puolella akseliliitoksessa käytetty CENTAX-V-kumikytkintä tämän ilmiön estämiseksi. CENTAX-V koostuu joustavasta esipuristetusta kumielementistä ja keskitetyistä liukulaakereista. CENTAX-

V-kytkimen tarkoitus on estää resonanssinopeuden syntymistä, vaimentaa vääntövärihälyä ja varmistaa kytkettyjen laitteiden sujuva toiminta. (CENTA 2017.) Akselin ja jarrun välissä on laippaliitos.

## 2.4 Jäähdytysjärjestelmä

### 2.4.1 Moottorin jäähdytys

Yleensä moottorin jäähdytykseen tarvitaan apulaitteita, jotka on mitoitettu moottorin termisten ominaisuuksien kanssa yhteen sopiviksi niin, että jäähdytteen haluttu lämpötila saavutetaan (Martyr & Plint: 160–161). TB:llä on käytetty Bowmanin lämmönsiirrintä ja välijäähdytintä moottorin tehokkaan jäähdytyksen varmistamiseksi. Käytetty lämmönsiirrin on malliltaan FH300-4067-2, jossa on painesäiliö ja lämmönsiirrin yhdistettynä. Tämän tyyppisen lämmönsiirtimen avulla voidaan ylläpitää ajolämpötilaa ja oikeaa painetta (Martyr & Plint 2012: 162). Välijäähdyttimen tarkoituksena on jäähdyttää turboahtimelta tuleva ilma. Jäähdytyksessä ilman tiheys kasvaa, minkä ansiosta moottoriin saadaan lisää ilmaa (Bowman 2017). TB:n välijäähdyttimen malli on GL140-4076-2, joka on ylimitoitettu tehokkaan jäähdytyksen varmistamiseksi. Lämmönsiirtimen ja välijäähdyttimen jäähdykkeenä on käytetty vesijohtovettä. Lämmönsiirrin ja välijäähdytintä ovat kiinnitettyinä jarrupenkin rakenteisiin, kuten kuvassa 2 on esitetty numeroilla 4 ja 5.

### 2.4.2 Polttoaineen jäähdytys

Lämpötilan muutoksilla on vaikutuksia polttoaineen tilavuuteen ja tiheyteen. Tutkimusten aikana on erittäin tärkeää ylläpitää polttoaineen lämpötila vakiona, kun mitataan polttoaineen kulutus (Martyr & Plint 2012: 197). TB:llä polttoaineen jäähdytys on toteutettu Bowmanin putkimallisella polttoaineenjähdyttimellä ja jäähdyttimenä on käytetty vesijohtovettä. Liiallinen jäähtyminen on ehkäisty Danfossin termostaatin avulla ohjatulla AVTA20-venttiilillä, jolla säädellään polttoaineen lämpötilaa mekaanisesti. Termostaattiventtiilin käyttöalue on 10–80 °C, ja polttoaineen tavoitelämpötila on

yleensä ollut 36 °C. Jos polttoaineen mediaanilämpötila on ollut asetetussa lämpötilassa, venttiili on auki. (Nilsson 2017d.) Polttoainejäähdytin ja sen kanssa kytketty AVTA-venttiili on sijoitettu Horiba WT300 -pyörrevirtajarrun ja akselin alapuolelle jarrupenk-kirakenteiden alaosaan.

### 2.4.3 Pyörrevirtajarrun jäähdytys

Pyörrevirtajarruja jäähdytetään siirtämällä lämpöä häviölevyjen kanavissa kiertävään jäähdytysveteen. Jäähdytystä tapahtuu lisäksi, kun ilmaa virtaa roottorin ja levyjen välisissä raoissa (Martyr & Plint 2012: 256). TB:n moottorilaboratoriossa Horiba WT300 -pyörrevirtajarrun jäähdytykseen on käytetty vesijohtovettä. Jäähdytysveden virtausnopeus määritellään suurimman sallitun jäähdytysveden ulostulolämpötilan mukaan, koska halutaan välttää kattilakiven kerrostuminen laitteen sisäpinnoille. Pyörrevirtajarrut ovat kerrostumille hydraulisia jarruja herkempiä, koska lämpöä johdetaan pois häviölevyjen kautta eikä suoraan jäähdytysveteen. Horiba WT300 -pyörrevirtajarrun yhteyteen on asennettu virtausvahti, joka seuraa riittävän jäähdytysveden saantia. Jäähdytysveden suurin sallittu lämpötila pyörrevirtajarrun jälkeen on 60 °C. TB:llä on asennettu lämpötila-anturi, jonka avulla seurataan, ettei jäähdytysveden lämpötila nouse yli sallitun arvon. (Nilsson 2017a; Martyr & Plint 2012: 153.)

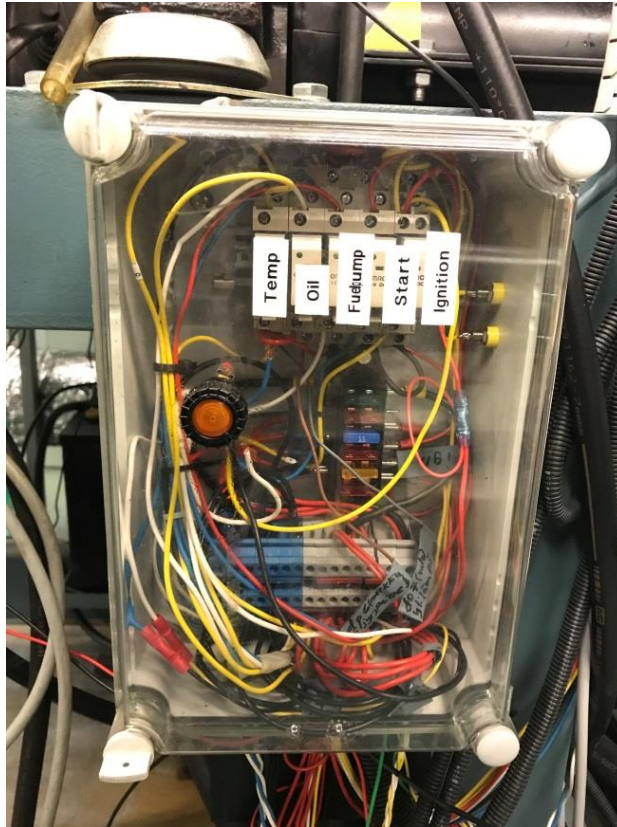
Jäähdytysvesi ei saa sisältää kiinteitä epäpuhtauksia. Jos jäähdytysvesi otetaan jostain luonnonlähteestä, tulee vesi siivilöidä ja suodattaa epäpuhtauksien poistamiseksi. Vesi ei myöskään saisi olla kovaa, sillä kovan veden lämpötilan ylittäessä 70 °C saattaa syntyä kalkkisaostumia, jotka puolestaan ovat haitallisia dynamometriin sekä lämmönsiirtimien toiminnalle. Toisaalta liian pehmeä vesi voi aiheuttaa korroosiota. Vaatimus veden kovuudelle on dynamometreillä yleensä 30–70 ppm CaCO<sub>3</sub>. Lisäksi veden pH-arvon tulisi olla välillä 7–9. (Martyr & Plint 2012: 154–155.) Jarrun yhteyteen on Horiban toimesta toimitettu magneettinen suodatin, joka on asennettu poistamaan kiinteitä metallihiukkasia jäähdytysvedestä ja estämään epäpuhtauksien kerrostumisen. Magneettista suodatinta suositellaan käytettäväksi jäähdytysvedenjakelussa etenkin silloin, jos korroosion odotetaan lisääntyvän putkistoissa jäähdytysveden hapettumisen aiheuttamana. Magneettinen suodatin estää magnetoituvien hiukkasten pääsyn jäähdytyskammioiden

kanaviin ja näin ollen niiden tukkeutumisen. Magneettisen suodattimen toiminta perustuu vuorotteleviin positiivisiin ja negatiivisiin magneettisäyksiin, jotka saavat mikrohiukkaset kerääntymään yhteen. TB:llä käytetyn magneettisen suodattimen maksimipaine on 20 baaria ja maksimivirtaus 300 l/min. Koska magneettinen suodatin kerää metallihiukkaset pois jäähdytysvedestä, suodatin tulee puhdistaa tasaisin välein. TB:n laboratoriossa suodattimen puhdistus on tehty helpoksi, kun suodatin on suljettu vain kahdella ruuvilla. Lisäksi suodatin on sijoitettu käytännölliseen paikkaan seinän viereen, missä ei ole paljon laitteita ympärillä. (Nilsson 2017a; Horiba 2007.)

## 2.5 Johdotukset

TB:n moottorilaboratorion johdotukset koostuvat mittalaite-, anturi- ja signaalikaapeleista sekä jännite- ja virtajohdoista. Ohjausjärjestelmältä lähtevät signaalikaapelit on liitetty moottorin sähköliitântäkaappiin, joka taas kommunikoi moottorin ohjausyksikön (ECU) kanssa. Sähköliitântä kaapin ja ECU:n välillä on AGCO Powerilta mittatilaus työnä saatu 16-pinninen liitin. Liittimestä lähtee CAN-väylää (Controller Area Network) pitkin tieto ECU:lta eteenpäin tiedonkeruuta varten. Käynnistinmoottorille tulee erillinen jännitteensyöttö. Lisäksi moottorilta lähtee lämpötila- ja paineanturikaapeleita tiedonkeruulaitteistoon. Jarrusta lähtee tieto nopeudesta ja vääntömomentista tiedonkeruulaitteisiin. Jarrulle tulee virtakaapeli LEW2002-virtalähteeltä magnetoimisvirransyöttöä varten.

Moottorilaboratoriossa muut sähkökaapelit on vedetty samaa reittiä ohjaushuoneesta moottorille, mutta jarrun magnetointivirtakaapeli on erillään muista sähköjohdoista, jotta virtakaapeli ei aiheuttaisi häiriötä. Lisäksi ohjausjärjestelmän ja ECU:n välillä on jännite-ero, sillä ohjausjärjestelmä toimii 24 V:n jännitteellä, kun taas moottorin ohjausyksikkö toimii 12 V:lla. Niinpä sähköliitântäkaapissa jokaisen sisäänmeno- ja ulostulosignaalin väliin on asennettu releet. (Nilsson 2017a.) Sähköliitântäkaappi ja sen sisäänmeno ja ulostulosignaalit on esitetty kuvassa 3. Kaappi on kiinnitetty jarrupenkin rakenteisiin, mikä on kuvattu kuvassa 2 numerolla 3.



**Kuva 3.** ECU:n ja ohjausjärjestelmän välinen sähköliitäntäkaappi.

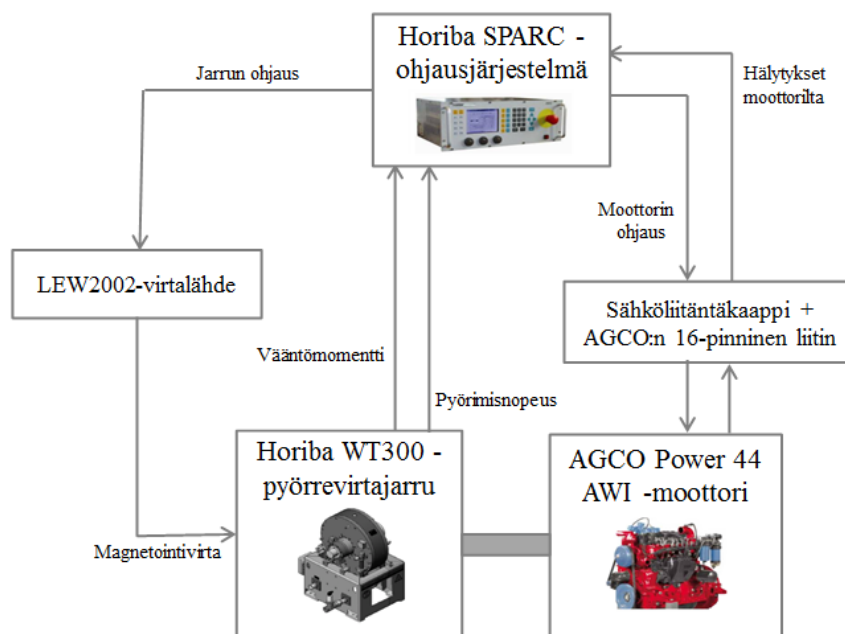
Kaappi on kooltaan melko pieni, minkä vuoksi sähköliitännöille on niukasti tilaa. Liitännät näyttävät sekavilta, ja esimerkiksi mahdollisen vian sattuessa huoltotoimenpiteitä voi olla hankala suorittaa. Lisäksi kaikki kaapelit lukuun ottamatta pyörrevirtajarrun magnetointivirtakaapelia on viety samaa reittiä pitkin moottoriselliin. Yleensä on pyrittävä välttämään erityyppisten kaapeleiden sijoitusta liian lähekkäin, koska ne voivat aiheuttaa erityyppisiä häiriöitä toisiinsa (Martyr & Plint 2012: 96).

## 2.6 Horiba SPARC -ohjausjärjestelmä

TB:n laboratoriossa käytössä ollut ohjausjärjestelmä on Horiban valmistama SPARC. Ohjausjärjestelmä on suunniteltu moottoritestaukseen. Ohjaus on nopeaa, tarkkaa ja toistettavaa. Lisäksi tieto kerätään hyvällä tarkkuudella. Ohjausjärjestelmän vankan rakenteen ansiosta laitteen sijoitusmahdollisuuksia laboratoriossa ei ole rajattu. Ohjausjärjestelmän ominaisuuksiin kuuluu yhteensopivuus muiden valmistajien dynamometriin

kanssa. Lisäksi Horiba SPARC on helposti yhdistettävissä Horiban STARS-automaatiojärjestelmään tai muiden valmistajien automaatiojärjestelmiin. Ohjausjärjestelmällä mitataan vääntömomentti ja nopeus, jotka esitetään numeerisella näytöllä kaasuläpän asennon ja tehon lisäksi. SPARC-ohjausjärjestelmällä voidaan ohjata dynamometrin lisäksi moottorin toimintaa. SPARC sisältää moottorin ja jarrun PID-säädöt, mikä mahdollistaa usean erilaisen ajotavan. Ohjain sisältää kahdeksan ohjelmoitavaa toimintonäppäintä ja viisi erikoisnäppäintä. SPARC mahdollistaa käynnistyksen, pysäytyksen, ohjauksen ja tehopyynnin toteutuksen. Lisäksi hätäpainike voidaan yhdistää suojapiiriin. TB:llä SPARC-ohjausjärjestelmällä on suoritettu moottorin ylikuumenemisen sekä öljynpaineen valvonta. (Horiba 2017; Nilsson 2017b.) TB:llä ohjain on sijoitettu valvomoon erilliseen laitekärryyn, ja Horiba SPARC on esitetty kuvassa 1 numerolla 1.

Kuvassa 4 on esitetty, miten moottorin ja pyörrevirtajarrun ohjaus on toteutettu TB:llä. Horiba SPARC -ohjausjärjestelmä käyttää jarrulta saatavia vääntömomenttia ja nopeutta ohjauksessa ja säätelee jarrulle syötettävää magnetointivirtaa. Sähköliitântäkaapin kautta saadaan ohjaussignaalit ohjausjärjestelmältä moottorille. Moottorin lämpötila ja öljynpaine saadaan liitântäkaapilta ulostulosignaaleina ohjausjärjestelmälle.



**Kuva 4.** TB:n ohjausjärjestelmän toimintakaavio.

Horiba SPARC -järjestelmän hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että järjestelmä on yhdistettävissä myös muiden valmistajien jarruihin. Ohjausjärjestelmällä voidaan ohjata jarrun lisäksi moottoria, jolloin erillistä moottorin ohjausta ei tarvita. Lisäksi moottorin öljynpaineen ja lämpötilan valvonta pystytään suorittamaan SPARC-ohjausjärjestelmällä. Muita etuja tässä ohjausjärjestelmässä ovat kokemus laitteen käytöstä, säädöistä, rajapinnoista ja huollosta.

## 2.7 Mittalaitteet

### 2.7.1 Pyörimisnopeusmittaukset

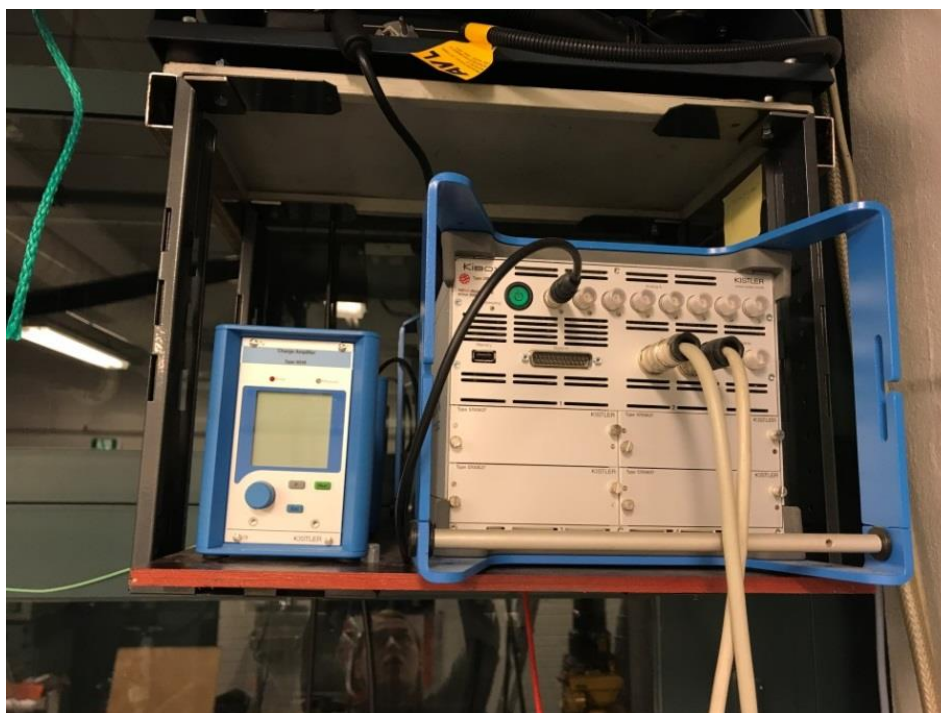
TB:llä tieto nopeudesta on saatu yhteensä neljästä eri paikasta. Pyörrevirtajarrun akselinpäädyssä on mitattu pyörimisnopeus, jota on käytetty jarrun ohjauksessa. Lisäksi ECU:lta on tullut tieto moottorin nopeudesta AGCO:n Service Tool -ohjelmistolle. Sylinteripainemittausten yhteydessä on mitattu pyörimisnopeus, koska Kistler KiBox -laitteen tulokset on ilmoitettu kammenkulman funktiona. Näiden lisäksi on käytetty RENISHAW:n valmistamaa magneettista anturia LM13. LM13 koostuu magnetoidusta renkaasta, jonka sivusta nopeutta on mitattu digitaalisella asentoanturilla. Tämän anturin avulla on voitu kalibroida muut nopeusmittarit, koska LM13-anturilta saadaan mitta-arvo silloinkin kun moottori ei ole käynnissä. Magneettinen rengas on sijoitettu moottorin päätyyn, ja anturi on asennettu renkaan sivuun. Tämä on ollut ainut asennusmahdollisuus, koska päädyssä on Kistler KiBox -laitteen nopeusanturi ja toisessa päädyssä on kiinni akseli. (Nilsson 2017d.)

### 2.7.2 Sylinteripaineen mittaus

TB:n laboratoriossa painemittaus on suoritettu yhdellä sylinteripaineanturilla, josta tieto tuodaan Kistler KiBox -mittalaitteeseen. Painemittaus perustuu Kistler Groupin kehittämään KiBox-indikointijärjestelmään, joka on suunniteltu sylinteripaineiden mittaamiseen ja analysointiin. Kistler KiBox mittaa sylinteripainetta reaaliajassa, ja mittalaitteen yhteydessä käytetään varausvahvistinta. Kistler KiBox -mittalaite sekä varausvahvistin

on esitetty kuvassa 5. Mittalaitteessa on oma ohjelmisto tiedonkeruuta ja tulosten reaaliaikaista visualisointia varten. Haluttaessa mittalaite voidaan yhdistää automaatiojärjestelmään. (Kistler 2017.) Kistler KiBox -mittalaitetta ei nykyisellään ole yhdistetty tiedonkeruujärjestelmään, vaan tieto mittalaitteesta tuodaan erilliseen tietokoneeseen. Kistler KiBox -laitteen ja tietokoneen välillä on ainoastaan datakaapeli tiedonsiirtoa varten. Lisäksi painemittauksissa tarvitaan tieto kammengkulman asennosta, joka on TB:n laboratoriossa mitattu moottorin pädystä Kistlerin kammengkulma-anturilla.

TB:llä Kistler KiBox on sijoitettu valvomotilan ja moottorisellin väliselle seinälle valvomon puolelle. Varausvahvistin on sijoitettu mittalaitteen viereen. Laitteiden sijoitus on esitetty kuvassa 1 numeroilla 7 ja 8. Painemittaukset ja vahvistin ovat toimineet moitteettomasti tällä järjestelyllä, vaikka suositus on, että varausvahvistin olisi sijoitettuna mahdollisimman lähelle moottoria, josta painetta mitataan (Nilsson 2017a).



**Kuva 5.** Oikealla Kistler KiBox -mittalaite ja vasemmalla varausvahvistin TB:n laboratoriossa.

### 2.7.3 Polttoaineen kulutuksen mittaaminen

Polttoainevirtaus on TB:n laboratoriossa mitattu ABB:n valmistamalla CoriolisMaster FCM2000-MS21 -massavirtamittarilla. Mittalaitteen toiminta perustuu Coriolis-ilmiöön. Kun massa virtaa värähtelevän putken läpi, syntyy Coriolisvoimia, jotka taivuttavat ja kiertävät putkea. Näitä pieniä putken muodonmuutoksia mitataan antureilla ja laskeaan elektronisesti. Tällä massavirtamittarilla voidaan mitata massavirta, tilavuusvirta, tiheys, lämpötila ja pitoisuus. Coriolisvoima ( $F_C$ ) lasketaan:

$$\vec{F}_C = -2m(\vec{\omega} \times \vec{v}), \quad (1)$$

jossa  $m$  on massa,  $\omega$  on kulmanopeus ja  $v$  on massan nopeus. Digitaalisella signaaliprosessorilla (DSP) muutetaan anturisignaalit digitaaliseen muotoon ilman välivaiheita. (ABB 2011.) TB:llä CoriolisMaster FCM2000-MS21 on sijoitettu moottorin viereen lattialle vaakatasoon. DSP on kiinnitetty moottorisellin takaseinään, josta mitta-arvot voidaan lukea.

Lisäksi polttoaineenkulutusta on mitattu TB:llä vaa'an avulla. Vaa'an päälle on asetettu polttoainesäiliö. Mittaamalla alku- ja loppumassan erotus sekä kulunut aika on voitu laskea kulutus.

### 2.7.4 Moottorin jäähdytysveden virtauksen mittaaminen

Jäähdytysveden virtausta moottoriin on seurattu Kytola Instrumentsin muuttuva-aukkoisella virtausmittarilla. Mittarin malli on D-4CA ja mittausväli 10–60 l/min. Virtausmittarin raja-arvoja ovat maksimipaine 20 bar ja maksimilämpötila 75 °C. Mittalaitteen tarkkuus on riittävä, ja laitteen helppolukuinen asteikko on käytännöllinen. Mittari on ollut TB:llä vasta muutaman vuoden käytössä, mutta jäähdytysveden tilavuusvirran mittaaminen on koettu hyödylliseksi moottoriajoissa (Nilsson 2017d). Virtausmittari on ollut kiinnitettynä jarrupenkkiin, kuten kuvassa 2 numerolla 6 on esitetty, ja mitta-arvoa on voitu seurata mittarista.

### 2.7.5 Lämpövirtamittaus

TB:n laboratoriossa on käytetty Actaris CF ECHO II -lämpömittaria mittaamaan lämmönsiirtimen energiaa, tehoa ja virtausta. Mittalaitteen toiminta perustuu ultraääni-ilmiöön. Actaris CF ECHO II koostuu DN20-kokoisesta mittausosasta, kahdesta lämpötila-anturista, jotka on sijoitettu ennen ja jälkeen siirtimen, sekä mittalaitteesta, joka on sijoitettu valvomon laitekärryyn. Laitteen tiedot on voitu lukea kärrystä laitteen näytöltä, eikä sitä ole liitetty tiedonkeruujärjestelmään. Mittalaitetta on käytetty pääosin ope-tuskäytössä eikä juurikaan moottoritutkimuksessa. (Nilsson 2017d.)

### 2.7.6 Ilmanmäärämittaus

Ilmanmäärää on TB:n järjestelmässä mitattu ABB:n Sensyflow FMT700-P -massavirta-mittarilla. Mittarin toiminta perustuu kuumakalvoanemometrin toimintaan. Kuumakalvoanemometrissä kaasu virtaa kahden lämpöherkän vastuksen läpi. Lämmitysvastusta lämmitetään virralla ja kaasun lämmön mittausvastus mukautuu virtaavan kaasun lämpötilaan. Sähköisellä ohjauspiirillä säädetään virta niin, että lämmitysvastuksen ja kaasun välinen lämpötilaero on vakio. Lämmitysvastuksen sähköteho siirtyy kaasuvirtaukseen. Koska lämpöhäviö riippuu lämmitysvastuksen pintaan törmäävien hiukkasten määrästä, virtaa voidaan käyttää massavirtamittana. Laite ei vaadi erillistä paineen tai lämpötilan kompensointia. Lisäksi laitteen käytöstä aiheutuu niin pieni painehäviö, ettei vaikutusta moottorin toimintaan aiheudu. Mittalaitte voidaan sijoittaa esimerkiksi ilma-kanavaan. (ABB 2014.)

Mittalaitteisto koostuu virtausmitta-anturista, laskentayksiköstä, jossa on kuusinumeroinen näyttö, DN100-kokoisesta mittausosasta ilmansuodattimiseen sekä kaapeleista anturin ja laskentayksikön liittämiseksi (ABB 2014). Näytöllinen laskentayksikkö ja Sensyflow FMT700 P -virtausmittari on esitetty kuvassa 6. TB:llä ilmanmäärämittari on sijoitettu moottoriselliin katon rajassa kulkevaan ilmankanavaan. Laskentayksikkö on ohjaamossa samassa laitekärryssä, mistä ilmavirtausmittarin jatkuvan mittauksen arvoja voidaan lukea. Laskentayksikön sijoitus on esitetty kuvassa 1 numerolla 5.



**Kuva 6.** ABB Sensyflow FMT700 P -ilmamassamittari ja näytöllinen laskentayksikkö (ABB 2014).

Sensyflow FMT700-P on tarkka ja tarkoituksenmukainen mittalaite. Laskentayksikkö voidaan sijoittaa moottorisellin ulkopuolelle, ja mittausarvo on helposti luettavissa. Laitteen käyttö ei vaadi näköyhteyttä mittalaitteeseen tai käyntiä moottorisellissä arvojen saamiseksi.

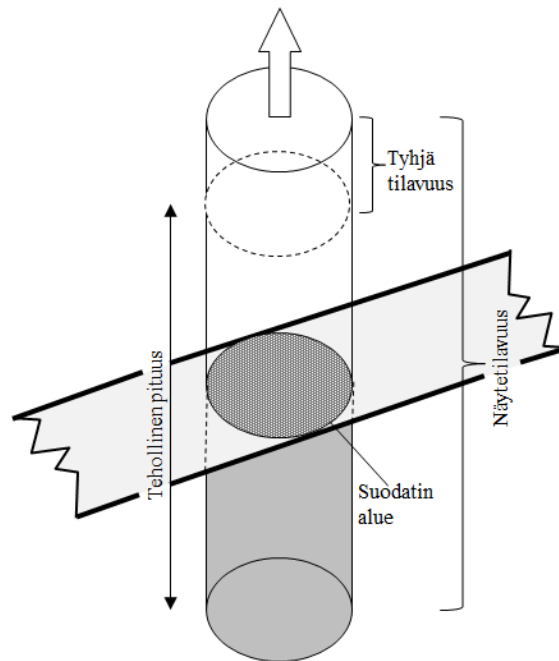
#### 2.7.7 Pakokaasun mittaukset

TB:n moottorilaboratoriossa on AGCO Power 44 AWI -moottorilla suoritettu erilaisia pakokaasumittauksia. Mitattuja kaasukomponentteja ovat hiilimonoksidi (CO), hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), happi (O<sub>2</sub>), vesihöyry (H<sub>2</sub>O), typpimonoksidi (NO), typpidioksidi (NO<sub>2</sub>) typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O), hiilivedyt sekä pienhiukkaset (PM) ja niiden lukumäärä (PN). Pakokaasun mittauksiin on käytetty useaa mittalaitetta.

#### *AVL Smoke Meter 415SE -savutusmittari*

AVL Smoke Meter 415SE -savutusmittaria on käytetty pakokaasun nokipitoisuuden mittaamiseen. Mittalaitteella mitataan savutusarvo (FSN), joka määritetään suodatinpaperimenetelmän avulla. AVL Smoke Meter 415SE -savutusmittarin mittausperiaate on esitetty kuvassa 7. Moottorin pakoputkesta otetaan sondilla käyttäjän määrittämän näytteenottotilavuuden mukainen näyte. Näyte kuljetetaan laitteen sisällä olevan puhtaan

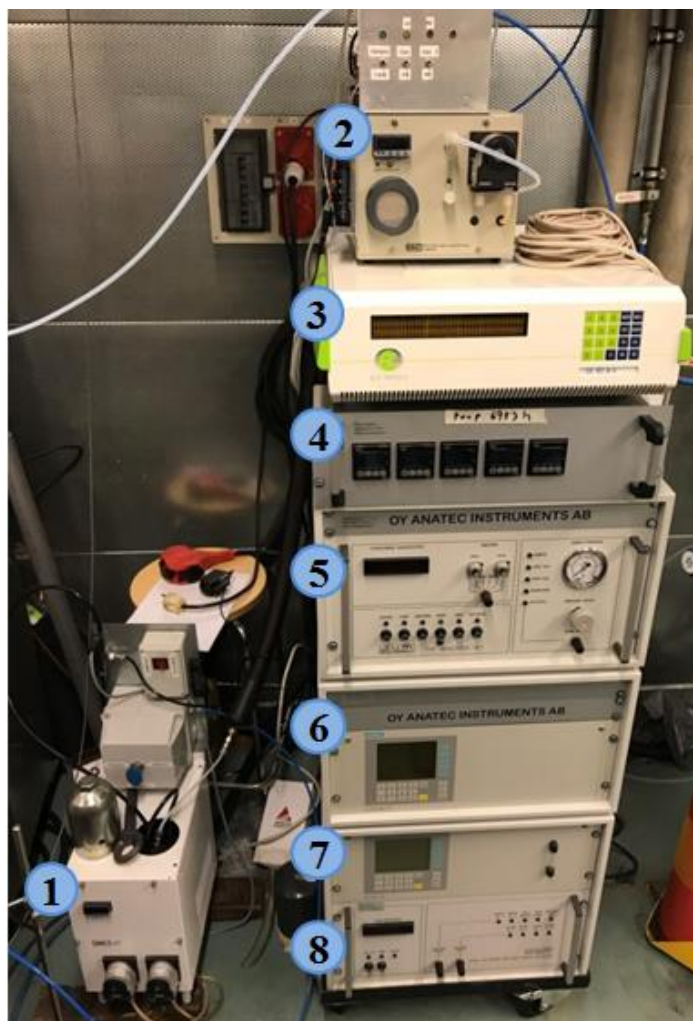
suodatinpaperin läpi, jolloin noki aiheuttaa suodatinpaperin mustumista. Tätä mitataan fotosähköisellä mittapäällä, ja tulos analysoidaan mikroprosessorilla. Mittauksissa huomioidaan suodatinpaperin mustumisen lisäksi suodattimen läpi menevän pakokaasun tilavuus. Mittari ilmoittaa tuloksen FSN-muodossa, pitoisuutena ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) tai saasteasteena (%). (AVL 2007: 25.) TB:llä mittari on sijoitettu valvomotiilaan Kistler KiBox -laitteen yläpuolelle. Mittalaitteeseen kuuluu erillinen näyttöyksikkö, joka on sijoitettu valvomon laitekärkyyn, ja siitä voidaan seurata mitattuja arvoja. Mittalaite on esitetty kuvassa 1 numerolla 6 ja laskentayksikkö numerolla 3.



**Kuva 7.** AVL Smoke Meter 415SE -savutusmittarin mittausperiaate. Mukailtu lähettä AVL (2007: 24).

#### *Mittalaitekaappi pakokaasumittaukseen*

Pakokaasun mittaamiseen on käytetty mittalaitekaappia, joka koostuu useasta eri laitteesta. Mittalaitekaappiin kuuluva laitteet ovat ohjaussäätimet, CSS-M, EC-L, VE 222, VE 7, CLD 822 M h, Ultramat 6 ja Oxymat 61. Kuvassa 8 on mittalaitekaappi laitteen. Mittalaitekaappi on sijoitettu TB:llä moottoriselliin moottorin kanssa samaan tilaan. TB:n mittalaitekaappia ei ole liitetty tiedonkeruujärjestelmään, vaan mittaustiedot kirjataan ylös käsin mittalaitteiden näytöiltä mittausten aikana.



**Kuva 8.** TB:n mittalaitekaapin laitteet ovat: 1) EC-L, 2) CSS-M, 3) CLD 822 M h, 4) näytelinjojen lämpötilasäätimet, 5) VE 7, 6) Ultramat 6, 7) Oxymat 61 ja 8) VE 222.

M&C TechGroup valmistamat kaasun jäähdytint EC-L ja kaasun ilmastointilaitte CSS-M ovat kuvassa 8 laitteet numero 1 ja 2. Näitä jäähdyttimiä käytetään kaasuanalyseissa kaasun lämpötilan jäähdyttämiseksi kastepisteeseen. Jäähdyttimien avulla voidaan estää veden kondensoituminen analysaattoreissa. Molemmissa laitteissa on huolehdittu kondenssiveden poistosta peristalttipumpuilla, mikä mahdollistaa käytön pitkäaikaisissa mittauksissa. (M&C TechGroup 2007: 7; M&C TechGroup 2010: 7.) Lisäksi mittalaitekaapissa on lämmitettyjen pakokaasunäytelinjojen lämpötilasäätimet, joilla säädellään kukin näytelinjan lämpötila haluttuun arvoon. Säätimet on esitetty kuvassa 8 numerolla 4.

VE 222 ja VE 7 ovat J.U.M. Engineering valmistamia laitteita. VE 222 on pakokaasun mittauksessa käytetty esisuodatin, jonka tarkoituksena on estää noen ja pölyn aiheuttamat likaantumiset mittalaitteissa. VE 222 koostuu kahdesta erillisestä kaasunäytelinjasta, jotka kulkevat uunin läpi, joten pakokaasunäytteet lämmitetään samalla. Lämmityksellä pyritään estämään raskaiden hiilivetyjen haihtuminen ja veden kondensoituminen näytekäasusta. VE 222 soveltuu hyvin järjestelmään, jossa käytetään useita mittalaitteita, sillä siinä on viisi näytteen ulostuloa analysaattoreita varten. (J.U.M. Engineering 2009: 5, 10.) VE 7 on hiilivetyanalyysointilaitteisto, jolle pakokaasunäyte tuodaan VE 222 -esisuodattimen kautta. Hiilivetyanalyysointilaitteisto käyttää liekki-ionisaatiotekniikkaa (FID) hiilivetypitoisuuksien havaitsemiseksi näytteestä. Ionisaatioprosessi alkaa, kun FID:n liekkiin tuodaan orgaanista hiiliainesta sisältävä kaasunäyte. Korkealla jännitteellä synnytetään kahden elektrodin välille sähköstaattinen kenttä, jonka ansiosta negatiiviset hiili-ionit kulkeutuvat kollektorielektrodille ja positiiviset vetyionit korkeajänniteelektrodille. Elektrodien välille syntyvä ionisointivirta on suoraan verrannollinen liekin polttaman näytteen hiilivetypitoisuuteen. (J.U.M. Engineering 2010: 5.) VE 7 on kuvan 8 mittalaitteita sisältävä laite 5 ja VE 222 laite 8.

CLD 822 M h -kaasuanalysointilaitteisto voidaan mitata samanaikaisesti pakokaasun NO- ja NO<sub>2</sub>-pitoisuus sekä typenoksidien (NO<sub>x</sub>) määrä. Sisäänrakennettu kuumakanava mahdollistaa kuumien ja kosteiden kaasujen mittaamisen ilman, että näytteen ulkopuolista esikäsittelyä tarvitaan. CLD 822 M h -laitteisto käsittelee kahta kaasunäytettä samanaikaisesti kahden erillisen reaktiokammion ansiosta. Tämä mahdollistaa yhtäaikaista NO:n ja NO<sub>x</sub>:n havaitsemisen. CLD 822 M h -kaasuanalysointilaitteisto käyttää kemiluminenssia kaasun NO-pitoisuuden mittaamiseksi. Kemiluminenssi on kemiallista valon emissiota, jota syntyy, kun elektronien hetkellinen virittyminen purkautuu kahden aineen reagoitessa. Kemiluminenssissa NO tuottaa kemiluminenssisäteilyä reagoitessaan otsonin (O<sub>3</sub>) kanssa, joka tuotetaan analysointilaitteiston otsonigeneraattorissa. Kemiluminenssisäteilyn voimakkuus vastaa kaasun NO-pitoisuutta. Näytekäasun yleensä sisältää sekä NO:ta että NO<sub>2</sub>:ta. Niinpä NO<sub>2</sub>-pitoisuus voidaan laskea NO<sub>x</sub>:n ja NO:n erotuksena. (Eco Physics 2009: 2, 14, 15; Vaasan yliopisto 2017a.) CLD 822 M h -kaasuanalysointilaitteisto on laite 3 kuvan 8 mittalaitteita sisältävässä laitteistossa.

Ultramat 6 ja Oxymat 61 ovat Siemensin kaasuanalysointilaitteita. Ultramat 6 -kaasuanalysointilaitetta käytetään mittaamaan muun muassa CO, CO<sub>2</sub>, NO, rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>), ammoniakki (NH<sub>3</sub>), H<sub>2</sub>O ja hiilivedyt, kuten metaani. Yksikanavaisella Ultramat 6 -kaasuanalysointilaitteella voidaan mitata yhtäaikaista kahta kaasukomponenttia. TB:llä laitetta on käytetty CO- ja CO<sub>2</sub>-mittauksiin. Ultramat 6:n toiminta perustuu vaihtelevaan kaksisäteiseen infrapunavaloon, joka toimii kaksikerrosdetektorin ja optisen kytkimen kanssa. Molekyylit absorboivat infrapunasäteilyä niille ominaisilla aallonpituuksilla. Jos näytekammiossa tapahtuu absorptiota, syntyy sykkivä virtaus detektoritasojen välille, joka muutetaan mikrovirtausanturilla sähköiseksi signaaliksi. (Siemens 2016.)

Oxymat 61 -kaasuanalysointilaitteella mitataan näytteen O<sub>2</sub>-pitoisuus. Oxymat 61 käyttää toiminnassaan hyväksi hapen paramagneettisuutta. Tämän ominaisuuden vuoksi happimolekyylit liikkuvat muuttuvassa magneettikentässä kasvavan kentän voimakkuuden suuntaisesti. Jos magneettikentässä on kaksi kaasua, joilla on eri O<sub>2</sub>-pitoisuus, syntyy paine-ero. Paine-ero aikaansaa virtauksen, joka muutetaan sähkösignaaliksi mikrovirtausanturilla. Paine-ero on verrannollinen näyte- ja referenssikaasun O<sub>2</sub>-pitoisuuden erotukseen. (Siemens 2001: 27.) Ultramat 6 ja Oxymat 61 on esitetty kuvassa 8 numeroilla 6 ja 7.

#### *Gasmet<sup>TM</sup> DX4000-kaasuanalysointilaitteita*

Pakokaasun mittauksissa on käytetty Gasmet<sup>TM</sup> DX4000 -kaasuanalysointilaitetta. Gasmet<sup>TM</sup> DX4000 on kehitetty useiden kaasukomponenttien yhtäaikaiseen mittaukseen kuumasta ja kosteasta pakokaasunäytteestä. Kaasuanalysointilaitteella voidaan mitata muun muassa H<sub>2</sub>O-, CO<sub>2</sub>-, CO-, NO-, NO<sub>2</sub>-, N<sub>2</sub>O-, NH<sub>3</sub>- ja SO<sub>2</sub>-pitoisuus sekä hiilivedyt ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Kaasujen analysoinnin perustana on Fourier-muunnettu infrapunaspektroskopia (FTIR). FTIR-menetelmällä saadaan selville näytteen koostumus mittaamalla näytteen infrapunasäteilyn absorptiospektri. Menetelmä perustuu jokaisen kaasun ominaiseen absorptiokykyyn, jonka seurauksena millään kahdella kaasulla ei ole samanlaista infrapunaspekttriä. Menetelmällä kerätään dataa laajalta säteilyalueelta. Fourier-muunnoksella raakadata muunnetaan spektriiksi. Kun spektriä verrataan puhtaiden kaasujen spektreihin, saadaan selville kaasun koostumus. Järjestelmään kuu-

luu Gasmel™ DX4000 kaasuanalysaattorin lisäksi kannettava näytteenottoyksikkö ja -sondi, lämmitetyt näytteenottolinjat sekä tietokoneelle asennettava Calcmet-ohjelmisto. Kaasuanalysaattorin yhteydessä on käytetty PSP 4000 -karkeasuodatinta ja termostaattia. (Gasmel 2017; Vaasan yliopisto 2017b.) Kuvassa 9 on esitetty Gasmel™ DX4000 ja näytteenottoyksikkö TB:n moottorilaboratoriossa. Gasmel™ DX4000 -kaasuanalysaattorille on oma liikuteltava kärry, jossa analysaattoria ja näytteenottoyksikköä säilytetään. Suodatin ja termostaatti ovat moottorisellissä lähellä mittapistettä.



**Kuva 9.** Gasmel™ DX4000 -kaasuanalysaattori ja näytteenottoyksikkö liikuteltavassa kärryssä.

#### *EEPS 3090 -hiukkasspektrometri*

Lisäksi pakokaasusta on mitattu pienhiukkasten kokoa EEPS 3090 -hiukkaskokospektrometrillä (Engine Exhaust Particle Sizer™). EEPS 3090 kykenee mittaamaan pienhiukkaslukumäärän ja kokojakauman 5,6–560 nm alueelta. Pakokaasunäytteen hiukkaset varataan positiivisesti, ja ne kuljetetaan positiivisesti varatulle korkeajännite-elektrodille. Elektrodi hylkii näytekaasun positiivisesti varautuneita hiukkasia pois päin

niiden sähköisen liikkuvuuden mukaan. Ulkoreunoilla on elektrometrejä, joihin hiukkas-  
set törmäävät ja siirtävät varauksensa. Hiukkasten sähköinen liikkuvuus vaikuttaa sii-  
hen, mihin elektrometreistä hiukkanen törmää. Tämä mahdollistaa useiden hiukkasko-  
kojen samanaikaisen lukumäärän mittauksen. (TSI 2011.) EEPS 3090 -hiukkasspektro-  
metrin yhteydessä käytetään pyörivää kiekkolaimenninta. Laimennin toimii jopa 150 °C  
lämpötilassa, jolloin voidaan välttyä haihtuvien hiukkasten mittaamiselta. TB:llä käytet-  
ty laimennussuhde on 1:60. Laimennin koostuu raakakaasukanavasta ja laimennetusta  
mittauskaasukanavasta. Pyörivän kiekon onkaloissa siirtyy raakakaasua mittauskana-  
vaan. Mittauskanavassa näyte sekoittuu suodatetun ilman kanssa, jolloin pakokaasua  
laimentuu entisestään. Kokonaislaimennussuhteeksi saadaan 1:120. (Vaasan yliopisto  
2016.) Kiekkolaimennin ja EEPS3090 -hiukkasspektrometri on esitetty kuvassa 10.  
EEPS 3090 on sijoitettu valvomotiilaan samaan laitekärryyn kuin esimerkiksi ohjausjär-  
jestelmä. Hiukkasspektrometrin sijoitus on esitetty kuvassa 1 numerolla 2. Hiukkas-  
spektrometrin etupaneelissa on näyttö, josta reaaliaikaiset mittaustuloksia voidaan seu-  
rata. EEPS 3090 yhteydessä käytettävä laimennin on sijoitettuna moottorisellin puolelle  
lähemmäs mittauspistettä.



**Kuva 10.** Ylhäällä kiekkolaimennin ja alapuolella EEPS 3090 -hiukkasspektrometri.

TB:n moottorilaboratoriossa on monipuolinen ja kattava mittalaitteisto pakokaasun mitauksia varten. Kuitenkin pakokaasun mittakaapin arvoja täytyy lukea laitteiden näytöiltä. Koska laitteet on sijoitettu moottoriselliin, on mittausten aikana mentävä selliin, jotta saadaan arvot luettua ja kirjattua ylös. Lämpötila moottorisellissä saattaa nousta korkeaksi lämpiminä päivinä. Kun sellissä käydään, ovat korkea lämpötila sekä lattialla kulkevat letkut turvallisuusriski.

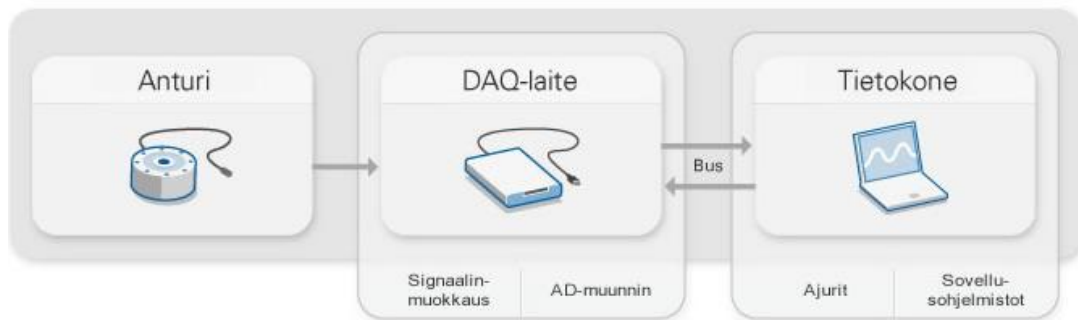
## 2.8 Tiedonkeruujärjestelmä

Haasteena tiedonkeruussa on, että tietoa tulee useilta eri antureilta ja erilaisissa muodoissa. Lisäksi tiedon nopea saaminen on tärkeää ja kriteerinä tiedonkeruuyksikköä hankittaessa. Tiedonkeruuyksikön tulee siis toimia nopeasti ja sisältää useita väyliä. (Nilsson 2017a.)

TB:n moottorilaboratoriossa tiedonkeruu on toteutettu kahden ohjelmiston avulla. Käytetyt ohjelmistot ovat AGCO Powerin Service Tool ja National Instrumentsin LabVIEW. Molemmille ohjelmistoille on omat tietokoneensa, jonne tietoa kerätään ja visualisoidaan. Service Tool -ohjelmisto kommunikoi CAN-väylän välityksellä ECU:n kanssa. CAN-väylän avulla saadaan mitatut arvot kerättyä tietokoneelle sekä Service Tool että LabVIEW-ohjelmistolle tarkastelua varten. CAN-väylän ja tietokoneiden välille on asennettu erilliset liittimet. AGCO Powerin Service Tool -ohjelmiston ja CAN-väylän välillä on AGCO Powerin adapteri. Vastaavasti LabVIEW-ohjelmiston ja CAN-väylän välillä on käytetty National Instrumentsin liittintä. (Nilsson 2017a.)

Kuva 11 kuvaa tiedonkeruujärjestelmän osia ja nuolet informaation kulkua. LabVIEW-ohjelmistolle kerätään tieto antureilta. Ohjelmiston ja laitteiden kommunikoinnin ja yhteensovituksen helpottamiseksi on tiedonkeruulaitteina käytetty National Instruments tuotteita. TB:n tiedonkeruulaitteisto koostuu CompactDAQ-alustasta, johon voidaan liittää yhteensä kahdeksan erilaista moduulia tarpeista riippuen. TB:n järjestelmässä on käytetty viittä moduulia. Ensimmäinen moduuli on lämpötilan sisääntulomoduuili (NI-9213), joka sisältää yhteensä 16 analogista sisääntulokanavaa, ja suurin näytteenottotaa-

juus on 75 Hz. Alustaan on liitetty kaksi analogisignaalien sisääntulomoduulia jännitteen ja virran mittauksille (NI-2919), joissa on neljä sisääntulokanavaa, ja yhden kanavan näytteenottotaajuus on 100 Hz. Alustaan on lisäksi liitetty erillinen moduuli jännitteen sisääntulosignaaleille (NI-9205). Moduulin näytteenottotaajuus on 250 kHz. Viimeisessä moduulissa on kuusi kanavaa differentiaalisille tai yksivaiheisille digitaalisille sisääntulosignaaleille (NI-9411). Jokainen kanava on yhteensopiva  $\pm 5\text{--}24$  V signaalien kanssa. Tällä moduulilla on kerätty tieto RENISHAW magneettiselta anturilta, joka mittaa pyörimisnopeuden moottorin päädyistä. CompactDAQ-alusta on kytketty tietokoneeseen USB-kaapelilla. (Nilsson 2017a; National Instruments 2017.)



**Kuva 11.** Tiedonkeruujärjestelmän osat ja informaation kulkusuunnat (National Instruments 2017).

TB:n moottorilaboratoriossa käytetyt mittalaitteet RENISHAW:n magneettista anturia lukuun ottamatta eivät ole yhdistetty tiedonkeruujärjestelmään. Mittalaitteilta tieto on saatu kirjaamalla ylös ne mittalaitteiden näytöiltä tai suoraan datakaapelin avulla omalle tietokoneellensa. Mittalaittekohtainen tiedonkeruu on käsitelty mittalaitteiden yhteydessä luvussa 2.7.

### 3 SUUNNITELMA VEBIC-MOOTTORILABORATORIOON

#### 3.1 Suunnitelman tavoitteet ja työn rajaus

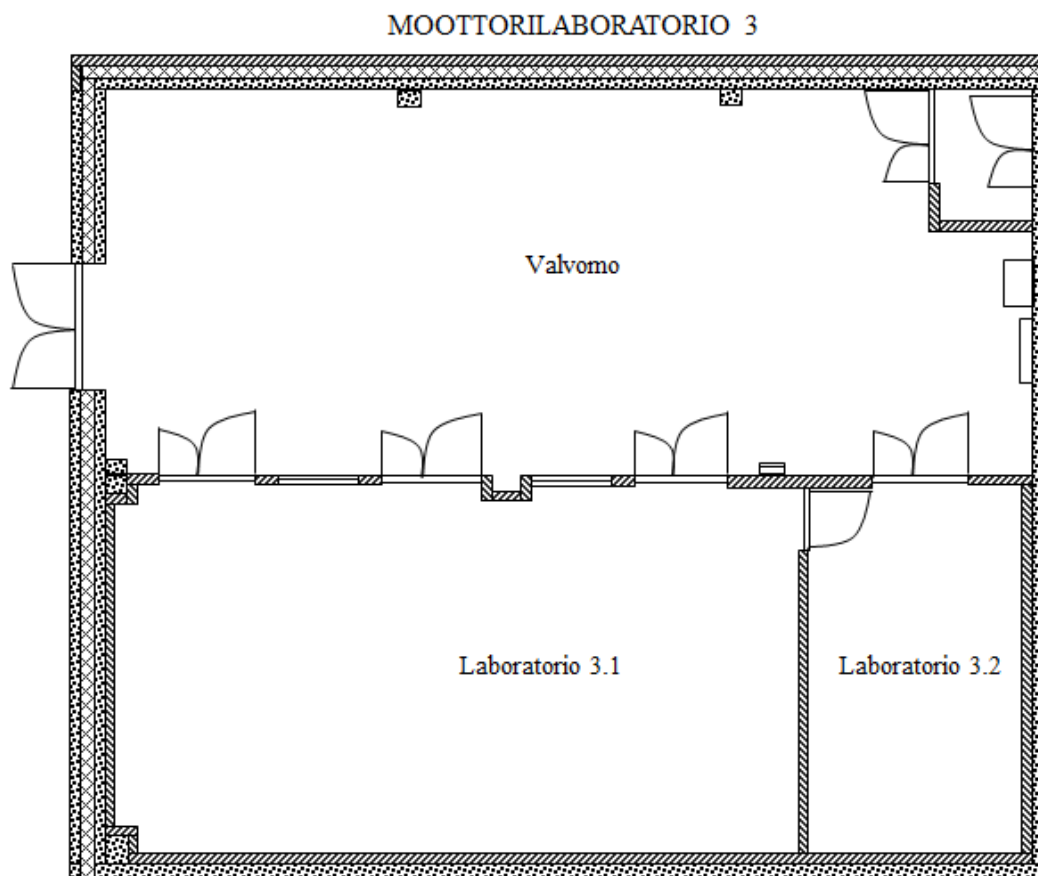
Suunnitelman tavoite on kerätä yhteen jo olemassa olevat laitteet sekä esittää tärkeimmät hankittavat laitteet. Suunnitelmassa on huomioitu eri laitteiden välisiä eroja ja vertailtu markkinoilla olevia vaihtoehtoja. Vertailussa on huomioitu TB:n lisäksi AGCO Powerin ja Turun ammattikorkeakoulun moottorilaboratorioissa toimiviksi koetut ratkaisut. Suunnitelman tukena on käytetty kirjallisuuden esittämiä näkökulmia. Näin on toimittu parhaiden vaihtoehtojen löytämiseksi VEBIC-moottorilaboratorioon. Lisäksi suunnitelmassa on tuotu esiin laitteiden arvioidut hankintakustannukset jaotettu kantaa laitteiden tulevaan sijoitukseen VEBIC:in moottorilaboratoriossa 3.2.

Suunnitelmassa ei ole käsitelty yksityiskohtaisesti moottorin ja laitteiden välisiä sähköjohdotuksia tai putkia eikä niistä syntyviä kustannuksia. Suunnitelmassa ei ole voitu esittää tai huomioida kaikkien laitteiden tarkkaa sijoitusta muun muassa jarrupenkin mitoituksen keskeneräisyyden vuoksi.

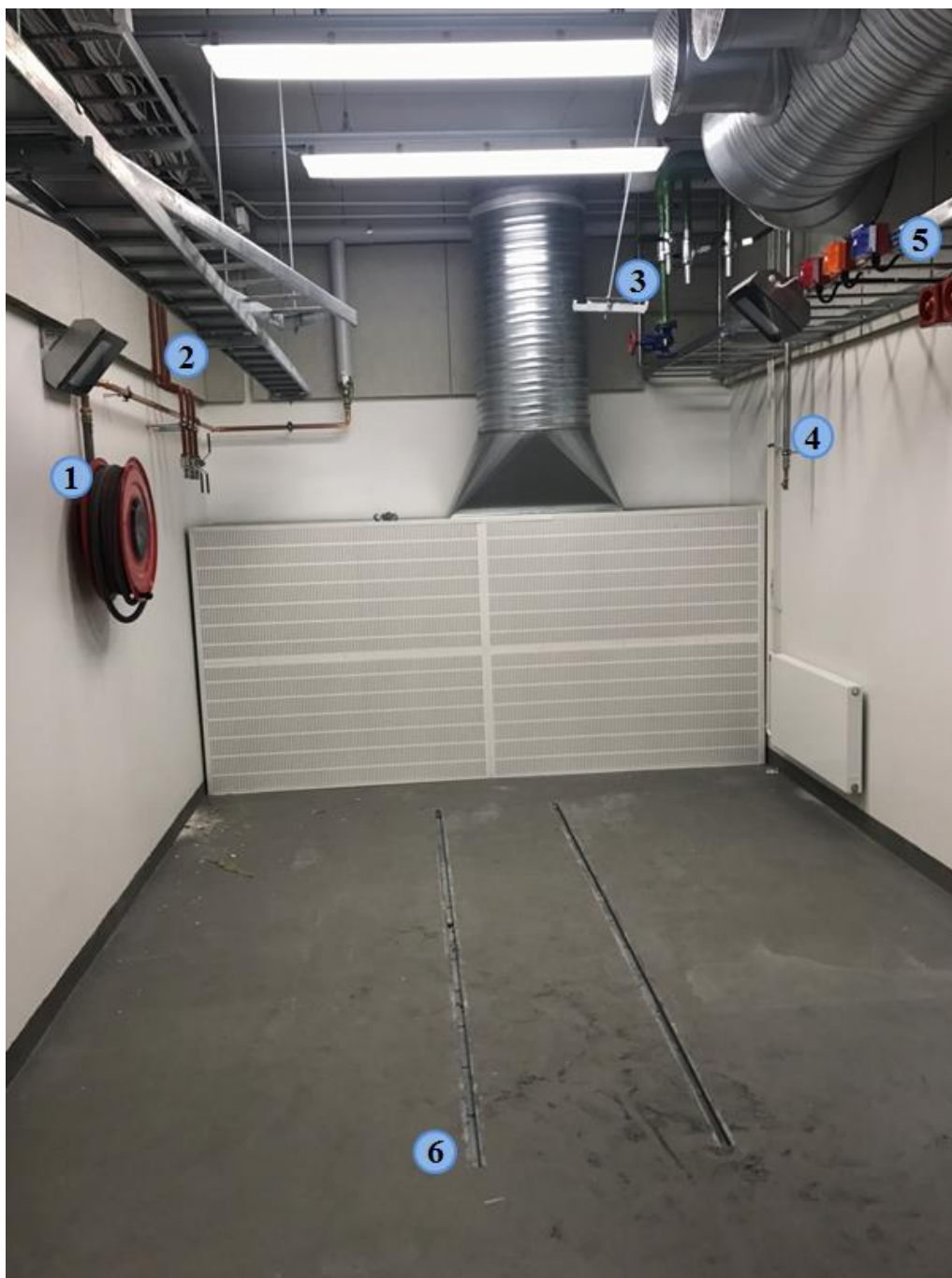
#### 3.2 Moottorilaboratorio 3.2 ja valvomo

AGCO Power 44 AWI -moottori ja sen ympärille hankittava laitteisto sijoitetaan VEBIC:in moottorilaboratorioon 3. Moottorilaboratorio 3:n pohjapiirustus on esitetty kuvassa 12. Moottorilaboratorio 3 koostuu kahdesta moottorisellistä. Moottorisellisissä 3.1 on paikat yhteensä kolmelle moottorille. AGCO Power 44 AWI ja sen laitteisto sijoitetaan laboratorioon 3.2 sekä valvomotilaan. Kuvassa 13 on laboratorio 3.2. Laboratoriossa ei ole erillistä valvomoa, vaan moottorin valvonta, ohjaus ja mittaukset suoritetaan moottorisellien ulkopuolella olevassa tilassa, joka on esitetty kuvassa 14. Valvomotilaan sijoitetaan työtaso, tarvittava laitteisto sekä riittävä määrä tietokoneita ja näyttöjä, mistä valvonta, ohjaus ja mittaukset voidaan suorittaa. Valvomoalue tulee sijoittumaan suurin piirtein laboratorioden väliin. Laboratorioon on rakennettu kaapelihylly, jota pitkin da-

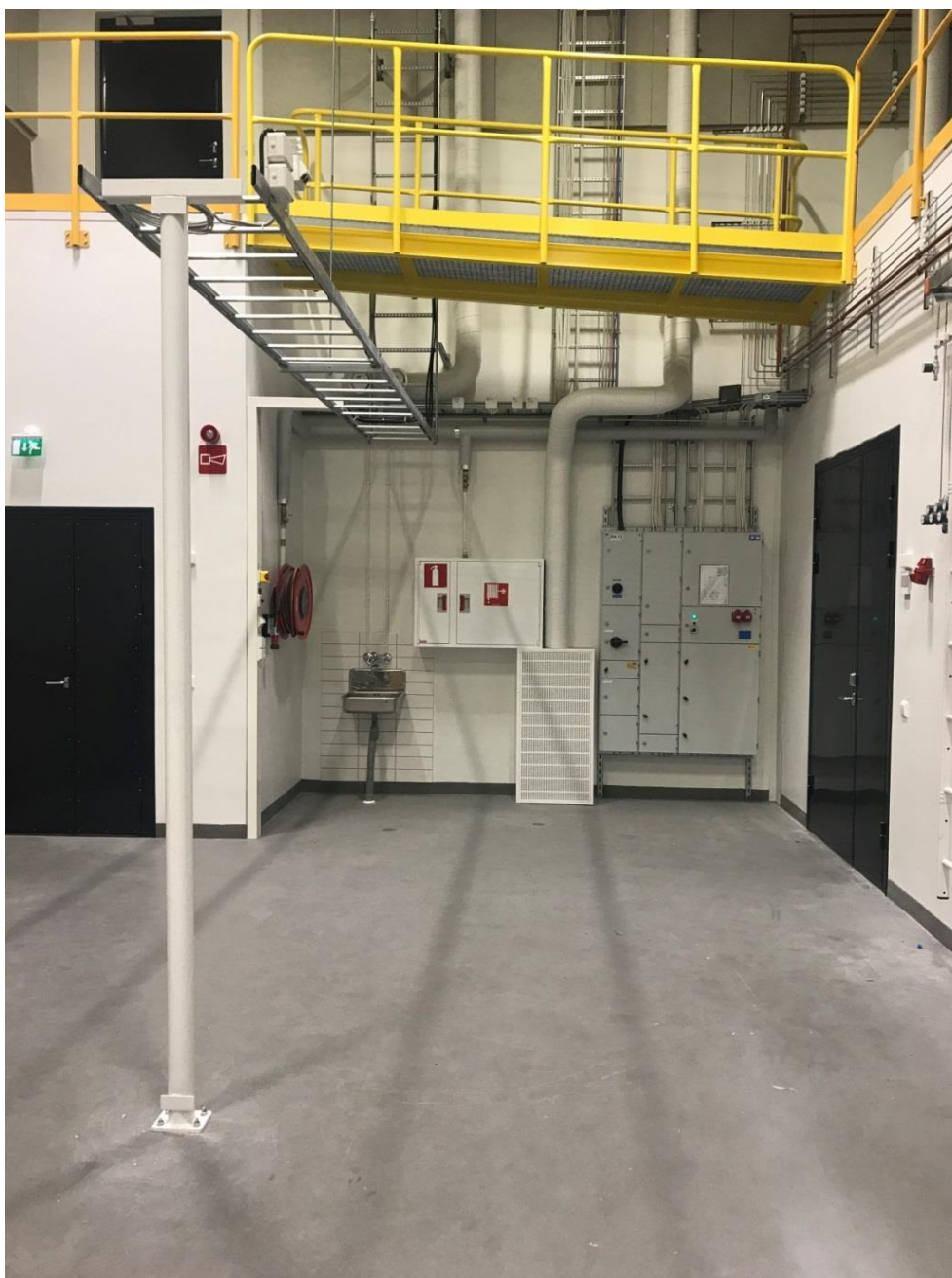
ta- ja signaalikaapelit on tarkoitus tuoda moottorilta ja mittalaitteilta valvomotiilaan. Työtaso olisi järkevä sijoittaa kuvassa 14 esitetyn kaapelihyllyn alapuolelle.



**Kuva 12.** VEBIC:in moottorilaboratorio 3:n pohjapiirustus.



**Kuva 13.** VEBIC:in moottorilaboratorio 3.2. Kuvassa on merkittynä: 1) pikapaloposti, 2) polttoaineen syöttölinjat, 3) jäähdytysvesilinjat, 4) paineilma, 5) hälytyksen merkkivalot ja 6) lattiakiskot.



**Kuva 14.** Moottorilaboratorion 3 valvomotiila. Vasemmalla on sisäänkäynti moottorilaboratorioon 3 ja oikealla ovi laboratorioon 3.2.

### 3.3 Froude EC 50 TA -pyörrevirtajarru

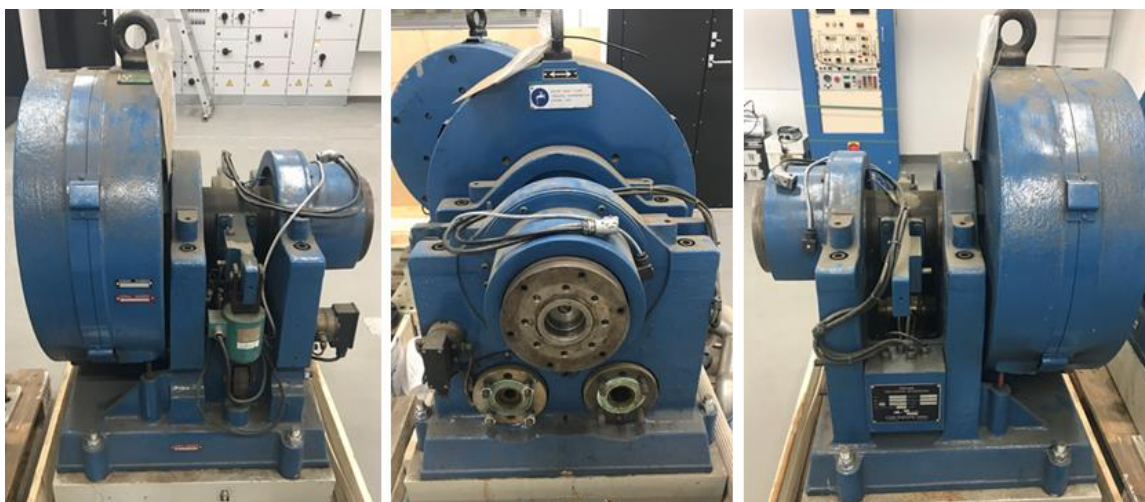
Vuonna 2012 AGCO Power Oy lahjoitti kaksi käytöstä poistettua Froude EC 50 TA -mallin pyörrevirtajarrua Vaasan yliopistolle. Jarruja on säilötty yliopiston tiloissa, ja

toinen jarruista on tarkoitus ottaa käyttöön AGCO Power 44 AWI -moottorin kanssa uudessa moottorilaboratoriossa. Taulukossa 3 on esitetty Froude EC 50 TA -pyörrevirtajarrun tietoja.

**Taulukko 3.** Froude EC 50 TA -pyörrevirtajarrun tietoja (Dynamometer World 2017).

Maksimipyörimisnopeus (rpm)	6000
Maksimimomentti (Nm)	1087
Maksimiteho (kW)	300
Hitausmomentti (kgm <sup>2</sup> )	0,36

Kun jarrut saatiin vuonna 2012, oletus oli, että toinen jarruista toimisi sellaisenaan ja toinen kaipaisi hieman kunnostusta ennen käyttöönottoa. Jarrut ovat olleet kuitenkin säilössä jo niin pitkään, ettei enää voida olla varmoja jarrujen toimivuudesta. Varmuutta ei ole siitä, kumpi jarruista oli alun perin paremmassa kunnossa ja kumpi kunnostusta kaipaava. Toinen jarruista oli kuitenkin pakattu ja säilötty huolellisemmin, mikä viittasi siihen, että tämä jarru oli tarkoitus ottaa käyttöön. Huomioitavaa on, että toinen jarruista putosi sitä kuljettaneen trukin kyydistä, kun jarruja siirrettiin yliopiston varastolta VE-BIC-laboratorioon. Tämän jarrun pakkaus oli puutteellisempi. Kuvassa 15 on Froude EC 50 TA -pyörrevirtajarru.



**Kuva 15.** Froude EC 50 TA -pyörrevirtajarru.

Jotta voidaan selvittää jarrujen kunto, olisi järkevää avata molemmat jarrut. Avauksen yhteydessä voidaan varmistaa, kumpi jarruista on paremmassa kunnossa ja mitä huolto-toimenpiteitä on tehtävä ennen asennusta. Tämän mallin jarrujen kanssa yleisimpiä ongelmia ovat olleet vesivuodot. Koska jarrut ovat olleet säilössä noin viisi vuotta, on todennäköistä, että tiivisteet ovat kuivuneet ja kaipaavat vaihtoa. Suositeltua on, että jarru- ja käännettäisiin varastoinnin aikana tietty astelukku muutamien kuukausien välein, jotta jatkuva paino ei aiheuttaisi laakereihin vahinkoa. Koska jarruja ei ole käännetty, on selvittävää, ettei pitkä varastointi ole aiheuttanut tällaisia ongelmia. Satunnaisia ongelmia ovat lisäksi aiheuttaneet oikomista vaatineet osat. Osien oikominen on suoritettu joko koneistamalla tai tasohionnalla. Tällaisia korjauksia tehdessä on tärkeää varmistaa, että roottorin ilmaväli jää riittävän suureksi. Lisäksi avauksen yhteydessä voidaan samalla tarkistaa vesikanavien kunto. (Nyman 2017a.) Lopullisesti jarrun toimivuus voidaan todeta testaamalla jarrua käytössä. Yksi vaihtoehto kunnostukselle on AVL:n tarjoama pyörrevirtajarrujen kunnostuspalvelu. Tämän palvelun avulla voidaan kunnostaa toinen jarruista toimivaan kuntoon, ja toinen jarru voidaan pitää varastossa mahdollisten varaosatarpeiden varalta. Koska molempia jarruja ei ole tarkoitus ottaa käyttöön, tarjoaa tämä palvelu mahdollisuuden varmistaa toisen jarrun toimivuus ennen käyttöönottoa. (Johansson, B. 2017a.)

Froude EC 50 TA -pyörrevirtajarrusta saadaan mitattua pyörimisnopeus jarrun moottorin puolen päätyyn asennetulta 60-hampaiselta kehältä. Mittaamiseen AGCO Powerilla käytettiin eri valmistajien erilaisia antureita riippuen jarrun ohjaimesta. Osa ohjausjärjestelmistä on joustavia, ja osa taas vaatii juuri tietyn tyyppisen anturin (Nyman 2017a). Jarrussa on vääntömomentin mittaamista varten voima-anturi. Kahden jarrun voima-anturit ovat erilaiset. Toisaalta erona ovat vain hieman erilaiset mitta-alueet, ja nollakohdat tulee joka tapauksessa säätää ja kalibroida ennen jarrun käyttöönottoa. Lisäksi jarruihin on asennettu samanlaiset painekytkimet. Painekytkimillä on vahdittu jäähdytysveden virtausta jarruun. Kun jarrut olivat käytössä AGCO Powerilla, käytettiin painekytkimien lisäksi oikeaa virtausvahtia. Tällä haluttiin varmistaa, että jarruun saadaan riittävä jäähdytysvesivirtaus (Nyman 2017a). Jarrujen kunnostuksen yhteydessä on tarpeen selvittää näiden laitteiden toimivuus ja kalibrointi. Jos puutteita havaitaan, täytyy vialliset osat korvata uusilla ja toimivilla antureilla. Lisäksi, jos koetaan, että painekyt-

kimet eivät riitä jäähdytysvesivirtauksen varmistamiseksi, voidaan jarrulle tulevaan jäähdytysvesiputkeen asentaa virtausvahti.

Pyörrevirtajarrun yhteydessä on suositeltua käyttää magneettista metallihiukkassuodatinta, joka kerää metallihiukkaset, jotka muuten jäisivät jarrun rakenteisiin kiinni. Lisäksi suodin poistaa kalkkia ja näin ollen parantaa jarrun toimintaa ja pidentää käyttöikä. VEBIC-moottorilaboratoriossa on käytössä suljettu jäähdytysvesijärjestelmä, joten jäähdytysvesi ei sisällä yhtä paljon hiukkasia kuin järjestelmät, joissa käytetään jatkuvasti tuoretta vettä. Pumpuista ja muista rautaosista saattaa kuitenkin irrota metallihiukkasia jäähdytysveteen. Magneettista suodatinta olisikin suositeltavaa käyttää jarrun yhteydessä myös VEBIC:issä. VEBIC:iin riittäisi pienempikokoinen magneettinen suodatin kuin TB:llä, ja suodatin voitaisiin asentaa jarrun ja jäähdytysvesisyötön väliin. (Nils-son 2017d; Nyman 2017b.) TB:llä käytetty magneettinen suodatin oli toimitettu yhdessä Horiban pyörrevirtajarrun kanssa. Suodatin on kuitenkin POLO Filterin valmistama MFGH300-malli. Kyseisen yrityksen vastaavan suodattimen pienimmässä mallissa MFGH100 on DN32-kokoiset liitokset, 16 baarin maksimipaine ja 100 l/min maksimivirtaus. Tämän suodattimen hinta on 1102 euroa. Hintaeroa seuraavaan malliin MFGH150, jossa liitoskoko on DN40 ja maksimivirtaus 150 l/min, on noin 30 euroa. Lisäkustannuksia suodattimen hintaan tulee yhteensä 42 euroa, mihin sisältyy tuotteen pakkaus ja merikuljetus (Eggl 2017).

### 3.4 Moottorin ja jarrun yhteenliittäminen

#### 3.4.1 Jarrupenkki

VEBIC-moottorilaboratorioon on tehtävä jarrupenkki, johon moottori ja Frouden pyörrevirtajarru voidaan kiinnittää. Uuden jarrupenkin suunnittelu ja rakentaminen toteutetaan osana Novia Yrkehögskolanin järjestämää kurssia tai opinnäytetyönä. Suunnittelussa tulee huomioida Froude EC 50 TA -jarrun suurempi koko ja paino verrattuna Horiba WT300 -jarruun. Moottorilaboratorion 3.2 lattiasta löytyy kiskot (ks. kuva 13), joiden hyödyntämistä jarrun asennuksessa voidaan tutkia. On kuitenkin mahdollista, että

jarrun ja moottorin välinen korkeusero kasvaa liian suureksi. Kiinnityksessä suoraan lattiaan ongelmaksi voi muodostua tärinän vaimennus. Erilaisia tärinän vaimennusmahdollisuuksia on hyvä miettiä jarrupenkin suunnittelussa, sillä värähtely saattaa aiheuttaa ongelmia pyörrevirtajarrun ohjauksessa (Atkins 2009: 13). Moottorin ja jarrun penkkiliitosten välissä voidaan käyttää kumivaimentimia. Lisäksi koko jarrupenkki moottorin ja jarrun kanssa on mahdollista sijoittaa ilmajousituksen päälle (Nyman 2017b).

### 3.4.2 Akseli ja suoja

Jarrupenkin rakenne määrittää jarrun ja moottorin välisen etäisyyden. Eniten akselin valintaan vaikuttaakin jarrupenkin mitoitus. Akseli voidaan mitoittaa ja valita vasta, kun jarrupenkin mitat ja sitä kautta moottorin ja jarrun välinen etäisyys on selvillä. Rakenteellisten ominaisuuksien antaman liikkumavaran ja tärinän vaimennuksen ansiosta Gewes-nivelakselin käyttö VEBIC:issä olisi hyvä ratkaisu. Suurta eroa akselin pituuteen verrattuna TB:n järjestelmään tuskin tulee, ja koska moottorin malli ei vaihdu, 4400 Nm nimellismomentti pitäisi olla riittävä. Hinta-arvio GEWES 4496-63-00/03X0365-3, joka on samanmallinen kuin TB:llä, on 490 euroa. Nivelakselin toimitusaika on noin viisi viikkoa (Suutari 2017). Kun akselin pituus ja malli on selvillä, voidaan mitoittaa ja teetättää akselin suojarakenne.

### 3.4.3 Kytkin

Moottorin ja akselin välissä on hyvä käyttää kumiliitosta vaimentamaan vääntövärähtelyä (Nyman 2017b). TB:llä sujuva toiminta on varmistettu CENTA-kytkimellä. CENTA (2017) mukaan testimoottorin ja pyörrevirtajarrun väliseen liitokseen soveltuvat kytkinmallit ovat CENTAFLEX-A ja CENTAX-TEST. Kuitenkin, jos käytössä on nivelakseli, sopii CENTAX-V -malli parhaiten käyttötarkoitukseen. Lisäksi, koska moottorimalli ei muutu, on suositeltavaa käyttää samaa kytkin mallia kuin TB:llä eli CX35-VFA-150-0-50-11 kytkintä. Hinta-arvio kytkimelle on 1216 euroa (ALV 0 %), ja toimitusaika on 6–7 viikkoa (Lamminpohja 2017).

### 3.5 Jäähdytyslaitteet

VEBIC-moottorilaboratorioon on hankittava uusi välijäähdytin, lämmönsiirrin ja polttoainejäähdytin. Laboratorioon 3 tulee jäähdytysvesi laboratorio 1 jäähdytysjärjestelmän välijäähdytysvedestä. Jäähdytysveden maksimilämpötila on noin +32 °C, ja paluupuolella on virransäätöventtiili, jonka avulla voidaan säätää virtaus sopivaksi jäähdyttimille (Anttila 2017; Nilsson 2017c).

#### 3.5.1 Välijäähdytin

Kun tiedettiin, että laboratorion jäähdytysvesi on maksimissaan +32 °C ja virtaukseksi arvioitiin noin 30 l/min, saatiin selville, että FG100-4075-2 välijäähdytin sopisi parhaiten moottorille (Whittaker 2017). Oli tiedossa, että TB:llä välijäähdytin GL140-4076-2 on ylimitoitettu AGCO Power 44 AWI -moottorille. Tästä johtuen haluttiin verrata ehdotetun ja ylimitoitettun jäähdyttimen tietoja, ja vertailun pohjalta valita sopiva välijäähdytin. Taulukossa 4 on esitetty sekä ylimitoitettun jäähdyttimen että valmistajan ehdottaman mallin tiedot. Tiedot on annettu VEBIC:in jäähdytysveden vastaavilla arvoilla.

**Taulukko 4.** Kahden välijäähdyttimen arvojen vertailutaulukko (Whittaker 2017).

		GL140-4076-2	FG100-4075-2
Shell side (ilma)	Massavirta (kg/min)	10,3	10,3
	Sisääntulolämpötila (°C)	156	156
	Ulostulolämpötila (°C)	54,1	60,2
	Painehäviö (kPa)	3,78	6,3
Tube side (vesi)	Tilavuusvirta (l/min)	30	30
	Sisääntulolämpötila (°C)	32	32
	Ulostulolämpötila (°C)	40,7	40,2
	Painehäviö (kPa)	0,46	1,57
	Lämpö (kW)	18,1	17

Kun katsotaan taulukon 4 arvoja, huomataan, että suuremmalla jäähdyttimellä saavutetaan tehokkaampi jäähdytys, pienempi painehäviö sekä matalampi ulostulo lämpötila

kuin pienemmällä välijäähdyttimellä. Nyman (2017b) mukaan jäähdytyslaitteet voivat olla ylimitoitettuja, jolloin jäähdytys on tarvittaessa tehokkaampaa. Näin ollen isompi välijäähdytin olisi järkevää hankkia VEBIC-moottorilaboratorioon. Tesconin tekemä tarjous pienemmälle välijäähdyttimelle (FG100-4075-2) on 980 euroa ja isommalle (GL140-4076-2) 1238 euroa. Molemmissa on huomioitu 25 % alennus (Björk 2017).

### 3.5.2 Lämmönsiirrin

Moottorin kanssa yhteensopiva lämmönsiirrin saatiin selvitettyä maksimilämpötilan ja arvioidun virtauksen avulla. Kävi ilmi, että FH300-3282-2 mallin lämmönsiirrin sopisi parhaiten sekä moottorin, että välijäähdyttimen kanssa. FH300-3282-2 on suunniteltu merikäyttöön, joten tämä malli soveltuu moottorilaboratorioon hyvin. Lämmönsiirrin on 1718 euroa, ja Tesconin tekemän tarjouksen jälkeen hinnaksi jää 1289 euroa. (Björk 2017; Nilsson 2017c.)

### 3.5.3 Polttoainejäähdytin

Lisäksi tarjousta pyydettiin Bowmanin putkimalliselle polttoainejäähdyttimelle. Polttoainejäähdytin on valmistettu korroosiota kestävästä materiaaleista, joten putkimallinen jäähdytin soveltuu hyvin VEBIC:iin, jossa käytetään merivettä jäähdytyskierrossa. Bowman (2012) mukaan polttoainejäähdyttimen koko tulisi valita niin, että jäähdyttimen koko on pienin, jolla saadaan täydellinen merivesivirtaus moottoriin. Niinpä polttoainejäähdytintä ei kannata ylimitoittaa. AGCO Power 44 AWI -moottorille sopiva polttoainejäähdytin malli on DC60-XAA, jonka hinta on 185 euroa. Tesconin tekemässä tarjouksessa on kuitenkin 25 %:n alennus, jolloin hinta on 139 euroa (Björk 2017).

Polttoainejäähdyttimen kanssa on käytetty Danfossin termostaatin avulla ohjattua venttiiliä, joka on varustettu lämpötilaan reagoivalla anturilla. Termostaattia on käytetty lämpötilan manuaaliseen ohjaukseen. Lisäksi lämpötilaa kyetään ohjaamaan elektronisella säätimellä ja magneettiventtiilillä (Nilsson 2017d). Nykyinen järjestelmä on kuitenkin toiminut hyvin TB:llä. Danfossin AVTA -termostaattiohjatut venttiilit tunnetaankin luotettavuudestaan ja itsetoimivuudestaan. Bowman DC60-XAA -polttoainejääh-

dyttimen kanssa sopiva termostaatti on AVTA25. Termostaatilla ohjatussa venttiilissä on DN25-liitoskoko, messinkinen runko ja 10–80 °C lämpötila-alue (Rutkiewicz 2017). Tällaisen AVTA25-termostaattiventtiilin hinta on 356 euroa (ALV 0 %) (Martin 2017).

### 3.6 Ohjausjärjestelmä

Ohjausjärjestelmää valittaessa on huomioitava etenkin ohjelmiston soveltuvuus käyttötarkoitukseen. On hyvä selvittää, onko järjestelmä mahdollisesti ollut käytössä muissa vastaavissa käyttöympäristöissä. Lisäksi on arvioitava järjestelmän yhteensopivuus jarrun, muiden olemassa olevien laitteiden ja mahdollisten uusien kolmannen osapuolen laitteiden kanssa. Muita tärkeitä huomioitavia asioita ovat ohjelmiston käyttöön saatava koulutus, ohjelmiston ja huoltoavun saatavuus sekä ohjausjärjestelmän hinta. Tulee muistaa, että hintaan vaikuttaa ostohinnan lisäksi omistuskustannukset, jotka syntyvät esimerkiksi teknisestä tuesta, päivityksistä ja ylimääräisistä lisensseistä. (Martyr & Plint 2012: 316–317.)

VEBIC-moottorilaboratorioon on hankittava ohjausjärjestelmä. Luvussa 2.6 on esitelty TB:llä käytetty SPARC-ohjausjärjestelmä, joka on yksi ohjausjärjestelmävaihtoehdoista VEBIC:iin. Karkea hinta-arvio uudelle SPARC-ohjausjärjestelmälle, joka on tehty yhteensopivaksi Froude EC 50 TA -jarrulle, on noin 19 000 euroa (Nilsson 2017b). Tässä luvussa kartoitettiin Horiban SPARC-järjestelmän lisäksi muiden valmistajien vastaavia ohjausjärjestelmävaihtoehtoja. Näin pyrittiin saamaan hyvä kokonaiskuva siitä, mitä vaihtoehtoja on tarjolla, ja mikä järjestelmä sopisi uuteen moottorilaboratorioon.

Vaatimuksena VEBIC-laboratorioon hankittavalle järjestelmälle on toimivuus Frouden jarrun kanssa. Toimivuus muiden valmistajien dynamometrien kanssa on tärkeää, jos tulevaisuudessa halutaan päivittää jarrua uudempaan malliin. Lisäksi on toivottavaa, että moottoria pystyttäisiin ohjaamaan pyörrevirtajarrun ohjausjärjestelmällä, jolloin erillistä moottorin ohjausta ei tarvittaisi (Nilsson 2017b). Mahdollisuus automaatiojärjestelmään liittämiseksi on kiinnostava lisä, jos VEBIC:in järjestelmää halutaan päivittää edelleen tulevaisuudessa.

TB:llä on ollut ECU:n ja ohjausjärjestelmän välissä sähköliitäntäkaappi, jonka kautta moottorin ohjaus- ja hälytyssignaalit ovat kulkeneet. VEBIC:in sähköliitäntäkaapin rakenne saattaa poiketa TB:n kaapin rakenteesta riippuen siitä, mikä ohjausjärjestelmä lopulta valitaan laboratorioon 3.2. Uuden kaapin kokoa olisi hyvä kasvattaa joka tapauksessa johdotusten selkeyttämiseksi ja huoltotoimenpiteiden helpottamiseksi. Kaapin kokoa olisi varaa kasvattaa jopa kymmenkertaiseksi. Uuteen kaappiin tarvittavat komponentit eivät ole kalliita, mutta on huomioitava, että kaapin rakentaminen vaatii aikaa ja työtunteja. (Nilsson 2017a.)

Lisäksi selvitettiin, onko AGCO Power Oy:llä mahdollisesti käytöstä poistumassa olevia ohjausjärjestelmiä, joista olisi mahdollista saada ohjausjärjestelmä VEBIC-laboratorioon. Tiedusteluhetkellä vanhoja järjestelmiä oli juuri poistettu käytöstä, mutta ylimääräisiä järjestelmiä ei ollut lahjoitettavana yrityksen ulkopuolelle. Tilanne saattaa kuitenkin muuttua ajan kuluessa (Nyman 2017b).

### 3.6.1 Frouden ohjauskaappi

AGCO Power Oy on lahjoittanut vuonna 2012 Vaasan yliopistolle Froude EC 50 TA -jarrujen lisäksi Frouden ohjauskaapin, jota on käytetty jarrun ohjauksessa. Ohjauskaappi on esitetty kuvassa 16. Tämä ohjain on nykyaikaisiin ohjausjärjestelmiin verrattuna vanhanaikainen. Ohjauskaapin rakenne rajoittaa ohjausmahdollisuuksia ja testien tarkkuutta. Ohjauskaappi on kooltaan nykyaikaisiin järjestelmiin verrattaessa moninkertainen, mikä vaikeuttaa sijoitusta moottorilaboratorioon. Lisäksi järjestelmä on ollut pitkään säilytyksessä ja poissa käytöstä, jolloin varmuutta tämän hetken toimivuudesta ei ole. Toisaalta kaappia on säilötty TB:n moottorilaboratoriossa valvomotilassa, joten kaappi ei ole altistunut säilytyksen aikana haitallisille olosuhteille, kuten kosteudelle.

Frouden ohjauskaappi ei ole ominaisuuksiltaan verrattavissa esimerkiksi TB:llä käytettyyn SPARC-ohjausjärjestelmään. Kuitenkin Froude EC 50 TA -pyörrevirtajarrun ohjaus on suoritettavissa ohjauskaapilla. Ohjauskaapin kanssa on käytetty LabVIEW-ohjelmistoa (Nyman 2017b). Samaa ohjelmistoa on käytetty TB:llä Horiban SPARC-ohjausjärjestelmän kanssa. Frouden ohjainvaihtoehto on edullinen, koska kaappi on jo hankit-

tuna. Huomioitavaa kuitenkin on, että yhteensovitus jarrun kanssa vaatii aikaa, paneutumista sekä työtunteja. Samanlaista tarkkuutta ei voida odottaa kuin uudemmilta järjestelmiltä. Lisäksi moottorin ohjaus tulee toteuttaa erillisesti. Jos myöhemmin halutaan päivittää jarrua uudempaan ja mahdollisesti toisen valmistajan malliin, voi ohjauskaapin sovitusta olla haastavaa. Frouden ohjauskaapin yksinkertaisuus voi rajoittaa, jos tulevaisuudessa halutaan liittää moottorin ja jarrun ohjaus osaksi automaatiojärjestelmää.



**Kuva 16.** Frouden ohjauskaappi.

### 3.6.2 A04 ja MP620BS

Italialaiselta valmistajalta Borghi & Saveri tiedusteltiin nykyistä vastaavaa ohjausjärjestelmävaihtoehtoa. Tämän valmistajan ohjainta on käytetty TB:llä moottorilaboratoriossa toisella moottorilla. Borghi & Saveri:n esittämä vaihtoehto on A04 tyyppin ohjausjärjestelmä pyörrevirtajarrulle sekä MP620BS näytöllinen nopeuden, vääntömomentin ja tehon mittauslaite. Kuvassa 17 ovat A04-ohjain sekä näytöllinen MP620BS-mittalaite. Mittauslaitteella mitataan moottorin synnyttämä vääntömomentti tietyllä nopeudella, ja

mittaus perustuu moottorin muodostaman momentin jarruttamiseen. Jarrutusvoimakäyrän tulee ylittää testattavan moottorin tehon käyrän, jotta toiminta vakaillo olosuhteilla on mahdollista. A04-ohjausjärjestelmä toimii pyörrevirtajarrun käämien kanssa synnyttämällä niihin magnetointivirran. Magnetointivirran avulla pystytään ohjaamaan jarruttavaa momenttia eri pyörimisnopeuksilla, eli virran avulla voidaan säätää vääntömomenttia ja nopeutta. Eri käyntitapoja valitsemalla on mahdollista saavuttaa vakaita toimintapisteitä. Käyntitapoja ovat vakiovirran ohjaustila (M), vakiovääntömomentin ohjaustila (M=k), ohjelmointitoiminto, vakionopeuden ohjaustila (n=k) ja neliöllinen ohjaustila (Mn<sup>2</sup>). MP620BS mittaa moottorin pyörimisnopeuden ja moottorin tuottaman vääntömomentin. Lisäksi laite laskee moottorin tuottaman tehon sekä toimittaa nopeuden ulostulosignaalin anturilta ja analogisen vääntömomentin ulostulosignaalin. Laitteeseen kuuluu kolme viisinumeroista 7-segmentin näyttöä, joilla esitetään pyörimisnopeus, vääntö ja teho. (Borghi 2017.)



**Kuva 17.** A04-ohjain ja MP620BS-mittalaite (Borghi 2017).

Borghi & Saveri ei kuitenkaan valmista järjestelmiä, jotka vastaisivat täysin esimerkiksi Horiban SPARC-ohjausjärjestelmää. Ohjaussignaali on kuitenkin saatavissa laitteilta, ja esimerkiksi yhdistämällä National Instrumentin laitteita on pystytty rakentamaan toimivia tietojärjestelmiä. A04-ohjausjärjestelmän hyvänä puolena voidaan pitää, että järjestelmän käytöstä on aiempaa kokemusta TB:n moottorilaboratoriossa. A04-ohjausyksikkö on 6558 euroa, ja MP620BS näytöllinen kuormavahvistin on 4295 euroa, eli yhteensä laitteet kustantaisivat 10 853 euroa (Borghi 2017). Hinnaltaan laitteet ovat Horiban järjestelmää halvemmat. Tällä järjestelmällä ei kuitenkaan pystytä ohjaamaan moottoria samalla tavalla. Lisäksi on otettava huomioon lisälaitteiden kustannukset, joita on hankittava tietojärjestelmän muodostamiseksi. Useimmiten tällaiset laitteet ovat kalliita, jolloin hinta voi nousta paljonkin korkeammaksi. Huomioitavaa on, että A04-ohjaimen

toiminta perustuu pyörrevirtajarrun käämitykseen. Tällöin Froude EC 50 TA -pyörrevirtajarrun käämitiedot tulee vastata Borghi & Saveri:n valmistaman jarrun vastaavia tietoja. Jos käämitiedot eroavat, voidaan A04-ohjain yrittää asettaa Frouden jarrun tietoja vastaavaksi. Valitettavasti työn aikana ei jarrun valmistajalta saatu tarvittavia tietoja Borghi & Saveri:n tarjoaman vaihtoehdon ja Frouden jarrun yhteensopivuuden varmistamiseksi.

### 3.6.3 FEV DCU3000

FEV:n tarjoama vaihtoehto on DCU3000-ohjausjärjestelmä, joka on suunniteltu moottoriin yhdistetyn pyörrevirtajarrun ohjaukseen. FEV DCU3000 on esitetty kuvassa 18. DCU3000-ohjausjärjestelmällä on mahdollista ohjata moottoria pyörrevirtajarrun lisäksi. Ohjausjärjestelmällä voidaan ohjata nopeutta, vääntömomenttia, virtaa tai kaasuläppää. FEV DCU3000 käyttää EtherCAT-kenttäväyläjärjestelmää, jolla pyritään pieniin datan päivitysaikoihin ja huojuntaan tiedonsiirrossa ilman, että johdotuksen tai laitteiston määrä lisätään. Ohjausjärjestelmällä voidaan kalibroida vääntömomenttimittaukset, asettaa parametreja käyttöliittymän tai konfigurointiohjelman kautta sekä asettaa suoja-parametreja. Ohjausjärjestelmällä on mahdollista suorittaa ohjaus manuaalisesti etupaneelin kautta sekä toteuttaa muutoksia PID-asetuksiin ajon aikana. FEV DCU3000 -ohjausjärjestelmä soveltuu yhteen useimpien laitteiden kanssa. Lisäksi ohjausjärjestelmä on yhdistettävissä automaatiojärjestelmään. (Johansson, A. 2017.)



**Kuva 18.** FEV DCU3000 -ohjausjärjestelmä (Johansson, A. 2017).

FEV:n tekemä tarjous sisältää itse ohjausjärjestelmän, seinämällisen PWR3000-virtalähteen pyörrevirtajarrun magnetointivirtaa varten ja AMP3000-laitteen, jota käytetään pyörrevirtajarrulla mitattujen vääntömomentti- ja pyörimisnopeusanturitietojen käsitte-

lyyn ennen ohjausjärjestelmää. Lisävarusteina ovat saatavissa muun muassa tarvittavat kaapelit. Ohjausjärjestelmä maksaa 11 282 euroa, PWR3000-virtalähde 7829 euroa ja AMP3000 2639 euroa. Lisäksi tarjoukseen on sisällytetty 896 euron projektin hallintaan liittyvät kulut, jotka koostuvat hallinnollisista tehtävistä, kuten tilausten alulle panosta. Kaikkineen FEV:n tarjous on 22 646 euroa. (Johansson, A. 2017.)

#### 3.6.4 AVL:n vaihtoehto

Björn Johanssonin (2017a) mukaan AVL tarjoama ohjausjärjestelmä saadaan sovitettua yhteen Frouden pyörrevirtajarrun kanssa. Ohjausjärjestelmä soveltuu muiden valmistajien jarrujen kanssa käytettäväksi. AVL:n ohjausjärjestelmää ei suoraan voida käyttää moottorin ohjaukseen, koska esimerkiksi käynnistys tapahtuu käynnistinmoottorin avulla. Järjestelmällä on kuitenkin mahdollista ohjata kaasuläpän asentoa ja ajaa moottoria eri toiminnoilla. AVL:n järjestelmällä ei pystytä suorittamaan moottorin öljynpaineen ja lämpötilan valvontaa kuten Horiban SPARC:lla. Öljynpaine ja moottorin ylikuumeneminen voidaan kuitenkin mitata antureilla ja liittää ne osaksi suojaapiiriä niin, että raja-arvojen ylittyessä toiminta katkaistaan. AVL:n ohjain on siinä mielessä tarpeeksi yksinkertainen, että esimerkiksi tietokoneen ohjelmistopäivitykset eivät vaikuta ohjausjärjestelmän toimintaan (Johansson, B. 2017a.)

AVL:n kanssa järjestetyssä tapaamisessa nousi esille yhteistyömahdollisuus AVL:n ja Vaasan yliopiston välillä. Yhteistyö toimisi niin, että AVL tarjoaisi alennusta tuotteistaan sekä mahdollisesti tukea ja huoltoapua. Yliopisto vuorostaan esimerkiksi mainitsisi tutkimusjulkaisuissaan, mitä AVL:n toimittamia laitteita tai ohjelmistoja tutkimuksessa käytettiin. Tällöin käytössä olevien ohjelmistojen tulisi olla uusimpia versioita. Tarjottavan alennuksen määrä riippuisi yliopiston tarjoamien vastapalveluksien määrästä. (Johansson, B. 2017a.) Tarjous AVL:n ohjausjärjestelmävaihtoehdosta ei ennättänyt tulla tämän työn kuluessa.

### 3.7 Mittalaitteet

#### 3.7.1 Pyörimisnopeusmittaukset

TB:llä pyörimisnopeus on saatu pyörrevirtajarrulta akselin päädyistä, moottorin ohjausyksiköltä AGCO:n Service Tool -ohjelmistolle, Kistler KiBox -mittalaitteen nopeusanturilta moottorin päädyistä sekä RENISHAW:n valmistamalta magneettiselta anturilta. Myös VEBIC:issä pyörimisnopeus saadaan ECU:lta ja Frouden pyörrevirtajarrulta sekä Kistler KiBox -laitteelta. RENISHAW:n anturi on ollut tarkin pyörimisnopeuden mittaamisessa. TB:llä on koettu hyödylliseksi, että magneettinen anturi antaa tiedon silloinkin kun moottori ei ole käynnissä (Nilsson 2017d). Olisi siis hyvä hankkia VEBIC:in laboratorioon tällainen magneettinen anturi, vaikka tieto pyörimisnopeudesta saadaan useasta eri paikasta.

LM13 magneettisesta asentoanturista löytyy säde- ja akselisuuntaan asennettava malli (RLS 2017). Koska Kistlerin nopeusanturi asennetaan moottorin toiseen pätyyn ja toisesta päädyistä moottori kiinnitetään akseliin, ei akselisuuntaan asennettavaa mallia voida käyttää. RLS (2017) mukaan LM13 hinta on noin 300 euroa riippuen muun muassa haluttavan ulostulosignaalin ja liittimen tyypistä. Huomioitavaa on, että tiedonkeruuta varten tarvitaan todennäköisesti pidempi kaapeli kuin TB:llä, koska matka valvomoon tiedonkeruulaitteille on pidempi. Anturin toimitusaika on noin kymmenen työpäivää (RLS 2017).

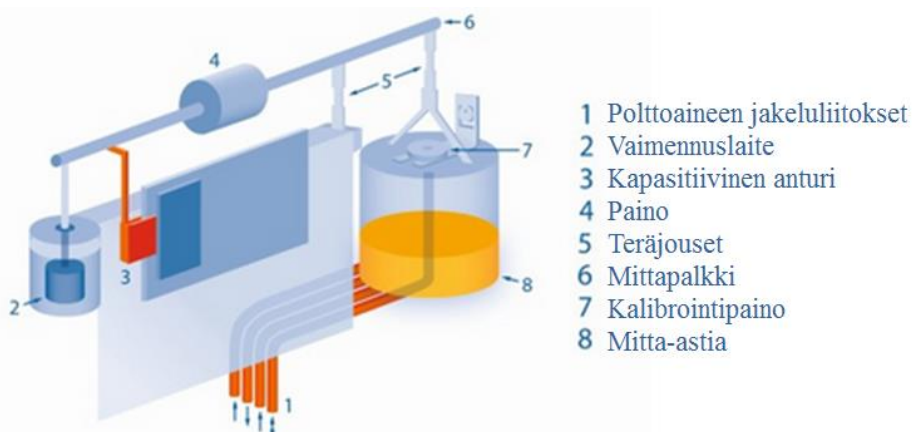
#### 3.7.2 Sylinteripaineen mittaus

TB:n laboratoriossa sylinteripainemittaus on suoritettu yhdellä sylinteripaineanturilla, pyörimisnopeus on mitattu Kistlerin valmistamalla nopeusanturilla ja tulokset on analysoitu Kistler KiBox -mittalaitteella. VEBIC:iin on hankittu Kistler KiBox -laite, jota käytetään usealla moottorilla, ja liikutellaan moottorilaboratorioiden välillä. VEBIC:in moottorilaboratorioon 1 on hankittu vahvistin Kistler KiBox -laitteen käyttöä varten. Vastaavasti vahvistinta voidaan liikutella eri laboratorioiden välillä. Huomioitavaa on, että antureita ja kaapeleita on oltava jokaiselle moottorille omansa, vaikka vahvistinta

liikuteltaisiinkin moottorien välillä. Yksi vastaava käyttämätön paineanturi on jo hankittuna. Vielä on auki, käytetäänkö paineanturia moottorilaboratoriossa 1 olevalla Wärtsilän 4L20 -moottorilla. Tällöin AGCO Power 44 AWI -moottorille tulee hankkia uusi paineanturi, jos moottoriin asennettua paineanturia ei tuoda VEBIC:iin.

### 3.7.3 Polttoaineen kulutuksen mittaaminen

Uuteen moottorilaboratorioon on hankittu AVL Fuel Balance -mittalaite, jolla mitataan polttoaineen kulutus. AVL Fuel Balance -mittalaitteen toiminta perustuu gravimetrisen mittauksen eli polttoaineen kulutus määritetään kapasitiivisella anturilla, joka mittaa mitta-astian painon laskun ajan kuluessa. AVL Fuel Balance -mittalaitteen rakenne on kuvattu kuvassa 19. Kulutettu polttoaine otetaan mitta-astiasta, jota punnitaan jatkuvasti. Polttoaineen massa mitataan kapasitiivisella siirtymäanturilla, joka on liitetty mitta-astiaan taivutuspaikalla. Mittausmenetelmä ei ole jatkuva, koska mitta-astia tulee täyttää ennen jokaista mittausta. Gravimetrisen menetelmän ansiosta polttoaineen tiheyttä ei tarvitse erikseen määrittää. Kulutus voidaan määrittää 0,12 % tarkkuudella, joten laite mahdollistaa tarkan kulutuksen mittauksen pienelläkin kulutuksella ja lyhyillä mittausajoilla. Lisäksi mittalaitteen Fuel Flex -valinnalla jopa 100 % alkoholia ja biodieseliä voidaan käyttää mittauksissa. Mittalaitteessa on sisäänrakennettu automaattinen kalibrointiyksikkö, mikä helpottaa laitteen käyttöä. (AVL 2017a.) Hankittu AVL Fuel Balance sisältää mittalaitteen, virtalähteen, sähköisen ohjausyksikön, ylivuotohavaintajan, sulkuventtiilin, liekkisuodattimen, kytkentäkaapelit ja PC-ohjelmiston (Suomela 2017).



**Kuva 19.** AVL Fuel Balance -mittalaitteen rakenne. Muokattu lähdettä AVL (2017a).

AVL:n mittalaite soveltuu käyttötarkoitukseltaan VEBIC-moottorilaboratorioon, koska tarkoitus on mitata vain polttoaineen virtaus ja kulutus. Joustavuus käytettävissä polttoaineissa on tulevien testiajojen kannalta hyvä, jos halutaan tutkia esimerkiksi eri polttoaineiden vaikutuksia moottorin toimintaan. Lisäksi AVL Fuel Balance -mittalaitteen käytöstä on aiempaa kokemusta, koska samanlainen laite on ollut käytössä TB:n laboratoriossa toisella moottorilla (Nilsson 2017a).

AVL Fuel Balance -mittalaitteelle on saatavissa AVL Fuel Temperature Control -lisälaitte polttoaineen lämpötilan säätämiseen. Tällä voitaisiin korvata polttoaineen jäädyttimen yhteydessä käytetty Danfoss AVTA -termostaattiventtiili. AVL:n lisälaitte on juuri tähän käyttötarkoitukseen suunniteltu. Tällä ohjatulla jäähditysjärjestelmällä voidaan asettaa polttoaineen lämpötilaksi mikä tahansa 10–80 °C välillä. Toisaalta AVL:n lisälaitte on huomattavasti kalliimpi kuin Danfossin termostaatti, joka on osoittautunut toimivaksi TB:llä.

#### 3.7.4 Moottorin jäähditysveden virtauksen mittaus

Jäähdytysvirtauksen mittaaminen on koettu hyödylliseksi TB:llä, joten vastaavaa mittausta olisi hyvä tehdä VEBIC:issä. TB:n laboratoriossa käytetty Kytola Instrumentsin mittari on soveltunut hyvin tähän käyttötarkoitukseen. On kuitenkin huomioitava, että VEBIC:issä moottorille tarvitaan suurempi jäähdytysvirtaus kuin TB:llä. Tämä johtuu siitä, että TB:llä käytetty jäähditysvesi on noin 10 °C ja VEBIC:issä jäähditysveden maksimilämpötila on 32 °C, joten vastaavaan jäähdytykseen tarvitaan suurempi virtaus (Nilsson 2017d).

Suuntaa antava virtauksen suuruus voitiin selvittää, kun arvioitiin veteen siirtyvä lämpö sekä jäähditysveden lämpötilan muutos lämmön siirtymisen jälkeen (Martyr & Plint 2012: 169). Ottoteho ( $P_{\text{otto}}$ ) on 100 kW, ja 50 % hyötysuhteella syötetty teho ( $P_{\text{syötetty}}$ ) on 200 kW. Oletettiin, että noin kolmasosa eli noin 70 kW siirtyy lämpönä jäähditysveeteen. Lisäksi välijäädyttimen osuudeksi arvioitiin noin 20 kW riippuen kytkennästä. Veteen siirtyvä lämpövirta ( $\Phi_{\text{siirtyvä}}$ ) on siis yhteensä noin 90 kW. Jäähditysveden voitiin olettaa lämpenevän noin 10 °C. (Nilsson 2017d.) Lisäksi tiedettiin veden ominais-

lämpökapasiteetti ( $c$ ) ja tiheys ( $\rho$ ). Tällöin jäähdytysveden tilavuusvirraksi moottorille saatiin (Martyr & Plint 2012: 169):

$$\dot{V} = \frac{P_{\text{otto}} \frac{\Phi_{\text{siirtyvä}}}{P_{\text{syötetty}}}}{c\Delta T} = \frac{100 \text{ kW} \cdot \frac{90 \text{ kW}}{200 \text{ kW}} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}}{4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 10 \text{ K} \cdot 1,00 \frac{\text{kg}}{\text{l}}} \approx 65 \frac{\text{l}}{\text{min}}. \quad (2)$$

TB:n järjestelmässä jäähdytysvesi lämpenee enemmän kuin VEBIC:issä, jolloin tarvittava virtaus on pienempi. TB:llä käytetyn virtausmittarin asteikko on 10–60 l/min, joten uuteen moottorilaboratorioon tarvitaan mittari laajemmalla asteikolla. Saman valmistajan tästä seuraava malli on D-4DA, jonka mittausväli on 10–80 l/min, joka on riittävä asteikko käytettäväksi VEBIC:issä. Mittalaitteen maksimilämpötila on 75 °C. D-4DA -mittarin hinta on 157 euroa (ALV 0 %). Tuotteen toimitusaika on viikko tilauksesta, ja tarvittaessa tuote postitetaan paikan päälle, mikä tuo 30 euroa lisää hintaan (Ervelius 2017).

### 3.7.5 Lämpötasemittaukset

Koska TB:llä käytetty lämpövirtamittari ei ollut jatkuvassa käytössä moottoritesteissä, selvitettiin vaihtoehtoista mittaustapaa moottorin lämpötasemittauksille. Kävi ilmi, että Turun ammattikorkeakoulun moottorilaboratoriossa lämpötasemittauksia on toteutettu toimivalla tavalla. Tästä syystä Turun moottorilaboratorion toteutusta voidaan käyttää mallina VEBIC:in laboratoriossa 3.2.

Turun ammattikorkeakoulun moottorilaboratoriossa on käytetty Aplisens PEM-1000 -virtausmittareita ja PT100-lämpötila-antureita. Lämpötila-antureita on ollut kaksi sekä lämmönsiirtimen meno- että paluupuolella. Mittalaitteen toiminta perustuu Faradayn induktiolakiin. Jännite indusoituu virtaavaan väliaineeseen, joka kulkee magneettikentän läpi. Indusoitunut jännite on verrannollinen virtausnopeuteen, ja virtausmäärä laskeaan putken poikkipinta-alan avulla. Aplisens PEM-1000 -virtausmittareista löytyykin kokovaihtoehtoja riippuen halutuista virtausmääristä. Mittarin kokoa valittaessa on otettava huomioon lämmönsiirtimen mitoitus ja riittävän virtauksen varmistaminen. Mitoi-

tuksessa on hyvä huomioida, että suuremmilla virtaamilla tarkkuus yleensä kärsii. Mittaria ei siis kannata ylimitoittaa, jos virtausmittari pienemmälläkin asteikolla on riittävä. Bowmanin FH300-3282-2 mallin lämmönsiirtimelle tulevan jäähdytysveden maksimivirtaus on 125 l/min, joka vastaa 7,5 m<sup>3</sup>/h. Lämmönsiirtimen liitokset ovat kokoa DN32. Magneettiselle mittarille vaaditaan yli 30 cm/s virtausnopeus, jotta mittaukset voidaan suorittaa luotettavasti. Mitoitus tulisi siis tehdä niin, että virtaus on suunnilleen 1–2 m/s. Välimäen (2017) mukaan riittävä virtaus saavutetaan saman kokoluokan mittarilla kuin lämmönsiirtimen liitokset ovat eli koolla DN32. Tällöin putkikokoa tarvitse muuttaa mittarin ja lämmönsiirtimen välillä, jolloin säästytään ylimääräiseltä työltä. (Ekman 2017; Välimäki 2017.)

Mitoituksen lisäksi huomioon on otettava toimintaan liittyviä seikkoja. Mittauksiin vaikuttaa muun muassa jäähdytysnesteen virtauksen tasaisuus, jonka saavuttaminen onkin ollut haasteena Turun järjestelmässä. Ongelma on ratkaistu korvaamalla moottorin termostaatti kiinteästi auki pakotetulla versiolla. Huomioitavaa on, että termostaatin avautuma tulee olla riittävä, että moottorin haluttu käyntilämpötila saavutetaan. Toisaalta moottori ei kuitenkaan saa ylikuumentua. Anturimateriaaliksi tulee valita Hastelloy-elektrodit, sillä VEBIC:issä jäähdytysvetenä käytetään merivettä. Lisäksi antureihin liittyen on huomioitava, että anturi tulee olla täytettynä nesteellä koko ajan mittauksia suoritettaessa. Tämä johtuu siitä, että mittaus ei onnistu, jos anturi haukkaa ilmaa. Tähän pystytään vaikuttamaan mittalaitteen sijoituksella. (Ekman 2017; Välimäki 2017.)

PEM1000- virtausmittarit jaetaan kahteen malliin riippuen, onko lähetin kiinni anturissa vai erillään ja kiinnitettynä esimerkiksi seinään. Jos halutaan seurata mittausarvoja testauksen aikana, on erillinen lähetin hyvävaihtoehto. Tällöin ei tarvitsisi mennä moottoriselliin, vaan lähetin voitaisiin tuoda sellin ulkopuolelle. Lisäksi kiinteässä mallissa voi aiheutua ongelmia tärinästä. Lähettimen vakiokaapelipituus on 8 metriä, mutta pituutta voidaan kasvattaa 15 metriin. Lisähintaa tulee 7 euroa/metri (Välimäki 2017). Haluttaessa mittari voidaan siis asentaa esimerkiksi moottorisellin ulkopuolelle seinään tai valvomoon valvontalaitteiden luokse. Aplisens PEM1000 -virtausmittarin, jossa on erillinen seinään kiinnitettävä lähetin ja huomioitu maksimi kaapelipituus 15 metriä, kokonaishinnaksi tulee 1521 euroa (Välimäki 2017). Aplisens virtausmittari on kalliimpi ver-

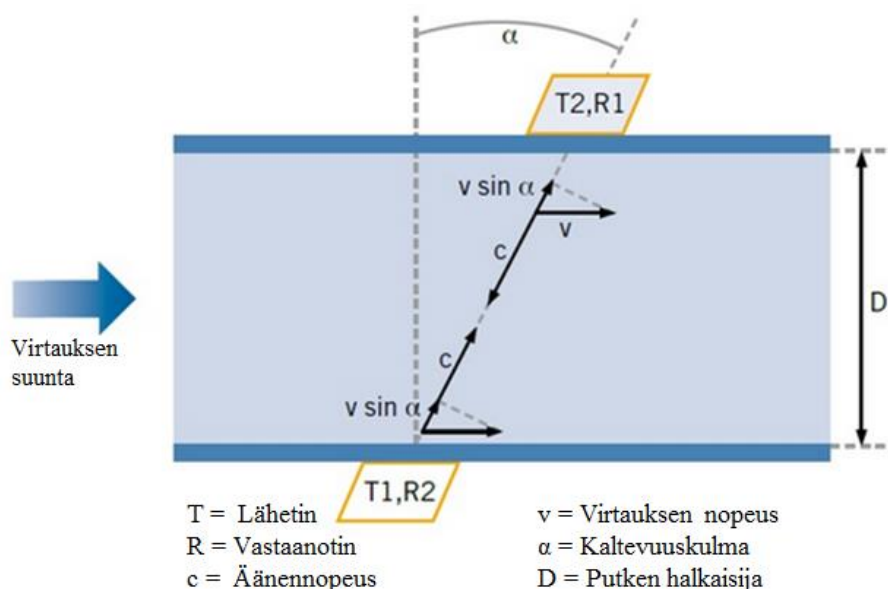
rattaessa TB:llä käytettyyn laitteeseen, jonka hinta on noin 275 euroa. Kustannuksia tulee lisäksi PT100-antureiden hankinnasta. Kuitenkin Turussa PEM1000 -virtausmittari on koettu toimivaksi ja lämpötasemittauksiin soveltuvaksi laitteeksi, jolla pystytään suorittamaan luotettavia ja toistettavia tieteellistasoisia mittauksia.

### 3.7.6 Ilmanmäärämittaus

Ilmanmäärä on TB:n järjestelmässä mitattu ABB:n Sensyflow FMT700-P -massavirtamittarilla (ks. luku 2.7.6). Aikoinaan, kun moottori on asennettu TB:n moottorilaboratorioon, on selvitetty yhteistyössä Turun Ammattikorkeakoulun kanssa, että Sensyflow FMT700-P soveltuisi parhaiten tähän käyttötarkoitukseen (Nilsson 2017a). Sensyflow FMT700-P -mittalaitetta on käytetty muissakin moottorilaboratorioissa, kuten AGCO Powerilla, ja laite on suunniteltu testipenkkiosuhteisiin. Massavirta-anturin hinta on 9820 euroa. Laskentayksikkö on hankittava erikseen, ja sen hinta on 11 600 euroa. Laskentayksikön ja anturin välille on asennettava 15 metrin anturikaapeli, joka on 380 euroa. Näiden lisäksi tarvitaan mittausosa ja siihen liitettävä ilma-suodatin, jotka ovat 2490 ja 930 euroa. Yhteensä paketti maksaa siis 25 220 euroa. (Rönnqvist 2017.) Sensyflow FMT700-P -massavirtamittari on hyvä vaihtoehto VEBIC-laboratorioon. Tässä luvussa on esitetty myös muiden valmistajien vastaavia mittalaitteita ja vertailtu massavirtamittareita keskenään sopivan laitteen löytämiseksi VEBIC:iin.

AVL FLOWSONIX™ Air -mittalaitetta käytetään Sensyflow FMT700-P -mittarin tavoin laboratorio-oloissa ilmanmäärän mittauksessa. FLOWSONIX™ Air pystyy suorittamaan ilmanmäärämittaukset riippumatta virtauksen suunnasta. Mittaus perustuu ultraääneen siirtymäaikaan. Periaatekaavio massavirtamittarin toiminnasta on esitetty kuvassa 20. Kaksi ultraäänipulssia lähetetään erillisistä lähettimistä (T1, T2). Toinen pulssi etenee ilmavirran suuntaan ja toinen sitä vastaan. Äänen nopeus ( $c$ ) ja virtauksen nopeus ( $v$ ) kiihdyttävät toista pulssia ja vastaavasti hidastavat toista. Tästä syntyy eroa pulssien siirtymäaikoihin, joita mitataan vastaanottimilla (R1, R2) (AVL 2017b). FLOWSONIX™ Air -mittalaitteen käytöllä on mitätön vaikutus moottorin toimintaan pienen painehäviön ansiosta. Laitteen suositeltu kalibroitiväli on vuosi. Laitteeseen kuuluu erillinen näytöllinen laskentayksikkö, joka voidaan sijoittaa erilleen mittayksiköstä ku-

ten ABB Sensyflow FMT700-P -laitteella. Lisäksi FLOWSONIX™ Air on mahdollista yhdistää tietokoneeseen tai automaatiojärjestelmään. (LaMadrid 2017).



**Kuva 20.** AVL FLOWSONIX™ Air -massavirtamittarin toimintaa kuvaava periaatekaavio. Muokattu lähdettä AVL (2017b).

LaMadrid (2017) mukaan erästä FLOWSONIX™ Air -mittalaitetta on aiemmin vuokrattu toiseen projektiin, ja jos tämän laitteen mitat soveltuisivat AGCO Power 44 AWI -moottorin tarpeisiin, olisi mittalaite mahdollista hankkia edullisemmalla hinnalla kuin vastaavat uudet laitteet. Tarkemman selvityksen jälkeen kävi kuitenkin ilmi, ettei vapaita käytettyjä laitteita ollut. AVL:n tekemä tarjous uudesta massavirtamittarista on 29 200 euroa. Tämä sisältää mittalaitteen, sisääntuloputken ja ulostuloputken laippoineen mittalaitteelle, putkille tarvittavat kiinnikkeet ja o-renkaat, näytöllisen laskentayksikön, liitäntäkaapelin mittalaitteen ja laskentayksikön välille sekä kokoamissuppilon imuilman keräämistä varten. Lisäksi on eritelty palveluista syntyvät kulut, jotka ovat 5860 euroa. Palvelut sisältävät laitteen käyttöönoton sekä käyttöönottoraportin. Tarjouksen kokonaishinta on siis 35 060 euroa. AVL tarjoaa leasing-mahdollisuutta yhdistettynä yliopistokumppanuusohjelmaan, jolloin käyttöönotosta ja yksikköhinnasta saataisiin 20 %:n alennus. Ennakkomaksu olisi 5000 euroa ja kuukausittainen maksu 72 kuukauden ajan 299 euroa. Jäännösarvo leasing-jakson loputtua olisi 4800 euroa. Leasing-

jakson jälkeen laitteen omistajuus siirtyisi Vaasan yliopistolle. Kokonaishinnaksi tällöin muodostuisi 31 328 euroa. (LaMadrid 2017.)

FEV:n tarjoama AirRate on laboratorioskäyttöön soveltuva ilmassavirtamittari. Mittausperiaate perustuu AVL:n mittalaitteen tavoin ultraäänen kuluaikaviiheen mittaamiseen ja virtaus voidaan mitata suunnasta riippumatta. Mittauksessa on käytetty titaanisia ultraääniantureita ja neljää mittausreittiä tarkkuuden parantamiseksi. FEV AirRate perustuu kosketuksettomaan kaasun nopeuden, paineen ja lämpötilan mittaamiseen, jonka tuloksena ilmaistaan todellinen ilmassavirta. FEV AirRate aiheuttaa vain pientä painehäviötä, joten vaikutusta moottorin toimintaan ei synny. Mittausyksikkö on kooltaan kompakti ja näyttö, josta mitatut arvot voidaan lukea, on kiinni mittalaitteessa. (FEV 2016.) FEV AirRate -ilmavirtamittari on esitetty kuvassa 21.



**Kuva 21.** FEV AirRate -massavirtamittari (Johansson, A. 2017).

FEV:n tarjoama hinta laitteelle on 26 800 euroa. FEV tarjoaa lisäksi asennustarvikepaketteja lisähintaa vastaan. Pakettien hinta riippuu, tarvitaanko asennukseen suorat vai supistusmuhvit, joita käytetään kun laite asennetaan linjaan erikokoisen putken kanssa. Paketti suorilla muhveilla on 280 euroa ja supistusmuhveilla 310 euroa. FEV AirRate -mittalaite voidaan lisäksi toimittaa DakkS-sertifioinnilla, mikä tuo 2477 euroa lisää hintaan. Laitteen ylläpitokustannukset ovat alhaiset, ja laitetta suositellaan huollettavaksi ja uudelleen kalibroitavaksi kahden vuoden välein. Lisäksi FEV tarjoaa laitteen käyttöön-ottoa, huoltoa ja kalibrointia koskevia palveluita. (Johansson, A. 2017.) Taulukossa 5 on esitetty näiden kolmen ilmamäärämittarin tietoja vertailun helpottamiseksi.

**Taulukko 5.** Eri ilmanmäärämittalaitteiden tietoja (ABB 2014; LaMadrid 2017; Johansson, A. 2017).

Malli	ABB Sensyflow	AVL FLOW-SONIX™ Air	FEV AirRate
Mittausperiaate	Kuumakalvo-anemometri	Ultraäänen siirtymäaika	Ultraäänen kulkuviive
Mittausalue	40–1200 kg/h	20–1400 kg/h	10–1000 kg/h
Mittausalue täydellä mittaustarkkuudella	1:40	1:70	1:140
Vasteaika	< 12 ms (T63)	< 10 ms (T90)	~26 ms
Mittausvirhe	< ±1 %	< ±1 %	< ±1 %
Nimellishalkaisija	DN100	DN100	DN100
Arvojen lukeminen	Erillinen näytöllinen laskentayksikkö	Erillinen näytöllinen laskentayksikkö	Mittalaitteessa
Mittalaitteen hinta	25 220 euroa	29 200 euroa	26 800 euroa

Taulukosta 5 nähdään, että FEV AirRate -mittalaitteella on pienin mittausalue. Tämä alue on kuitenkin riittävä AGCO Power 44 AWI -moottorille. FEV AirRate -mittalaitteella on kuitenkin pisin vasteaika. Verrattaessa mittareita keskenään ABB:n ja AVL:n ilmanmäärämittareiden etuna on, että niillä on erilliset näytölliset laskentayksiköt, jotka voidaan asentaa moottorisellin ulkopuolelle. Tällöin voidaan välttää käyntiä moottorisellissä mittausten ja testiajojen aikana. AVL FLOWSONIX™ Air -ilmanmäärämittarin mittausalue on suurin. Kokonaishintoja on vaikea vertailla, koska AVL oli ainoa, joka oli huomionut tarjouksessaan palveluista, kuten käyttöönotosta, koostuvat kustannukset. Taulukossa 5 onkin otettu huomioon vain laitteista syntyvät kustannukset. Niiden perusteella ABB Sensyflow olisi edullisin ja AVL FLOWSONIX™ Air kallein, vaikka merkittäviä hinta-eroja ei laitteiden välille synnykään. ABB:n mittarin käytöstä ja asennuksesta on kokemusta TB:n moottorilaboratoriosta, mikä voidaan nähdä tämän laitteen etuna.

### 3.7.7 Pakokaasun mittaukset

TB:llä ja AGCO Powerilla pakokaasun nokipitoisuuden mittauksissa käytettyä AVL Smoke Meter -mittalaitetta ei enää valmisteta. ALV:n tuotevalikoimasta löytyy kuitenkin vastaava uudempi AVL Micro Soot Sensor -mittalaite. Tämä laitteen hankintahinta on kuitenkin arviolta jopa 60 000 euroa. AVL Smoke Meter -savutusmittarin kohdalla on pyritty selvittämään, löytyykö yrityksiltä varastosta käytöstä poistuneita laitteita. Muun muassa Wärtsilältä on tiedusteltu, mutta heillä ei ollut ylimääräisiä mittalaitteita lahjoitettavaksi (Niemi 2017).

TB:llä alin arvo, joka savutusmittarilla on pystytty mittauksissa havaitsemaan, on ollut noin 0,1 ppm. Mittauksissa mitattavat arvot ovat kuitenkin olleet alle tuon arvon (Niemi 2017). AVL Smoke Meter -savutusmittarin merkittävyys mittauksissa onkin vähentynyt. Laitetta voidaan käyttää nykyään lähinnä selvittämään, jos jokin on pielessä ja nokipäästöt ovat suuria. Laitteen tarkkuus ei kuitenkaan riitä havaitsemaan pieniä nokipäästöjä (Nyman 2017b). Niinpä Smoke Meter -savutusmittaria tai vastaavaa AVL Micro Soot Sensor -mittalaitetta ei ole järkevää hankkia uuteen moottorilaboratorioon, jos niitä ei saada lahjoituksena. VEBIC:issä kuitenkin käytetään muun muassa EEPS 3090 -hiukkasspektrometriä hiukkasluvun ja -massan mittaamiseen. Lisäksi uusia hiukkasmittalaitteita hankitaan VEBIC:in laboratorioihin. Näillä laitteilla on mahdollista ainakin osittain korvata savutusmittarin toimintaa (Niemi 2017).

Muita TB:llä käytettyjä pakokaasun mittalaitteita käytetään VEBIC:issä. Laitteita käytetään sekä keskinopeiden että nopeiden moottoreiden mittauksissa, eli mittalaitteita siirrellään VEBIC:in moottorilaboratorioiden välillä riippuen testattavasta moottorista.

### 3.8 Tiedonkeruujärjestelmä

TB:n tiedonkeruujärjestelmä ja käytetyt ohjelmistot on koettu toimiviksi, joten tiedonkeruu VEBIC:issä voidaan toteuttaa TB:n järjestelmän tavoin. Uuden tiedonkeruujärjestelmän suunnittelu ei ole mielekästä, koska TB:n järjestelmää ei ole koettu puutteelli-

seksi. Lisäksi uuden järjestelmän suunnittelu ja toteutus olisi haastavaa ja veisi paljon aikaa.

### 3.8.1 Service Tool

Tiedonkeruujärjestelmän yhtenä osana on AGCO Powerin Service Tool -ohjelmisto, jolla on kerätty tieto moottorin ohjausyksiköltä. Ohjelmisto on sidottu moottoriin ja tietokoneeseen, jolla sitä on käytetty. Koska VEBIC:iin tarvitaan uusi tietokone, tulee AGCO Powerilta hankkia uusi lisenssi. Lisenssi on voimassa vuoden kerrallaan. (Nils-son 2017d.) Service Tool -ohjelmisto kommunikoi CAN-väylää pitkin ECU:n kanssa. CAN-väylä on yhdistetty suoraan AGCO:n 16-pinniseen liittimeen. Tämä liitin on tehty mittatilauksena juuri TB:n moottorijärjestelmälle. VEBIC:iin siis tarvitaan uusi liitin ECU:n ja sähköliitäntäkaapin välille, mikä on mitoitettu tähän moottorilaboratorioon. Uusi liitin voidaan mahdollisesti saada AGCO Powerilta yhteistyön kautta (Nyman 2017b). Lisäksi tulee hankkia CAN-väyläkaapeli. TB:llä CAN-väylä on yhdistetty tietokoneeseen erillisellä liitinkappaleella, joka on saatu AGCO Powerilta. Uuteen laboratorioon tulee hankkia tällainen adapteri. Kustannukset koostuvat siis uudesta CAN-väyläkaapelista ja tietokoneesta. Mahdollisesti kustannuksia tulee AGCO Powerilta hankittavista tuotteista riippuen siitä, mitä voidaan kattaa yhteistyöllä.

### 3.8.2 LabVIEW

Käyttämällä LabVIEW-ohjelmistoa yhdessä National Instrumentsin tiedonkeruulaitteiden kanssa voidaan taata laitteiden yhteensopivuus ja tiedonkeruun sujuvuus kuten TB:llä. Kuvassa 22 on esitetty tiedonkeruulaitteisto, joka on koottu National Instrumentsin verkkokaupassa. Laitteiston rakenne on koottu TB:n laitteistoa mukailemalla.

CompactDAQ-alustassa on paikat kahdeksalle moduulille. VEBIC:iissä käytetään ainakin viittä erilaista moduulia kuten TB:n järjestelmässä. Kuvassa 22 vasemmalta ensimmäinen on NI-9213, jota käytetään lämpötilan sisääntulomodulina. Tämä moduuli sisältää siis yhteensä 16 analogista sisääntulokanavaa. TB:llä on ollut käytössä sisääntuloista 12, mutta esimerkiksi katalysaattoreita käytettäessä voidaan niitä tarvita enemmän

(Nilsson 2017a). Seuraavana on kaksi NI-2919 moduulia, joita on käytetty jännitteen ja virran mittauksissa. Sisääntuloväyliä on neljä. Seuraava moduuli on NI-9205, jolla mitataan jännitteen sisääntulosignaalit. Moduulista löytyy eri versioita riippuen kytkennän tyypistä ja suojapinnoitteesta. NI-9205-moduulissa on enemmän sisääntuloväylällä kuin NI-2919-moduulissa. Aiemmin oli ajateltu, että moduuli useammalla sisäänmenoväylällä olisi parempi ja käytännöllisempi ratkaisu kuin moduuli, jossa sisäänmenoja on vähemmän. On kuitenkin huomattu, että sisäänmenoväylien kasvu heikensi mittaustulosten tarkkuutta (Nilsson 2017a). Lopullista tiedonkeruujärjestelmää rakennettaessa olisi hyvä vielä punnita, olisiko järjestelmässä järkevää käyttää jännitteen ja virran sisääntu-  
lomoduulia, jossa on vain neljä sisääntuloväylää. Viides moduuli on NI-9411, jolla on kerätty tieto RENISHAW:n magneettiselta pyörimisnopeusanturilta. Tästäkin moduulista löytyy eri mallit riippuen, onko moduulissa suojapinnoitetta. CompactDAQ-alusta moduuleineen voidaan yhdistää tietokoneeseen USB-kaapelilla. (National Instruments 2017.)



**Kuva 22.** Tiedonkeruulaitteiston rakenne (National Instruments 2017).

Vaasan yliopistolla on 20 luokkalisenssiä, mutta kaikki lisenssit tarvitaan opetuskäyttöön. Lisäksi opetuskäyttöön tarkoitettuja lisenssejä ei ole sopivaa hyödyntää tutkimuksessa. LabVIEW-ohjelmiston lisenssi on hankittava VEBIC:in moottorilaboratorioon. LabVIEW-ohjelmistosta on kolme erilaista versiota. Käyttötarkoituksesta riippuen voidaan valita ohjelmiston perusversio, täysversio tai ammattiversio (National Instruments 2017). Ohjelmiston täysversio sopisi käytettäväksi laboratorioon 3.2. Tiedonkeruujärjestelmän oston yhteydessä on mahdollista hankkia huoltopalveluja. Vakiohuoltopalvelut tarjoavat muun muassa järjestelmän kokoonpanon, ohjelmiston asennuksen ja testa-

uksen ennen lähetystä sekä valmisohjelmistojen päivitykset ja tehdaskalibroinnin (National Instruments 2017).

LabVIEW-ohjelmistolle tulee tiedot ECU:lta CAN-väylää pitkin kuten AGCO:n ohjelmistolle. CAN-väylän ja tietokoneen välille tulee hankkia liitäntälaite. Tähän tarkoitukseen löytyy National Instrumentsilta Fieldbus Interface Device. Laite mahdollistaa PC:n toiminnan tiedonkeruulaitteiston kanssa ja soveltuu käytettäväksi LabVIEW-ohjelmiston kanssa. (National Instruments 2017.) Kaikkien laitteiden hinnat on esitetty taulukossa 6.

**Taulukko 6.** National Instruments tuotteiden hinnat (National Instruments 2017).

Tuote	Hinta (euroa)
cDAQ-9178 (CompactDAQ-alusta)	1440
NI-9213 (lämpötilamoduuli)	1280
NI-2919 (moduuli analogisignaaleille, 2kpl)	2420
NI-9205 (jännitemoduuli)	850
NI-9411 (moduuli digitaalisignaaleille)	255
Moduulien lisälaitteet	325
LabVIEW Full Development System (ohjelmiston täysversio)	3500
Fieldbus Interface Device (liitäntälaite)	2020
Standard Service Program (huoltopalvelut)	500

Tiedonkeruulaitteiston kokonaishinnaksi muodostuu 12 090 euroa ilman huoltopalveluita ja niiden kanssa 12 590 euroa. Lisää hintaa tiedonkeruujärjestelmään tuovat tietokoneen ja mitta-antureiden hankinnat. Tiedonkeruujärjestelmän lämpötila-antureita hankittaessa on hyvä ottaa huomioon, että mittauksissa voidaan käyttää K-tyypin ja PT100-antureita, riippuen lämpötiloista. K-tyypin anturit soveltuvat korkeisiin lämpötiloihin, ja niitä voidaan käyttää esimerkiksi pakokaasun lämpötilamittauksissa. PT100-anturit so-

veltuvat matalammille lämpötiloille ja antavat niissä tarkempia tuloksia. On hyvä huomioida, että koko matkaa valvomoon asti ei välttämättä tarvitse käyttää anturikaapelia, vaan anturikaapelia voidaan jatkaa edullisemmalla kaapelilla. TB:llä on lisäksi huomattava, että sopiva anturin paksuus on 3 mm, sillä ohuimmat anturit eivät ole olleet tarpeeksi kestäviä ja paksummat ovat olleet liian hitaita. (Nilsson 2017d.) Lisäksi, jos tulevaisuudessa halutaan liittää lisää antureita tiedonkeruu järjestelmään, täytyy silloin mahdollisesti hankkia ja liittää uusia moduuleja CompactDAQ-alustaan.

### 3.8.3 Tiedonkeruu mittalaitteilta

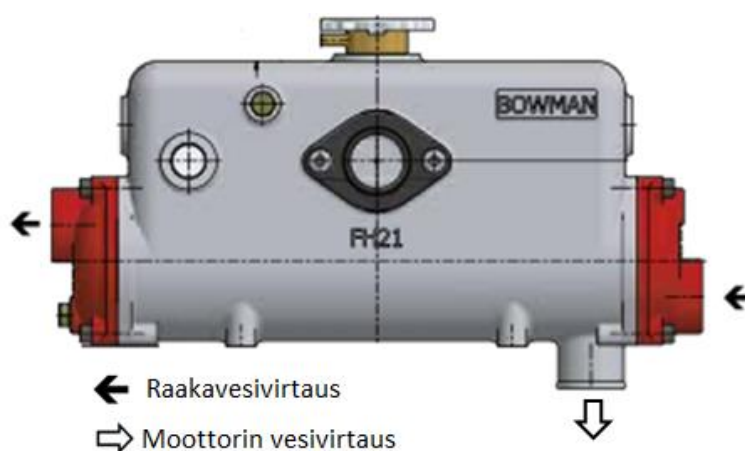
Jos tiedonkeruu toteutetaan kuten TB:n laboratoriossa, mittalaitteita ei yhdistetä tiedonkeruujärjestelmään. Tieto mittalaitteilta kerätään mittalaittekohtaisesti joko omalle tietokoneelle datakaapelin avulla tai omalle näytölliselle yksikölle valvomoon. Mittalaitteen arvot voidaan lukea myös mittalaitteen näytöltä.

Kistler KiBox -mittalaitteella on oma kehittynyt järjestelmänsä, joka asennetaan tietokoneelle. Mittaustuloksia voidaan seurata tietokoneen näytöltä ja kerätä tietoa reaaliajassa. Tietokoneen ja laitteen välille tarvitaan vain datakaapelia tiedonkeruuta varten. Lisäksi polttoaineen kulutusta voidaan seurata erilliseltä tietokoneelta, kun AVL Fuel Balance -mittalaitteen tiedot tuodaan datakaapelia pitkin valvomoon. Ilmamassamittarin arvot voidaan lukea erillisen laskentayksikön näytöltä. PEM 1000 -lämpötasemittarin arvot nähdään erillisestä näytöllisestä lähettimestä. Moottorin jäädytysveden virtaus täytyy lukea suoraan mittalaitteen asteikolta. TB:n mittalaitteista katsotaan laitteiden näytöistä tarvittavat arvot kuten TB:llä. EEPS 3090 -hiukkasspektrometriltä voidaan kerätä valmis tieto erilliselle tietokoneelle signaalikaapelia pitkin. Myös Gasmet<sup>TM</sup> DX4000 -kaasuanalysaattorin mittaustiedot kerätään signaalikaapelin avulla omalle tietokoneelle (Haapala 2017). Mittalaitteiden tiedonkeruuta varten tulee hankkia yhteensä 3–4 uutta tietokonetta. Eri mittalaitteiden ohjelmia voi olla mahdollista ajaa samanaikaisesti yhteisellä tietokoneella. Kuitenkin, jos halutaan tarkastella arvoja yhtaikaisesti, olisi mittalaitteella hyvä olla omat tietokoneensa. Tiedonkeruujärjestelmää voidaan myöhemmässä vaiheessa kehittää lisää ja liittää mittalaitteita tiedonkeruujärjestelmään mahdollisuuksien mukaan.

### 3.9 Laitteiden sijoitus moottorilaboratoriossa 3

#### 3.9.1 Lämmönsiirrin, välijäähdytin ja polttoainejäähdytin

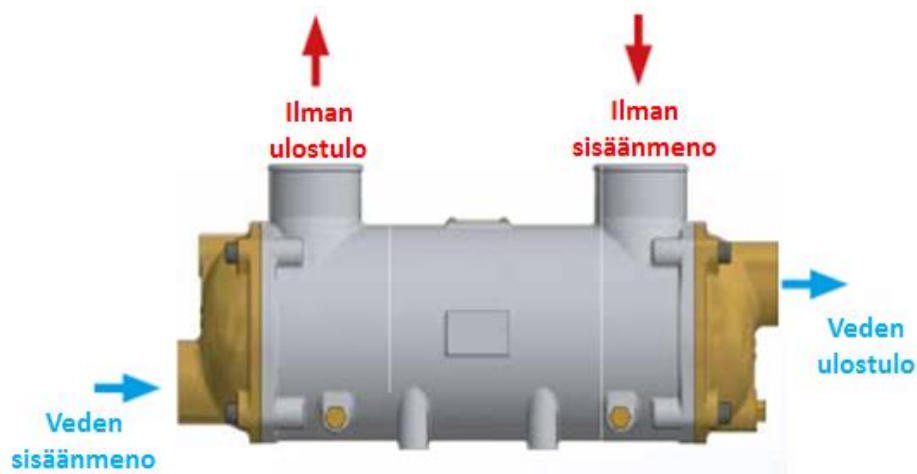
Lämmönsiirrin, välijäähdytin ja polttoainejäähdytin liitetään osaksi laboratorio 3:n jäähdytysvesikiertoa. Asennuksessa tulee huomioida jäähdytyslaitteiden tarpeet. Jäähdytyslaitteiden ja moottorin välisten putkien pituus ja tilavuus tulee pitää minimissä, jotta lämpöhitaus ei kasva (Martyr & Plint 2012: 164). Kuvassa 23 on esitetty lämmönsiirtimen suositeltu asennusasento. Lämmönsiirrin tulisi asentaa moottorin sylinterin kannen tason yläpuolelle, ja moottorin vedenkierto tulisi järjestää niin, että lämmönsiirrin on itsetuulettuva alkutäytössä. Lämmönsiirtimen kanssa käytettävät muut jäähdytyslaitteet tulee sijoittaa niin, että ne saavat täyden virtauksen moottorin vesipumpulta. Lisäksi ennen jäähdytysvesipiirin sisäänmenoa on suositeltu käytettäväksi suodatinta maksimissaan 2.5 millin läpäisevyydellä. (Bowman 2016.)



**Kuva 23.** Lämmönsiirtimen suositeltu asennusasento ja vesivirtaukset. Muokattu lähettä Bowman (2016).

Välijäähdyttimen suositeltu asennusasento on esitetty kuvassa 24. Välijäähdytin tulee asentaa niin, että jäähdytysveden ulostulo on ylempänä kuin sisäänmeno. Riittävä jäähdytysveden saatavuus on varmistettava. Lisäksi, kun välijäähdytintä käytetään yhdessä lämmönsiirtimen kanssa, tulee huomioida, että välijäähdytin on sijoitettu kiertosysteemiin niin, että sille saadaan täysvirtaus moottorin vesipumpulta. Välijäähdytin tulee

asentaa vastavirtakytkentänä eli jäähdytin virtaa vastavirtaan jäähdytettävään ilmaan nähden. Näin saavutetaan maksimi lämmönsiirtotehokkuus (Bowman 2017).



**Kuva 24.** Välijäähdyttimen suositeltu asennusasento sekä ilma- ja vesivirtaukset. Muokattu lähdettä Bowman (2017).

Bowman (2012) mukaan putkimallinen polttoainejäähdytin on asennettava polttoainetankin matalapaineiseen polttoaineen paluulinjaan. Näin saadaan ehkäistyä lämmön kertyminen. Jäähdytyslaitteet on mahdollista asentaa seinälle erillisille kiskoille, jolloin vesiputkien asennus suoraan olisi helppoa (Nyman 2017b). VEBIC:in moottorilaboratoriossa 3.2 ei ylimääräistä tilaa kuitenkaan moottorin ympärillä tai seinillä juurikaan ole. Jäähdytyslaitteet voidaan kiinnittää jarrupenkin rakenteisiin.

### 3.9.2 Magneettinen suodatin

Moottorilaboratoriossa 3.2 magneettinen suodatin tulee sijoittaa jäähdytysvesisyötön ja Froude EC 50 TA -jarrun välille. Suodattimen sijoituksessa on hyvä ottaa huomioon, että suodatin täytyy puhdistaa tasaisin välein kerääntyneestä metallisakasta. Puhdistukseen on hyvä varata riittävästi tilaa, jolloin suodatin olisi hyvä sijoittaa melko etäälle jarrusta. Suodatin tulee lisäksi asentaa pystysuoraan niin, että sisäänmeno on alhaalla ja ulostulo ylhäällä. Moottorisellin päätyseinään suodatinta ei voida sijoittaa ilmanvaihtoritilän vuoksi. Suodatinta ei voida myöskään asentaa suoraan jäähdytysvesilinjan alapuolelle, koska siinä sijaitsee patteri. Sopiva paikka suodattimelle olisi moottorisellin jarrun

puoleisessa päädyssä seinän vieressä lähellä jäähdytysveden syöttöputkia, jotka on esitetty kuvassa 13.

### 3.9.3 Sähköliitântäkaappi

TB:llä sähköliitântäkaappi on ollut kiinnitettynä jarrupenkin rakenteisiin. Kuitenkin, jos kaapin kokoa kasvatetaan jopa kymmenen kertaa nykyistä isommaksi, ei kiinnitys jarrupenkkiin ole enää käytännöllistä. Sen sijaan sähköliitântäkaappi voitaisiin kiinnittää moottorisellin seinään, mikä helpottaisi huoltotoimenpiteitä entisestään. Sopiva paikka voisi olla sisäänkäynniltä katsottaessa oikean puoleisella seinällä.

### 3.9.4 Ohjausjärjestelmä ja tiedonkeruulaitteisto

Ohjausjärjestelmän ohjauspaneeli sijoitetaan valvomoon muun valvontalaitteiston kanssa. Erillinen taso tai kärry voitaisiin rakentaa valvontalaitteille, joka sijoitettaisiin valvomopöydällä olevien tietokoneiden ja näyttöjen viereen. Jos päädytään toteuttamaan jarrun ohjaus Frouden ohjauskaapilla, sijoitus valvomopöydän viereen ei välttämättä ole käytännöllinen ratkaisu kaapin koon vuoksi. Olisi hyvä järjestää kaapille paikka jostain seinän vierestä läheltä moottoriselliä. Sopivan paikan löytäminen on kuitenkin hankalaa, kun otetaan huomioon, että vapaata seinätilaa ei juuri ole. Pakokaasun mittauksissa käytettävät mittalaitteet vaativat oman tilansa, mikä rajaa mahdollisia sijoitusmahdollisuuksia entisestään.

Tiedonkeruulaitteisto olisi hyvä sijoittaa lähelle tietokoneita, jonne tiedonkeruuhjelmistot ovat asennettuina. Matka tiedonkeruulaitteiden ja antureiden välillä on pidempi kuin TB:n laboratoriossa. Tämä on huomioitava anturikaapeleiden ja mahdollisten jatkokaafeleiden hankinnassa.

### 3.9.5 Kistler KiBox

Koska moottorisellissä käytettävä tila on rajallinen ja ympäristön lämpötilan yläraja on Kistler KiBox -mittalaitteelle 50 °C, mittalaite olisi hyvä sijoittaa moottorisellin ulkopuolelle. Mittalaitteelle voitaisiin rakentaa vastaavanlainen hylly kuin TB:llä. Hylly ja

laite voitaisiin sijoittaa esimerkiksi kuvassa 14 näkyvälle päätyseinälle kaapelihyllyn alapuolelle. Toinen mahdollinen sijoitusvaihtoehto on valvontalaitteiden kanssa samaan paikkaan valvomopöydän läheisyyteen. Tässä rajoitukseksi saattaa muodostua Kistler KiBox -laitteen ja varausvahvistimen välisen kaapelin sekä anturikaapeleiden pituudet, jolloin sijoitus lähelle moottoriselliä olisi järkevämpää. On suositeltu, että Kistler Ki-Box -laitteen yhteydessä käytetty vahvistin tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle moottoria (Nilsson 2017a). Kun tämä otetaan huomioon, paras paikka vahvistimelle olisi moottorisellissä esimerkiksi moottorin vieressä lattialla.

### 3.9.6 AVL Fuel Balance

Vaa'an mittausjakso riippuu ajasta, mikä aiheuttaa jonkin verran heilahtelua. Pitkä välimatka kulutusmittarin ja moottorin välillä lisää heilahtelua, koska kaapelilinjojen pituus kasvaa. Siksi polttoaineen kulutusmittari olisi hyvä sijoittaa lähelle moottoria. (Nyman 2017b.) AVL Fuel Balance -mittalaite sijoitetaan moottorilaboratorioon 3.2 AGCO Power 44 AWI -moottorin kanssa. Mittalaite kiinnitetään seinään, polttoainesyöttöputkien alapuolelle (ks. kuva 13), ja polttoaine virtaa laitteen kautta moottorille. (Suomela 2017.)

### 3.9.7 Virtausmittarit

Kytola Instrumentsin virtausmittari voidaan kiinnittää johonkin kohtaan jarrupenkkiä riippuen penkin rakenteesta. Virtausmittari on syytä sijoittaa niin, että tilavuusvirran arvo kyetään lukemaan helposti.

PEM1000 -virtausmittaria sijoitettaessa tulisi huomioida, että ennen mittalaitetta tulee olla noin kymmenen kertaa putkensisähalkaisijan pituinen suorapätkä ja mittarin jälkeen pituudeksi riittää kolme kertaa putken sisähalkaisija. Lisäksi mittalaitteen sijoituksessa on huomioitava, että anturi ei saa haukata ilmaa, jotta mittaus onnistuisi. Virtausmittari tulee asentaa putkistoon siten, että virtaus jatkaa ylöspäin anturin jälkeen. Tällöin asennusmahdollisuudet ovat pystysuoraan putkeen, jossa virtaus kulkee alhaalta ylöspäin, viistoputkeen, jossa virtaus on ylöspäin, tai vaakasuoraan putkeen, jossa on anturin jäl-

keen mutka ylöspäin, ja putki on aina täynnä nestettä. Antureiden sijoitusta lähelle mutkaa ja toisiaan tulee välttää, sillä niiden tarkkuus saattaa silloin kärsiä. Lisäksi asennuksen kannalta tärkeää on maadoitus. Anturit tulee maadoittaa metallisiin vastalaippoihin, ja jos putkisto on muovia, tulee käyttää maadoituksessa metallisia maadoitusrenkaita. (Välimäki 2017.) Sijoituksessa on hyvä ottaa huomioon, että laitetta voidaan joutua puhdistamaan. Ekman (2017) mukaan Turussa mittalaitteistoa on jouduttu puhdistamaan aika ajoin, sillä jäähdytysjärjestelmään kertyy metallipitoista sakkaa, joka saattaa vaikuttaa magneettisen mittarin toimintaan. Tämä ilmiö saattaa koskea vain Turun järjestelmää, mutta mittalaitteen sijoitusta on kuitenkin hyvä miettiä tältäkin kantilta. Tällöin mittalaitteiston asentaminen putkiston alimpaan kohtaan ja vaakatasoon ei ole paras ratkaisu (Ekman 2017). Vaikka VEBIC:issä ei olisi samantapaista ongelmaa, on mittalaitteet hyvä puhdistaa toisinaan ja sijoittaa niin, että puhdistus on helppo toteuttaa. Virtausmittari voidaan mahdollisesti kiinnittää jarrupenkkiin lämmönsiirtimen lähelle. Mittarin kanssa käytettävä lähetin puolestaan voidaan sijoittaa moottorisellin ulkopuolelle, jolloin mitta-arvon tarkastelu ei vaadi käyntiä moottorisellissä. Mahdollisia sijoituspaikkoja ovat valvomon puolella moottorisellin seinällä tai valvomopöydän viereen mahdollisesti rakennettavalla tasolla.

Riippumatta siitä, mikä ilmamassamittari päätetään hankkia VEBIC:in moottorilaboratorioon 3.2, mittaussyksikkö asennetaan imuilmakanavaan. Oikean pituisilla sisäänmeno- ja ulostuloputkilla voidaan varmistaa mittausten tarkkuus ja toistettavuus. ABB Sensyflow FMT700-P -mittalaitteessa anturi on kalibroitu vaakasuorassa asennusasennossa, ja signaali on vain vähän riippuvainen asennustavasta (ABB 2014). Kuvassa 25 on esitetty FMT700-P -laitteen suositeltu asennustapa. Ennen mittalaitetta tulee olla kymmenen kertaa putken sisähalkaisijan ( $D$ ) pituinen osio ja sen jälkeen viisi kertaa putken halkaisijan pituinen putki. Vastaavasti AVL FLOWSONIX<sup>TM</sup> Air -mittalaitteelle on suositeltu ylä- ja alavirtaan asennettavaksi tietyn mittaiset putket. Alavirtaan tulee asentaa viisi kertaa putken sisähalkaisijan pituinen putki, ja ylävirtaan riittää alle viisi kertaa putkensisähalkaisijan pituinen pala (AVL 2017b). FEV AirRate -mittalaitteelle vaatii viisi kertaa sisähalkaisijan mittaiset vakautuspalat sekä sisäänmeno- että ulostulopuolella. AirRate voidaan asentaa putkitaitoksen jälkeen ilman että vakautuspalojen pituutta täy-

tyisi kasvattaa (FEV 2016). Sensyflow FMT700-P tai FLOWSONIX™ Air -mittalaitteiden tapauksessa näytöllinen laskentayksikkö voidaan sijoittaa valvomoon.



**Kuva 25.** Sensyflow FMT700-P -ilmamassamittarin asennus. Muokattu lähdeä ABB (2014).

### 3.9.8 Pakokaasun mittalaitteet

Pakokaasun mittaukseen käytettyjä laitteita siirretään VEBIC:issä laboratorioden välillä käyttötarpeen mukaan. TB:llä mittalaittekaappia on pidetty moottorisellissä, mutta VEBIC:issä mittalaittekaappi ei mahdu moottorilaboratorioon 3.2. Mittalaittekaappi ja Gasmet™ DX4000 -kaasuanalysaattori, jolle on asetettu ympäristön maksimilämpötilaksi 40 °C (Gasmet 2017), olisi järkevintä sijoittaa valvomotilan alakertaan. Tietojen lukeminen mittalaittekaapilta on tällöin kätevää, eikä moottorisellissä tarvitse käydä mittausaikaan. Tieto saadaan Gasmet™ DX4000 -analysaattorilta kätevästi kaapeliyhdyllä pitkin valvontalaitteille. Alakerrassa mittalaitteet ovat helposti saatavilla lähellä valvontalaitteita, ja samalla voidaan vähentää kulkemista laboratorion yläkerrassa. Pakokaasun näytelinjat voidaan tuoda mittalaitteille kaapeliyhdyllä pitkin tai laboratorion yläosasta seinää pitkin alakertaan. Mittalaittekaapin näytelinjan alku- ja loppuosaa voidaan kasvattaa tarpeen mukaan. Gasmet™ DX4000 -laitteen näytelinjan pituus on riittävä. (Haapala 2017.)

EEPS 3090 -hiukkasspektrometrin laimennuspää tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle mittauspistettä ja pakoputkea. Pakoputket ja mittausyhteet sijaitsevat moottorisellien välikaton päällä yläkerrassa. Laimennuspään ja ohjausyksikön välisen näytelinjan pituus on 3 metriä. EEPS 3090 tulisi sijoittaa yläatasanteelle sellaiseen kohtaan, missä on riittä-

västi tilaa, sillä pakoputkista vapautuu jonkin verran lämpöä. Asennus ei vaadi läpivientejä, koska hiukkasspektrometri ja mittausyhteet ovat samassa tilassa. Tieto hiukkasspektrometriltä saadaan datakaapelia pitkin alas valvomoon. Kulku mittalaitteelle on helppoa kävelytasoa käyttämällä. EEPS 3090 -hiukkasspektrometrille olisi hyvä rakentaa oma liikuteltava kärry, jossa laitetta voitaisiin säilyttää ja kuljettaa laboratorioiden välillä. (Haapala 2017.)

### 3.9.9 Kaapelireitit

VEBIC:in moottorilaboratorio 3.2 tulee sisältämään paljon erilaisia sähköjohtoja, joiden toiminta ja roolit eroavat toisistaan. Siksi on tärkeää, huolehtia johtojen kunnollisesta erottelusta ja oikeasta sijoituksesta, jotta voidaan estää eri johtimia häiritsemästä toisensa toimintaa. Erilaiset johdotukset koostuvat voima-, ohjaus- (esim. CAN-väylät), signaali- sekä mittauskaapeleista, jotka on yhdistetty antureihin ja mittalaitteisiin. Yleinen virhe kaapeleiden käsittelyssä on liian pitkien johtojen kelaaminen rullalle, mikä aiheuttaa induktiivista häiriötä sekä ohjaus- että anturikaapeleissa. Mitä useammalle kierrokselle kaapelia kierretään, sitä suurempi on haittavaikutus. Induktiivisten häiriöiden lisäksi voi ilmetä kapasitiivista ja elektromagneetista häiriötä sekä johtavia kytkentähäiriöitä. Näiltä häiriöiltä voidaan välttyä käyttämällä esimerkiksi kaapelihyllyosia reitityksessä, huolehtimalla kaapeleiden riittävästä koosta ja samalla asianmukaisesta pituudesta, pitämällä eri kaapelit riittävän etäisyyden päässä toisistaan sekä käyttämällä suojattua signaalikaapelia. (Martyr & Plint 2012: 96–100.)

Kaapelilinjoja vedettäessä tulisi siis huomioida, että yksi kaapelihylly, jossa kaikki erilaiset sähköjohdot ovat sekaisin, ei ole paras ratkaisu. Mittalaittevalmistajat ovat usein tarkkoja laitteiden kaapelireititysten suhteen. AGCO Powerin laboratoriossa olikin panostettu kaapelireititykseen, joka oli toteutettu todella huolellisesti. Laboratoriossa oli tuplakaapelitikkaat, jotka menivät päällekkäin, ja osassa tikkaita oli asennettu lisäksi suojakotelot johdotusten päälle (Nyman 2017b). Kuitenkin osassa kaapelitikkaista meni vain yksittäisiä johtoja. VEBIC-laboratoriossa on punnittava, onko järkevää viedä kahta kaapelihyllyä samasta paikasta, jos molemmat ovat lähes tyhjiään. Samaan aikaan on vältettävä liian monen erilaisen kaapelin viemistä samaa hyllyä pitkin. Olisikin hyvä

löytää näiden kahden vaihtoehdon välimuoto. Ainakin isot sähkökaapelit olisi hyvä pitää erillään signaalikaapeleista häiriöiden välttämiseksi. Liitteen 1 kuvissa 26 ja 27 on esitetty esimerkit kaapelien asettelusuosituksista avoimilla kaapelihyllyillä. Samanlainen asettelu onnistuu käyttämällä telinettä tai tikapuita. Riippumatta siitä, mikä metallinen tukialusta on käytössä, täytyy huolehtia, että tukialusta on liitetty osaksi maadoitusjärjestelmää. Palojen välillä ei tule turvautua metalli-metalliliitoksiin. (Martyr & Plint 2012: 98–100.)

## 4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suunnitelman tavoitteena oli kartoittaa tarvittavat laitteet AGCO Power 44 AWI -moottorin uudelleen sijoitusta varten. Eri valmistajien ratkaisuja vertailemalla pyrittiin selvittämään saatavilla olevia vaihtoehtoja, ja mikä on sopivin VEBIC-laboratorioon. Sopivien ratkaisujen löytämiseksi vierailtiin TB:n laboratorion lisäksi AGCO Power -moottoritehtaalla, jossa tutustuttiin käytössä oleviin ratkaisuihin. Lisäksi Turun ammattikorkeakoulun moottorilaboratorion ratkaisuja käytettiin vertailupohjana. Suunnitelmassa arvioitiin laitteiden hankinnasta syntyviä kustannuksia. Laitteiden kokonaiskustannuksiin saattaa kuitenkin tulla muutoksia riippuen tarvittavista antureista, johdotuksista ja putkista.

Toimenpiteitä on tehtävä, jotta voidaan varmistaa käytettävän Froude EC 50 TA -pyörrevirtajarrun toiminta pitkän varastoinnin jälkeen. Paras keino jarrun toiminnan varmistamiseksi olisi käyttää toista jarrua varaosina, jolloin toinen jarru voidaan kunnostaa toimivaan kuntoon. Jarrun kunnollisen toiminnan takaamiseksi ja epäpuhtauksien poistamiseksi on suositeltu magneettisen metallihiukkassuodattimen käyttöä. Koska VEBIC-laboratoriossa on suljettu jäähdytysvesikierto, voidaan käyttää pienempää suodattinta kuin TB:llä. Jarrupenkki suunnitellaan ja rakennetaan Novia Yrkehögskolanin kurssilla tai opiskelijan tekemänä opinnäytetyönä. Jarru ja moottori liitetään toisiinsa teleskooppiakselilla tärinän ja värähtelyn ehkäisemiseksi. Akselin mitoitus tehdään vasta jarrupenkin valmistumisen myötä. Vaimennuksen tehostamiseksi on hyvä käyttää kumikytkintä moottoripään liitoksessa. TB:n kytkinmalli soveltuu tähänkin. Akselin ja kytkimen arvioidut toimitusajat ovat 5–7 viikkoa, mikä kannattaa ottaa huomioon laitteita hankittaessa.

VEBIC-moottorilaboratorioon hankittava välijäähdytin ylimitoitetaan riittävän tehokkaan jäähdytyksen varmistamiseksi. Lämmönsiirtimeksi valitaan aiempaa tehokkaampi vaihtoehto, joka on merikäyttöön soveltuva malli. Polttoainejäähdytintä sen sijaan ei ole suositeltu ylimitoitettavaksi. Siitä syytä päädyttiin malliin, joka on pienin, millä tarvittava jäähdytys voidaan toteuttaa. Jäähdytysveden tilavuusvirta mitataan Kytola Instrumentin mittarilla kuten TB:llä. Mittarin asteikkoa tulee kuitenkin kasvattaa, niin että

asteikko soveltuu moottorilaboratorion 3.2 tarpeisiin, jossa tarvittava jäähdytysveden tilavuusvirta on suurempi kuin TB:llä.

Lopulliseen ohjausjärjestelmän valintaan vaikuttaa järjestelmän sopivuus Frouden jarruun, moottorinohjausjärjestely sekä laitteen hinta. Frouden ohjauskaappi ja Borghi & Saveri:n tarjoama vaihtoehto eivät yllä uusimpien ohjauslaitteiden kanssa samoihin tarkkuuksiin. Lisäksi laitteet ovat kookkaita, jolloin sijoitus on hankalampaa. Lisäksi Borghi & Saveri:n esittämän ohjausjärjestelmävaihtoehdon hinta ei huomattavasti eroa uudempien laitteiden kustannuksista. FEV:n ja Horiban tarjoamissa uudentyyppisissä ohjaimissa ei ole suurta eroa niin hintaluokassa kuin ominaisuuksissakaan. Kuitenkin Horiba SPARC -järjestelmää käytettäessä ohjelmisto olisi ennalta tuttu, jolloin käyttöönotossa ja perehdytyksessä voitaisiin säästää aikaa. Jos ohjausjärjestelmään käytettävä budjetti ei riitä uuden ohjausjärjestelmän hankintaan, voidaan miettiä ohjausjärjestelmän toteutuksen suunnittelemista opinnäytetyönä. Ohjauskaapin käyttö jarrun ohjauksessa on esitetyistä vaihtoehdoista edullisin, koska kaappi on jo hankittuna, vaikka ohjauksen toteutukseen tarvitaankin National Instruments -tuotteita. Ohjaus voidaan mahdollisesti toteuttaa käyttämällä pelkästään National Instrumentsin LabVIEW-laitteita, joilla tiedonkeruu on toteutettu. Tämä voisi olla kaupallisia vaihtoehtoja edullisempi ratkaisu. Vaihtoehtoisen ohjauksen toteutus vaatii suunnittelua ja paneutumista, ja siksi ohjauksen suunnittelu voisi toimia mahdollisesti uutena opinnäytetyöaiheena.

AVL:n tarjousta ohjausjärjestelmästä ei ehditty saamaan diplomityön tekovaiheen aikana. Työn loppuvaiheessa AVL ehdotti lisäksi toisenlaista vaihtoehtoa. Sen mukaan Frouden pyörrevirtajarrun tilalle hankittaisiin AVL APA 302 -jarru, jonka mukana toimitettaisiin uusi samanlainen ohjausjärjestelmä kuin mitä Frouden jarrun ohjaukseen käytettäisiin. Ehdotettu AVL APA 302 on noin kymmenen vuotta vanha, aiemmin käytössä ollut AC-jarru, joka on teholtaan 340 kW. Jarrun ominaisuuksiin kuuluu pieni inertia, jonka ansiosta jarru soveltuu hyvin simulointeihin ja nopeille kuorman vaihdoksille. (Johansson, B. 2017b.) Ohjausjärjestelmää hankittaessa olisi hyvä punnita AVL:n ohjausjärjestelmävaihtoehto sekä uuden jarruvaihtoehdon ominaisuudet ja sopivuus VEBIC-moottorilaboratorioon.

Esitetyistä ilmanmäärämittareista ABB Sensyflow FMT700-P ja AVL FLOWSONIX™ Air soveltuvat uuteen moottorilaboratorioon erillisen näytöllisen laskentayksikön ansiosta. Laskentayksikkö voidaan sijoittaa valvomoon, mikä vähentää kulkemista moottorisellissä. Riippuen, mikä on mittalaitteen hankintaan varattava budjetti, voidaan valita joko AVL FLOWSONIX™ Air, joka on tarkempi mutta esitetyistä vaihtoehdoista kalkein, tai ABB Sensyflow FMT700-P, joka on vaihtoehdoista edullisin ja riittävän tarkka. Lisäksi ABB Sensyflow FMT700-P -virtausmittarin käytöstä ja asennuksesta on kokemusta TB:n moottorilaboratoriosta.

Lämpötasemittauksissa päädyttiin jäljittelemään Turun ammattikorkeakoulun moottorilaboratoriossa käytettyä menetelmää ja laitteistoa, koska Turun moottorilaboratoriossa on pystytty toteuttamaan tieteellistasoisia mittauksia. Mittalaitteiden mitoituksessa on huomioitava, että niiden on sovittava moottorilaboratorion 3.2 järjestelmään.

VEBIC:in moottorilaboratoriossa 3.2 toteutetaan tiedonkeruu TB:n mallin mukaisesti. Tulevaisuudessa tiedonkeruuta voidaan kehittää edelleen ja mahdollisuuksien mukaan liittää mittalaitteet osaksi tiedonkeruuta. Valvonta VEBIC:in laboratoriossa suoritetaan valvomosta, jonne valvonta-, tiedonkeruu- ja ohjauslaitteet sijoitetaan. Suunnitelmassa on pyritty minimoimaan moottorisellissä käyminen. Moottorilaboratorioon 3.2 ei ole suoraa näköyhteyttä valvomotilasta, sillä moottorilaboratoriossa 3.2 ei ole ikkunoita. Moottoriselliin on kuitenkin järjestetty tallentava videovalvonta, jota voidaan seurata reaaliajassa. Valvontanäyttö sijoitetaan niin ikään valvomon pöydälle muun laitteiston kanssa.

Joidenkin laitteiden lopulliset paikat ja sijoitukset selviävät jarrupenkin valmistumisen myötä. Sijoitukseen ja asennukseen liittyvät suositukset on syytä ottaa huomioon, kun moottori siirretään uuteen laboratorioon. Lämmönsiirrin tulisi asentaa moottorin sylinterinkannen tason yläpuolelle. Välijäähdytin tulee sijoittaa niin, että täysi virtaus saadaan moottorin vesipumpulta. Välijäähdytin tulee asentaa vastavirtakytkentänä ja niin, että jäähdytysveden ulostulo on ylempänä kuin sisäänmeno. Polttoainejäähdytin tulisi kytkeä paluulinjaan. Järkevintä käytettävissä olevan tilan kannalta on kiinnittää jäähdytyslaitteet jarrupenkin rakenteisiin. Kistler KiBox -laitteen vahvistin on sijoitettava mootto-

riselliin lähelle mitattavaa moottoria. Ilmanmäärämittaria asennettaessa on huomioitava riittävän pitkien suorien putkien käyttö ennen ja jälkeen mittaussyksikön. Myös PEM1000 -virtausmittarin sijoituksessa on huomioitava, että ennen ja jälkeen mittarin tulisi olla riittävän pitkät suorat putket. Lisäksi anturin toiminnan takaaminen rajoittaa virtausmittarin sijoitusta. Virtausmittari on asennettava niin, että virtaus jatkaa ylöspäin anturin jälkeen. Virtausmittarille sopiva paikka olisi lähellä lämmönsiirrintä ja kiinnitys mahdollisesti jarrupenkin rakenteisiin. Lähetin, josta mitta-arvoja luetaan, sijoitetaan valvomoon. Lämpöasemittarin sekä magneettisen suodattimen puhdistus on pystyttävä hoitamaan asennuspaikalla, mikä on huomioitava sijoituksessa. Koska asennustöitä ei aloitettu vielä opinnäytetyön aikana, ei kaikkia mahdollisia seikkoja ole voitu huomioida suunnitelmassa ja osa tarpeista selviää vasta asennustyön aikana.

## 5 YHTEENVETO

Vaasan yliopiston yhteyteen rakennettiin uusi tutkimus- ja innovaatioalusta VEBIC vuonna 2017. AGCO Power 44 AWI -tutkimusmoottori asennetaan VEBIC:in moottorilaboratorioon 3.2. Tutkimusmoottoria on käytetty TB:n moottorilaboratoriossa tutkimusmittauksissa. Osa tarvittavista laitteista on jo hankittuna, mutta suurin osa on hankittava ennen moottorin sijoitusta VEBIC:iin. Työn tavoitteena oli kartoittaa, mitä laitteita on ja mitä tulee hankkia uuteen moottorilaboratorioon. Työ tehtiin osana kansainvälistä EU:n rahoittamaa HERCULES-2 -ohjelmaa.

Työn alussa esiteltiin TB:n moottorilaboratorion laitteisto ja ratkaisut. Käsittelyluvussa esiteltiin jo olemassa olevat laitteet ja uuteen moottorilaboratorioon hankittavat laitteet. Hankittavien laitteiden yhteydessä on esitetty valmistajien ja jälleenmyyjien esittämiä kustannuksia. Hankittavien laitteiden kohdalla pohdittiin, ovatko käytössä olleet ratkaisut olleet toimivia, vai tulisiko ratkaisuja parantaa. Uusia ratkaisuja pyrittiin löytämään vertailemalla nykyisiä ja markkinoilla olevia laitteita ja konsultoimalla asiantuntijoita. Lisäksi vierailtiin Nokian Linnavuoressa AGCO Powerin moottoritehtaalla ja -laboratoriossa tutustumassa siellä käytössä oleviin ratkaisuihin.

Yliopistolla on AGCO Power 44 AWI -moottorin lisäksi jo Kistler KiBox -mittalaite sylinteripainemittauksiin sekä pakokaasun mittauksissa käytetyt laitteet eli pakokaasun mittalaitekaappi, Gasmel<sup>TM</sup> DX4000 -kaasuanalysointilaite ja EEPs 3090 -hiukkasspektrometri. Niin Kistler KiBox -laitetta kuin pakokaasumittalaitteitakin käytetään kaikissa VEBIC:in moottorilaboratorioissa eli laitteita siirrellään mittaustarpeiden mukaan. Lisäksi laboratorioon 3.2. oli jo valmiiksi hankittu Frouden pyörrevirtajarru ja ohjauskaappi, vahvistin Kistler KiBox -laitteelle sekä ALV Fuel Balance -polttoaineenkulutusmittari. TB:n moottorilaboratorion pohjalta toimiviksi ja samalla VEBIC-moottorilaboratorioon sopiviksi ratkaisuksi todettiin tiedonkeruujärjestelmä ja -laitteisto, akseli-tyyppi ja kytkin, jäähdytyslaitteet sekä jäähdytysveden virtausmittari, magneettinen suodatin pyörrevirtajarrua varten sekä nopeuden mittausratkaisut. Vaikka TB:n ratkaisumalleja voitiin hyödyntää suunnitelmassa, on laitteiden mitoituksessa kuitenkin huomioitu VEBIC:in moottorilaboratorion 3.2 vaatimukset. Käytettyä ohjausjärjestelmää ja

olemassa olevaa ohjauskaappia vertailtiin markkinoilla olevien ohjausjärjestelmävaihtoehtojen kanssa. TB:llä käytettyä ilmanmäärämittaria verrattiin eri valmistajien vastaviin laitteisiin. Lämpötasemittauksissa käytettiin mallina Turun ammattikorkeakoulun moottorilaboratorion ratkaisuja.

Sijoitukseen vaikuttavat kunkin laitteen erityistarpeet ja -vaatimukset. Lisäksi kaapeli-reititysten suositukset otettiin huomioon. Mittalaitteiden sijoitus pyrittiin suunnittelemaan niin, että kulkemista moottorisellissä voidaan välttää. Valvontalaitteet, ohjausjärjestelmä, tiedonkeruulaitteisto ja tietokoneet näytöineen sijoitetaan valvomotilaan valvomopöydälle ja sen ympärille. Erillinen kärry tai taso tulee rakentaa ohjausjärjestelmälle ja mittalaitteiden laskentayksiköille, joista mitta-arvoja seurataan.

Jatkoselvitystä tarvitaan jarrupenkin mitoituksesta ja rakenteesta, mikä määrittää muun muassa käytettävän akselin mallin ja koon sekä eri laitteiden sijoitusmahdollisuudet. Jarrupenkki on suunniteltu teetetäväksi joko projektityönä Novia Yrkehögskolanin järjestämällä kurssilla tai opiskelijan tekemänä opinnäytetyönä. Jos markkinoiden valmiiden ohjausvaihtoehtojen hankinta ei ole mahdollista, voidaan opinnäytetyönä teettää vaihtoehtoisen ohjausmenetelmän suunnittelu ja toteutus. Lisäselvitystä ja tutkintaa vaatii myös AVL:n ehdottaman uuden jarruvaihtoehdon ominaisuudet, ohjaus ja soveltuvuus moottorilaboratorioon 3.2.

## LÄHDELUETTELO

- ABB (2011). Mass Flowmeter CoriolisMaster FCM2000 [online]. [Viitattu 12.7.2017], 122 s. Saatavissa: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=D184B111U02&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.
- ABB (2014). Sensyflow FMT700-P Thermal Mass Flowmeter [online]. [Viitattu 12.7.2017], 24 s. Saatavissa: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=10%2f14-6.84-EN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.
- Anttila, Hannu (2017). Vebic laboratorio 3:n jäädytys. Sähköpostiviesti Saana Hautalalle 16.3.2017.
- Atkins, Richard D. (2009). *An Introduction to Engine Testing and Development*. Warrendale, Pa: SAE International cop. 289 s. ISBN 978-0-7680-2099-1.
- AVL (2007). AVL 415S Variable Sampling Smoke Meter, Operating Manual, AT1240E Rev.07. [Käyttöohjekirja], 202 s.
- AVL (2017a). AVL Fuel Balance and Fuel Temperature Control [online]. [Viitattu 27.6.2017]. Saatavissa: <https://www.avl.com/-/avl-fuel-balance-and-fuel-temperature-control>.
- AVL (2017b). AVL FLOWSONIX™ Air [online]. [Viitattu 27.7.2017]. Saatavissa: <https://www.avl.com/-/avl-flowsonix-air>.
- Björk, Markus (2017). Charge Air Cooler and Heat Exchanger for Agco 44 AWI. Sähköpostiviestiketju Saana Hautalan kanssa 13.3.–6.9.2017.

- Borghi, Barbara (2017). Control system for Agco 44 AWI engine and eddy-current dynamometer. Sähköpostiviesti Saana Hautalalle 13.4.2017.
- Bowman (2012). Fuel Coolers [online]. [Viitattu 11.9.2017], 2s. Saatavissa: [http://www.ejbowman.co.uk/pdf/fuel\\_coolers.pdf](http://www.ejbowman.co.uk/pdf/fuel_coolers.pdf).
- Bowman (2016). Header Tank Heat Exchangers [online]. [Viitattu 23.2.2017], 12 s. Saatavissa: [http://www.ejbowman.co.uk/pdf/Bowman%20Header%20Tank%20Brochure\\_web.pdf](http://www.ejbowman.co.uk/pdf/Bowman%20Header%20Tank%20Brochure_web.pdf).
- Bowman (2017). Charge Air Coolers [online]. [Viitattu 23.2.2017], 8 s. Saatavissa: [http://www.ejbowman.co.uk/pdf/Bowman\\_Charge%20Air%20Cooler%20Brochure\\_Oct\\_2016\\_lowres.pdf](http://www.ejbowman.co.uk/pdf/Bowman_Charge%20Air%20Cooler%20Brochure_Oct_2016_lowres.pdf).
- CENTA (2017). Industry products [online]. [Viitattu 18.7.2017]. Saatavissa: <http://www.centa.info/?show=products&c=us&what=industry>.
- Dynamometer World (2017). Eddy Current Dynamometer Information [online]. [Viitattu 25.9.2017]. Saatavissa: <https://www.dynamometer-world.com/index.php/dynamometer-sales-info/eddy-current-dynamometer-info.html>.
- Eco Physics (2009). CLD 8xx, User-Manual. [Käyttöohjekirja], 151 s.
- Eggli, Christina (2017). MFGHs. Sähköpostiviestiketju Saana Hautalan kanssa 20.–26.9.2017.
- Ekman, Krister (2017). Lämpövirtamittarit. Sähköpostiviestiketju Saana Hautalan kanssa 15.–18.9.2017.

Ervelius, Matti (2017). D-4DA -virtausmittari tarjous 201709ME/5. Sähköpostiviesti Saana Hautalalle 20.9.2017.

FEV (2016). Software and testing solutions [online]. [Viitattu 7.9.2017], 2 s. Saatavissa:  
sa:  
[http://www.fev.com/fileadmin/user\\_upload/Media/Datasheets/MeasuringDevices/AirRate-E.pdf](http://www.fev.com/fileadmin/user_upload/Media/Datasheets/MeasuringDevices/AirRate-E.pdf).

Gasmet (2017). Gasmet™ DX4000 [online]. [Viitattu 28.6.2017]. Saatavissa:  
<http://www.gasmet.com/products/portable-gas-analyzers/dx4000>.

GEWES (2014). Customized Cardan shafts 350 Nm – 600.000 Nm [online]. [Viitattu 18.7.2017], 52 s. Saatavissa:  
[http://www.gewes.de/fileadmin/inhalte/download/de/kataloge/GEWES\\_Gelenkwellenkatalog.pdf](http://www.gewes.de/fileadmin/inhalte/download/de/kataloge/GEWES_Gelenkwellenkatalog.pdf).

Haapala, Tomas (2017). *Moottorilaboratorioiden pakokaasumittausjärjestelmän suunnittelu*. Vaasan Yliopisto. Energiatekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.

Horiba (2007). Eddy Current Dynamometer of the WT Series. Operating Manual. [Käyttöohjekirja], 75 s.

Horiba (2017). SPARC [online]. [Viitattu 22.5.2017]. Saatavissa:  
<http://www.horiba.com/automotive-test-systems/products/mechatronic-systems/driveline-test-systems/details/sparc-878/>.

J.U.M. Engineering (2009). Users Manual, Sample Sequencer Model VE 222, Engl. Version. [Käyttöohjekirja], 29 s.

J.U.M. Engineering (2010). Users Manual, FID Model VE 7, Engl. Version. [Käyttöohjekirja], 53 s.

- Johansson, Anders (2017). Request regarding engine cell upgrade. Sähköpostiviestiketti Saana Hautalan kanssa 26.7.–1.9.2017.
- Johansson, Björn (2017a). Manager Sales Support, AVL List Nordiska AB. Haastattelu, Vaasa 16.7.2017.
- Johansson, Björn (2017b). New Dyno. Sähköpostiviesti Saana Hautalalle 17.10.2017.
- Kistler (2017). Onboard Indication with KiBox from Kistler [online]. [Viitattu 28.7.2017]. Saatavissa: <https://www.kistler.com/fi/en/applications/automotive-research-test/engine-research-development/mobile-cylinder-pressure-indication/>.
- LaMadrid, Artiom (2017). Air mass flow meter. Sähköpostiviesti Kirsi Spoof-Tuomelle 4.9.2017.
- Lamminpohja, Jarkko (2017). Centa-kytkin. Sähköpostiviesti Saana Hautalalle 28.6.2017.
- M&C TechGroup (2007). Operating Manual, Gas conditioning unit Series CSS, Version CSS-M portable, 2<sup>nd</sup> Edition. [Käyttöohjekirja], 24 s.
- M&C TechGroup (2010). Operating Manual, Electric gas cooler series EC, Version EC-L, 1<sup>st</sup> Edition. [Käyttöohjekirja], 21 s.
- Martin, Joonas (2017). Termostaattiventtiili. Sähköpostiviesti Saana Hautalalle 27.9.2017.
- Martyr, A. J. & M. A. Plint (2012). *Engine Testing: The Design, Building, Modification and Use of Powertrain Test Facilities*. 4. painos. Oxford: Butterworth-Heinemann. 571 s. ISBN: 978-0-08-096949-7.

- National Instruments (2017). Simple Solutions to Complex Challenges [online] [Viitattu 4.8.2017]. Saatavissa: <http://www.ni.com/fi-fi/shop.html>.
- Niemi, Seppo (2017). Professori, Vaasan yliopisto. Puhelinkeskustelu, 31.8.2017.
- Nilsson, Olav (2017a). Laboratorioinsinööri, Vaasan yliopisto. Haastattelu, Vaasa 9.2.2017.
- Nilsson, Olav (2017b). Horiba Sparc. Sähköpostiviesti Saana Hautalalle 16.2.2017.
- Nilsson, Olav (2017c). Charge Air Cooler and Heat Exchanger for Agco 44 AWI. Sähköpostiviestiketju Saana Hautalan kanssa 14.3.–22.6.2017.
- Nilsson, Olav (2017d). Laboratorioinsinööri, Vaasan yliopisto. Haastattelu, Vaasa 13.9.2017.
- Nyman, Aarne (2017a). Frouden jarrut. Sähköpostiviestiketju Saana Hautalan kanssa 18.5–25.9.2017.
- Nyman, Aarne (2017b). Sr. Development Engineer, AGCO Power Oy. Haastattelu, Nokia 29.6.2017.
- RLS (2017). LM13 magnetic ring encoder system [online]. [Viitattu 5.10.2017]. Saatavissa: <https://www.rls.si/en/lm13-magnetic-ring-encoder-system>.
- Rutkiewicz, Mikael (2017). RE: Aihe – Lisätietoja koskeva pyyntö. Sähköpostiviesti Saana Hautalalle 26.9.2017.
- Rönqvist, Jon (2017). Tarjous ilmamäärämittarista. Sähköpostiviesti Saana Hautalalle 11.9.2017.

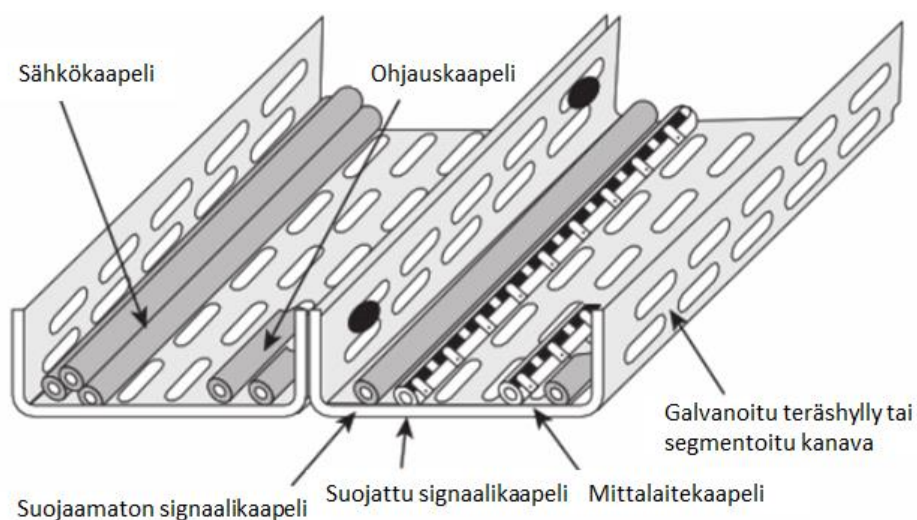
- Siemens (2001). OXYMAT 61 The Oxygen Analyzer for Standard Applications, Instruction Manual A5E00123067-01. [Käyttöohjekirja], 113 s.
- Siemens (2016). Continuous Gas Analyzers, extractive, Ultramat 6 [online]. [Viitattu 5.7.2017], 34 s. Saatavissa:  
[https://w3app.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentcenter/sc/pa/InfocenterLanguagePacks/Catalog%20sheet%20ULTRAMAT%206/ultramat6\\_ap01\\_en.pdf](https://w3app.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentcenter/sc/pa/InfocenterLanguagePacks/Catalog%20sheet%20ULTRAMAT%206/ultramat6_ap01_en.pdf).
- Suomela, Janne (2017). AVL tarjous polttoaineen mittauksesta. Sähköpostiviesti Saana Hautalalle 16.8.2017.
- Suutari, Marko (2017). Gewes-nivelakseli / TARJOUS 20030719. Sähköpostiviestiketti Saana Hautalan kanssa 13.–19.7.2017.
- TSI (2011). Model 3090 Engine Exhaust Particle Sizer Spectrometer, P/N 2980244 Rev. A [online]. [Viitattu 11.7.2017]. Saatavissa:  
[http://www.tsi.com/uploadedFiles/Product\\_Information/Literature/Spec\\_Sheets/3090\\_2980244A.pdf](http://www.tsi.com/uploadedFiles/Product_Information/Literature/Spec_Sheets/3090_2980244A.pdf).
- Vaasan yliopisto (2016). *Hiukkaskokojakauman määrittäminen EEPs-spektrometrillä*. Sisäinen asiakirja. Vaasan yliopisto, Polttomoottorilaboratorio. 10 s.
- Vaasan yliopisto (2017a). *Typenoksidien pitoisuuksien määrittäminen CLD 822 M hr –mittalaitteella*. Sisäinen asiakirja. Vaasan yliopisto, Polttomoottorilaboratorio. 4 s.
- Vaasan yliopisto (2017b). *Gasmet DX-4000 FTIR –kaasuanalysaattori*. Sisäinen asiakirja. Vaasan yliopisto, Polttomoottorilaboratorio. 12 s.
- Vaasan yliopisto (2017c). VEBIC – Vaasa Energy Business Innovation Centre [online]. [Viitattu 16.10.2017]. Saatavissa: <http://www.uva.fi/fi/sites/vebic/>.

Välimäki, Visa (2017). Tarjous 20346, VS: PEM-1000 flowmeter. Sähköpostiviestiketju Saana Hautalan kanssa 19.–22.9.2017.

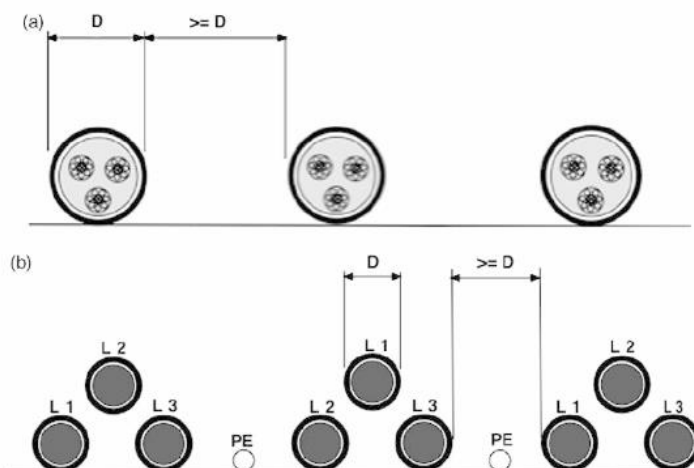
Whittaker, John (2017). Charge Air Cooler and Heat Exchanger for Agco 44 AWI. Sähköpostiviestiketju Saana Hautalan kanssa 24.2.–11.4.2017.

## LIITTEET

## LIITE 1. Kaapeleiden suositellut asennustavat



**Kuva 26.** Esimerkki kaapeleiden asetelusta avoimilla kaapelihyllyillä. Muokattu lähettä Martyr & Plint (2012: 100).



**Kuva 27.** (a) Monijohdinsähkökaapeleiden suositeltu etäisyys kaapelikanavassa tai -hyllyllä, (b) Yksittäisen vaiheen sähköjohtojen suositeltu etäisyys, järjestys ja asettelu sekä suojamaakaapelin sijoitus jokaisen nipun väliin (Martyr & Plint 2012: 99).