

Antti Schultz

# Polttomoottoridynamometrin hankintasuunnitelma

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Auto- ja kuljetustekniikka  
Opinnäytetyö  
18.5.2011

Tekijä(t) Otsikko	Antti Schultz Polttomoottoridynamometrin hankintasuunnitelma
Sivumäärä Aika	24 sivua 18.5.2011
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja(t)	Teknologiapäällikkö Pekka Hautala
<p>Tämä työ on tehty Metropolia Ammattikorkeakoululle. Työn tarkoituksena on ollut kartoittaa erilaisia moottorintestausdynamometriä toteutusvaihtoehtoja oppilaitoksen tulevien projektien tarpeiden varalta.</p> <p>Kirstyneiden polttoaineenkulutus- ja pakokaasupäästövaatimusten takia moottoreiden koko tulee tulevaisuudessa pienenevän ja polttomoottoreiden rinnalle otetaan käyttöön uutta teknologiaa, kuten sähkömoottorit ja hybridivoimansiirto.</p> <p>Oppilaitoksen nykyinen polttomoottoridynamometri on nyt jo kovin varattu, eikä se sovellu pienitehoisten moottoreiden testaamiseen.</p> <p>Työssä käsitellään kolmea erilaista toteutusvaihtoehtoa: valmiin dynamometrin hankintaa, oman laitteiston kokoamista valmiista osista sekä olemassa olevan laitteiston modifiointia tarpeidenmukaiseksi kokonaisuudeksi.</p> <p>Oppilaitoksen kannalta parhaaksi vaihtoehdoksi osoittautui Lappeenrannan teknillisen yliopiston käytetyn Schenck W-150 -pyörrevirtajarrun päivittäminen nykyaikaisten vaatimusten mukaiseksi polttomoottoreiden testausdynamometriksi.</p> <p>Ennen jatkotoimenpiteiden täytäntöönpanoa on huolellisesti selvitettävä dynamometriltä vaaditut ominaisuudet, jotta siihen osataan valita testaustoiminnan kannalta oikeanlaiset ja välttämättömät komponentit ja ohjelmistot.</p>	
Avainsanat	dynamometri, moottorin testaus

Author(s) Title	Antti Schultz Purchase research to combustion engine dynamometer
Number of Pages Date	24 pages 18 May 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor(s)	Pekka Hautala, Technology Manager
<p>This thesis was carried out for the Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. The purpose of the thesis was to find out all the possible ways to carry out engine testing dynamometer for the future projects of the school.</p> <p>Because the regulations and requirements of fuel economy and exhaust emissions are becoming more stringent, all the engines in the future will be down-sized and new technology, such as electric motors and hybrid propulsions, will be deployed in addition to combustion engines.</p> <p>The current combustion engine test dynamometer at the school is already much occupied, and it is not suitable for testing low-powered engines.</p> <p>This thesis deals with three different approaches to carry out engine test dynamometer: to purchase a new dynamometer, to assemble a new dynamometer using standard components or to modify some already existing device.</p> <p>The results of this study show that the best alternative for the school is to purchase a used Schenk W-150 eddy-current dynamometer from the Lappeenranta University of Technology and to modify it to meet all the requirements for modern combustion engine testing equipment.</p> <p>Before taking any concrete measures it is necessary to carry out a thorough analysis of all the requirements that the dynamometer should meet. This will help to choose the right kind of necessary components and programs for the testing.</p>	
Keywords	dynamometer, engine testing

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lähtötilanne	1
2.1	Nykyinen kalusto	1
2.2	Tarpeet uudelle dynamometrille	4
2.2.1	Formula Student	4
2.2.2	Tulevaisuuden automoottorien vaatimukset	4
3	Tavoite	5
3.1	Dynamometriltä vaadittuja suorituskykyarvoja	6
3.1.1	Testaustehon yläraja	6
3.1.2	Jarrun suurin pyörintänopeus	6
3.1.3	Moottorilta tuleva suurin momentti	7
3.2	Tiedonkeruu	7
3.3	Moottorin vaihto ja dynamometrin liikuteltavuus	8
4	Tiedon hankinta ja vaihtoehdot	9
4.1	Valmiit dynamometrit	9
4.1.1	SuperFlow EC-260 S -pyörrevirtajarru	10
4.1.2	Tiedonkeruu ja dynamometrin ohjaus	11
4.2	Oman dynamometrin toteutus	11
4.2.1	Stuska XS-19 -vesijarru	11
4.2.2	Jäähdytyksen toteutus	13
4.2.3	Laitteiston runkorakenne	14
4.2.4	Dynamometrin ohjaus ja tiedonkeruun toteutus	14
4.3	Valmiin dynamometrin muokkaus tarpeidenmukaiseksi	15
4.3.1	Schenck W-150 -pyörrevirtajarru	16
4.3.2	Runkorakenne	18
4.3.3	Dynamometrin ja moottorin jäähdytys	20
4.3.4	Testaustapahtuman ohjaus ja tiedonkeruu	21
5	Toteutusehdotus	22
6	Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet	22
	Lähteet	24

## 1 Johdanto

Metropolia on pääkaupunkiseudulla toimiva Suomen suurin ammattikorkeakoulu. Oppilaitoksen tekniikan ja liikenteen koulutusalojen opetus sisältää käytännönläheistä soveltavaa tutkimus- ja tuotekehitystoimintaa, ja sitä toteutetaan läheisessä yhteistyössä työelämän kanssa.

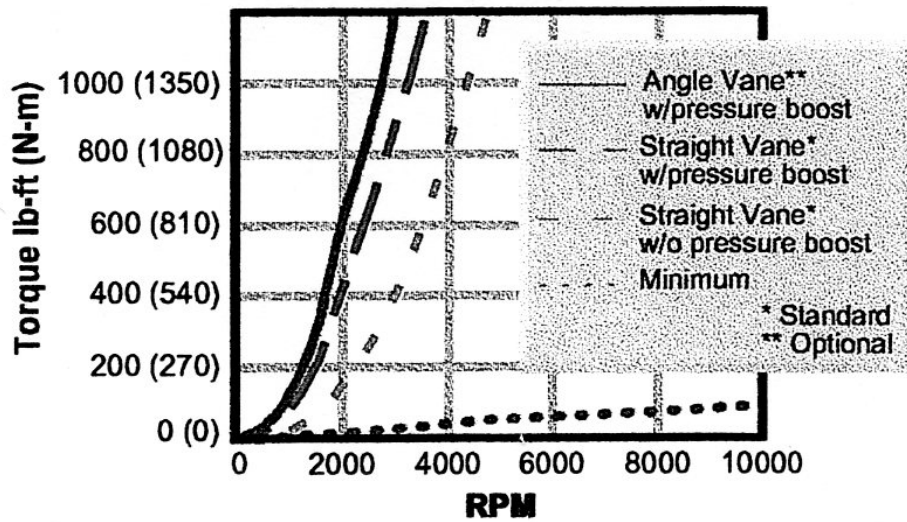
Metropolia ammattikorkeakoulun Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelmasta valmistuu vuosittain 80 autotekniikan insinööriä. Oppilaitoksen opiskelijatoina toteutetut kansainvälisestikin huomioidut ajoneuvoprojektit ovat tuoneet koulutusohjelmalle sekä vahvaa uskottavuutta että näkyvyyttä.

## 2 Lähtötilanne

### 2.1 Nykyinen kalusto

Metropolia Ammattikorkeakoululla on käytössä moottorin testausdynamometri mallia SuperFlow SF-901. Laitteen mitta-alue on 22 - 750 kW (30 - 1000 hv) maksimiväännön ollessa 1350 newtonmetriä, joten se sopii useimpien tavallisten moottoreiden tehonmittaukseen. On kuitenkin huomattava, että laitteiston vaatima pienin käyttömomentti - ja siten myös teho - on pienille moottoreille liian korkea, kuten kuva 1 osoittaa.

## Torque capacity



**Maximum absorber speed ..... 10,000 RPM**

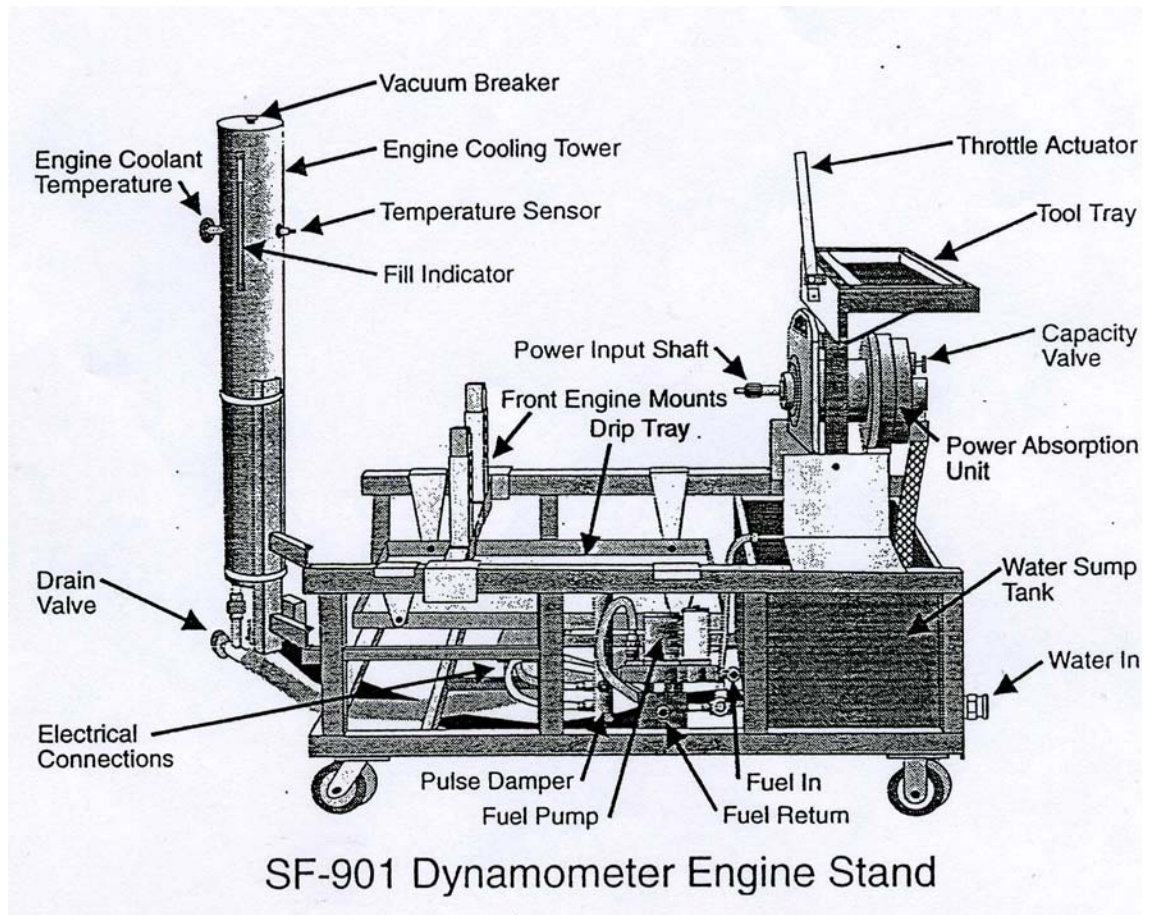
Kuva 1. SuperFlow SF-901:n momenttikuvaaja [1].

Lisäksi SuperFlow on jo nykyisellään usein varattu eri käyttäjille, joten toiselle dynamometrille olisi tarvetta. Käyttötunteja ei dynamometrille paljoakaan tule, vaan oppilaitoksen tapauksessa testaustoiminnassa huomattavan osan ajasta vie testattavien moottoreiden asennus ja purku laitteistosta.

Tästä syystä oppilaitoksen tulevia projekteja varten on tarvetta uudelle laitteistolle, jonka mittausalue on nykyistä dynamometriä matalammilla tehoilla. Näin ollen vanha ja tuleva laite toimisivat rinnakkain ja palvelisivat tarkoituksenmukaisesti tulevaisuudessa testaus- ja opetuskäytössä.

Alla on esitelty oppilaitoksen nykyisen SuperFlow SF-901 -dynamometrin tärkeimpiä teknisiä ominaisuuksia, jotka tulisi huomioida uutta laitteistoa suunniteltaessa.

Laitteen runko on tukevasta nelikulmaputkesta, johon moottoriteline, jarruturbiini ja apulaitteet on kiinnitetty. Perusasettelu selviää alla olevasta kuvasta (kuva 2). Siitä selviää, että akulle ja polttoainesäiliölle on tilaa moottorin kiinnityspukkien ja tippapellin alla. Koko laitteisto painaa noin 300 kg.



Kuva 2. SuperFlow SF-901:n runkorakenne[2].

Polttoainejärjestelmä koostuu säiliöstä, suodattimesta, pumpusta, letkuista, virtausantureista, sekä kahdesta paineenrajoitinventtiilistä ja -antureista, joilla voidaan mitata polttonesteen kulutusta.

Jäähdytysnesteelle on jäähdytystorni, josta ulostulevan nesteen lämpötila voidaan säätää termostaatilla halutuksi.

Imuilman määrän mittaamiseksi laitteistossa on kolme erikokoista imuilmavirtausanturia eri teho vaatimusten mukaisesti. Tarpeen vaatiessa voidaan kahta samankokoista anturia käyttää rinnakkain.

Pakokaasun lämpötilan mittaamiseen on vakiona neljä K-tyyppin termoelementtiä. Optiona on neljä lisäanturia, eli yhteensä kahdeksan paikkaa. Amerikkalainen laitteisto on selvästi suunniteltu sikäläisittäin eli kahdeksansylinterisiä moottoreita silmällä pitäen.

Lämpötila-antureita nesteiden ja ilman lämpötilojen mittaamiseksi on viisi. Niillä voi mitata tarpeen mukaan jäähdytysnesteen, öljyn ja imuilman lämpötiloja vaikka erikseen sisään- ja ulosvirtauksista.

Öljylle ja imuilmalle on vakiona omat painemittarit.

## 2.2 Tarpeet uudelle dynamometrille

### 2.2.1 Formula Student

Formula Student -auton voimanlähteeksi on vuodesta 2012 alkaen valittu sähkömoottori, joten suunnitelman toteutuessa ei FS:n moottorin virittämiseen tarvita kyseisen tyyppistä moottoridynamometriä. Jos kaavailtu moottoriuudistus ei toteudu, vaatii FS:n moottori dynamometrin tehokapasiteetiksi noin 110 hv ja pyörimisnopeuden tulisi ylittää 10 000 kierrokseen minuutissa, jotta testaaminen olisi mahdollista.

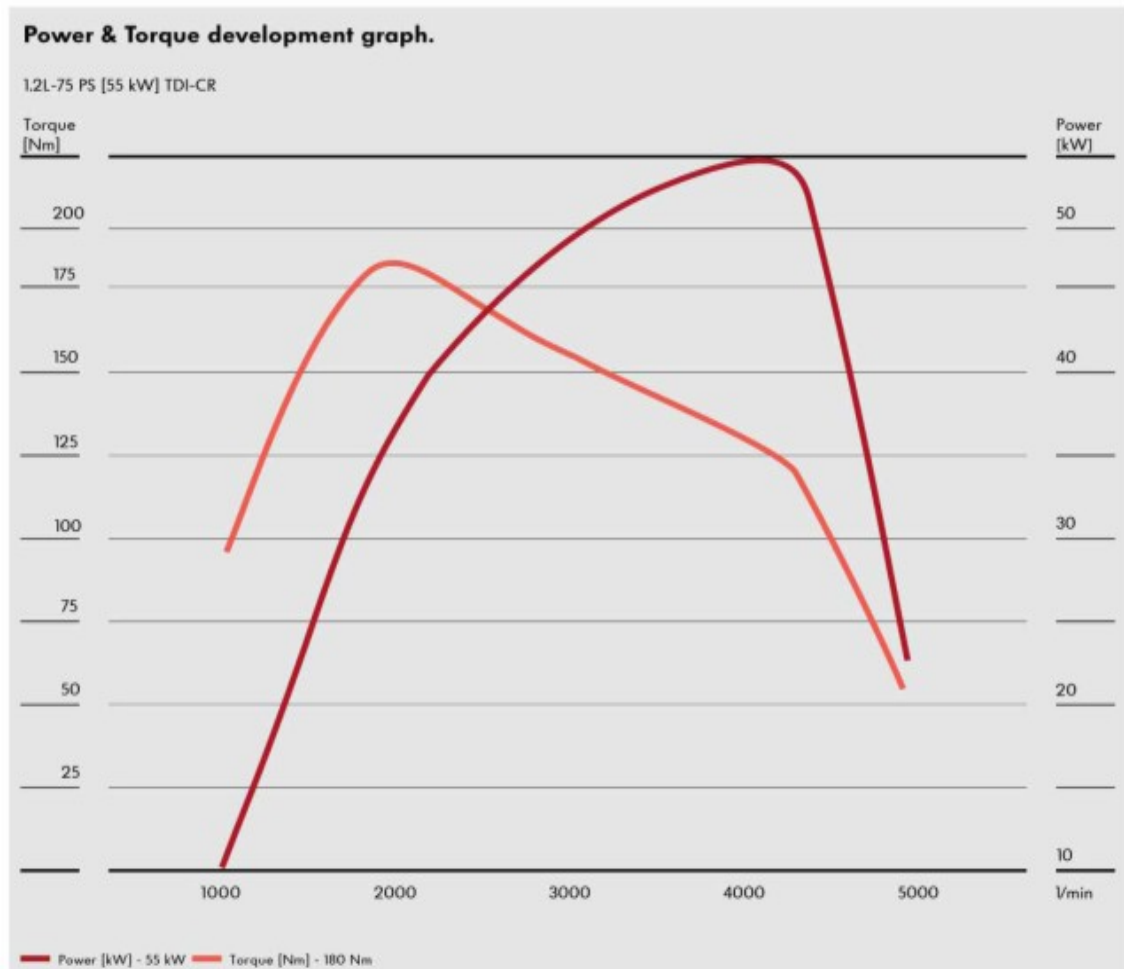
### 2.2.2 Tulevaisuuden automoottorien vaatimukset

Tulevaisuudessa automoottoreiden iskuilavuudet tulevat pienenemään, johtuen päästöille ja polttoaineenkulutukselle asetetuista alati kiristyvistä rajoituksista. Autonvalmistajat pyrkivät säilyttämään moottoreiden nykyisen suorituskyvyn pienentyvästä iskuilavuudesta huolimatta parantamalla moottorin kokonaishyötysuhdetta.

Keinovalikoimissa ovat muun muassa turbo-ahtaminen, polttoaineen suihkutuksen optimointi, laakereiden ja liukupintojen pinnoittaminen kitkan vähentämiseksi, säätyvät imu- ja pakoventtiilien ajoitus ja nousu, sylinterien lepuutustoiminto, start-stop-systeemi, hybridijärjestelmät jne.

Jotta kaikkia näitä uusia järjestelmiä voidaan opetella käyttämään ja säätämään, on ammattikorkeakoululla oltava kunnollinen moottoridynamometri, jonka mittausalue on tarkoituksenmukainen ja jonka käytön opiskelijat voivat kohtuullisen helposti oppia.

Koulun tulevan kaupunkiautoprojektin hybridivoimanlähteen polttomoottoriksi on kaavailtu VW:n 1,2-litraista TDI-moottoria, jonka teho- ja vääntökäyrät on esitetty alla olevassa kuvassa (kuva 3). Sitä voidaan pitää tulevan dynamometrin minimisuorituskyvyn perustana.



Kuva 3. VW:n 1,2-litraisen TDI-moottorin suorituskykykuvaaja [3].

### 3 Tavoite

Tässä luvussa tutkitaan testauslaitteistolta vaadittavia suorituskykyarvoja, kuten suurinta tehonkestotarvetta, pyörimisnopeutta ja moottorilta tulevaa momenttia sekä halettuja ominaisuuksia, kuten tiedonkeruuta ja laitteiston asennusta ja erilaisten moottoreiden liittämistä laitteistoon.

### 3.1 Dynamometriltä vaadittuja suorituskykyarvoja

#### 3.1.1 Testaustehon yläraja

Koska hankittavan dynamometrin on tarkoitus sijoittua käyttöalueeltaan nykyisen, huomattavasti tehokkaammille moottoreille tarkoitettun, testidynamometrin tehoalueen alapuolelle, ei sen huipputehon kestotarpeen tarvitse olla kovinkaan suuri. Varsinkin vesijarrujen tarkkuus matalilla pyörimisnopeuksilla on heikko johtuen turbiinissa esiintyvistä virtausvastuksista.

Tärkeämpää on, että laitteella voidaan mitata tarkasti matalammalla tehoalueella. Jos vaadittava tehonkesto kasvaa, voidaan käyttää vanhaa dynamometriä, joka on tarkka suuremmalla tehoalueella 75 - 750kW (100 - 1000 hv)

Tästä syystä vaadittava huipputehon kesto voidaan rajata välille 100 - 150 kW (150 - 200 hv), jolloin tarvittava testilaitteisto on hankintahinnaltaan edullisempi ja kooltaan pienempi.

#### 3.1.2 Jarrun suurin pyörintänopeus

Testattavista moottoreista suurimpia pyörimisnopeuksia vaativat moottoripyörän moottorit (Formula Student -kilpa-auto), joiden maksimipyörimisnopeus voi olla yli 13 000 kierrosta minuutissa. Useimpien markkinoilla olevien jarrujen maksimipyörimisnopeus on rajattu 10 000 kierrokseen minuutissa. Joitakin laitteistoja voi hetkellisesti pyörittää nopeamminkin, mutta sillä saattaa olla negatiivinen vaikutus laitteistojen laakereiden ja tiivisteiden kestoikään.

Markkinoilla on saatavilla erityisesti korkeammillekin pyörimisnopeuksille sopivia jarrulaitteita, mutta niiden hinnat ovat huomattavasti kaupan standardivalikoiman laitteiden hintoja korkeampia, minkä johdosta niitä ei voi pitää varteenotettavina vaihtoehtoina oppilaitoksen tarpeisiin.

Jos testauslaitteistolta edellytetään moottorijarrutusta simuloivaa toimintaa, on käytännössä ainoana käyttökelpoisena jarrulaitevaihtoehtona sähkömoottori, joka rajoittaa pyörimisnopeuden huomattavasti matalammaksi, 2000 - 3000 kierrosta minuutissa

riippuen sähkömoottorin tyypistä. Ongelman voi kiertää käyttämällä moottorin ja jarrun välissä alennusvaihdetta, jolloin jarrun suurin pyörimisnopeus saadaan laskettua sallittuun tasoon.

Moottorijarrullista dynamometriä tarvitaan, jos halutaan suorittaa moottorille päästötestisyklin mukainen testiajo penkissä. On huomattava, että sähkömoottori on useimmissa tapauksissa huomattavasti muita jarrutyyppejä kalliimpi vaihtoehto, joten sen tarvetta on punnittava huolellisesti.

Erikoistilauksesta on saatavissa myös jonkin verran suuremmille pyörimisnopeuksille valmistettuja sähkömoottoreita. Suurempi käyttönopeus on mahdollistettu komponenttien huolellisella tasapainotuksella. Arvatenkin tällaiset yksittäiskappaleina valmistetut erikoismoottorit ovat hyllytavaraa huomattavasti kalliimpia, joten niiden käyttöön tarvitaan jokin todella hyvin perusteltu syy.

Kaupallisten sovellusten tavoin moottorilta tulevan akselin suurimman pyörintänopeuden voidaan sanoa rajoittuvan 10 000 kierrokseen minuutissa, jonka jälkeen tarvittaessa suoritetaan toimenpiteet, jotta jarrun suurin pyörimisnopeus pysyy hyväksyttävissä rajoissa.

### 3.1.3 Moottorilta tuleva suurin momentti

Pienten moottoreiden tuottaman vääntömomentin voidaan olettaa jäävän korkeimmillaankin noin 250 Nm:n lukemaan, mikä ei aiheuttane testilaitteistolle ongelmia. Jos jarrun ja moottorin välissä joudutaan kuitenkin käyttämään alennusvaihdetta, kasvaa vääntömomentti jarrulla välityssuhteen mukaan, mikä on huomioitava testidynamometrin rakennetta tarkasteltaessa.

## 3.2 Tiedonkeruu

Dynamometrissä on oltava riittävän kattavasti antureita aikaansaamaan tarvittavaa datatietoa säätöjen vaikutuksesta moottorin toimintaan ja pitämään huoli, että dynamometrin käyttö on turvallista niin käyttäjälle kuin myös moottorille. Toisin ilmaistuna, jotta voidaan välttää testauksen aiheuttamat moottorivauriot.

Helpoin tapa dynamometrin ohjaamiseksi ja tiedonkeruun toteuttamiseksi lienee ostaa valmis tietokoneohjelma joltakin laitevalmistajalta. Tällaiset ohjelmat on suunniteltu kyseiseen tarkoitukseen, ja ne ovat kohtuuhintaisia verrattuna siihen, että tekisi ohjelman itse, koska se vaatisi melkoista koodaustaitoa.

Moottorin testauksessa huipputeho eri kierrosnopeuksilla ei ole suinkaan ainoa kiinnostava tieto. Hyvällä dynamometrillä voidaan selvittää myös polttoaineen kulutusta ja siihen vaikuttavia seikkoja, moottorin volumetristä hyötysuhdetta sekä moottorin toimintaa erilaisissa lämpö- ja kuormitustiloissa. Lisäksi on mahdollista mitata myös moottorin tuottamia päästöjä.

Erilaisten tietojen saanti perustuu mitattuihin perustietoihin, joista voidaan laskea useita muita arvoja, kun erilaiset muuttujat tunnetaan. Esimerkiksi volumetrinen hyötysuhde saadaan vertaamalla iskutilavuuden ja moottorin kierrosnopeuden suhdetta mitattuun imuilman virtausnopeuteen.

Näistä tiedoista moottorin pyörimisnopeus kulloisellakin hetkellä saadaan nopeusmittarianturilta ja imuilman virtausnopeus mittaamalla ilmamassamittarilla. Sen jälkeen voidaan esimerkiksi volumetrinen hyötysuhde laskea ilmamassamäärän ja korjauskertoimilla sääasemalta saatujen ilman lämpötila ja kosteusarvojen perusteella.

### 3.3 Moottorin vaihto ja dynamometrin liikuteltavuus

Tavoitteena on valmistaa pienikokoinen ja liikuteltavissa oleva moottorin testausdynamometri, johon on helppo kiinnittää erilaisia moottoreita, ja jonka käyttö on yksinkertaista.

Moottorin kiinnitys testilaitteistoon on yksinkertaisinta toteuttaa valmistamalla jokaiselle testimoottorille oma kiinnitysteline, joka kiinnitetään dynamometrin runkoon. Tällöin voidaan laitteeseen kiinnittää kohtalaisen helposti kaiken tyyppisiä ja kokoisia moottoreita. Laitteen runko voidaan tehdä sopivanmalliseksi ja riittävän vahvaksi erilaisia kiinnityskohtia vaativien moottoreiden kiinnittämiseksi.

Tukevasta rakenteesta huolimatta tulisi laitteiston kokonaispainon olla mahdollisimman alhainen ja koon pieni, jotta sen siirtäminen olisi vaivatonta ja se veisi mahdollisimman

vähän säilytystilaa, kun sitä ei käytetä. Laitteen siirtämiseksi olisi sen alla oltava pyörät. Tämä vaatii laitteiston keveyttä, jotta pienet pyörät kestävät sen painon. Pieni koko ja liikuteltavuus ovat erityisen tärkeitä seikkoja huomioiden oppilaitoksen laboratoriotilojen rajallisen säilytystilan.

## 4 Tiedon hankinta ja vaihtoehdot

### 4.1 Valmiit dynamometrit

Markkinoilta löytyy muutamia kiinnostavia valmiita vaihtoehtoja, mutta ei varsinaisesti koulun kannalta sopivassa teholuokassa. Suurin ongelma on uusien laitteiden korkea hankintahinta. Jopa laitteistojen perusversiot ovat huomattavan hintavia ja niiden huonoksi puoleksi voidaan laskea manuaalinen operointi sekä se, että laitteistot sisältävät vain välttämättömimmän elektroniikan.

Täydellinen dynamometripaketti täysin automatisoidulla toiminnalla ja täydellisellä elektroniikkapakettilla kaikkine mahdollisine antureineen voi maksaa moninkertaisesti pelkkään perusversioon verrattuna. Jarrutyypillä on huomattava vaikutus laitteiston kustannuksiin ja valintaan vaikuttaa myös käyttökohteen jarrutehontarve ja ominaisuudet.

Lähes kaikki uudet laitteistot myydään asiakaskohtaisesti räätälöityinä paketteina, jotka koostuvat jarrulaitteesta sekä muusta testauselektroniikasta asiakkaan tarpeiden mukaan. Näin ollen voi olla taloudellisesti kannattavampaa etsiä markkinoilta sopiva vähän käytetty laitteisto ja modernisoida se oppilaitoksen tarpeiden mukaiseksi.

Jos dynamometriltä halutaan huippuluokan tarkkuutta ja testien toistettavuutta, on sähköistetty toiminta jokseenkin välttämätöntä. Edes huippuluokan testaaja ei kykene hallitsemaan testausympäristön kaikkia muuttujia, jolloin testauksen toistettavuus ja tarkkuus kärsivät. Tarkkuuden lisäksi automatisointi helpottaa testaustapahtumaa ja lisää testaamisen turvallisuutta, sillä se eliminoi manuaalikäytön käyttäjävirheet.

Sähköisesti ohjatulla testausohjelmalla voidaan etukäteen laatia ajettava testausohjelma kulloistenkin testaustarpeiden mukaan. Moottorilla voidaan ajaa erilai-

sia ohjelmia kuten tehonmittausohjelmaa, pitkäkestoisempaa kestotestiohjelmaa, mitata polttoaineenkulutusta tai suorittaa moottorin sisäänajo turvallisesti hallituissa olosuhteissa.

#### 4.1.1 SuperFlow EC-260 S -pyörrevirtajarru

Metropolia Ammattikorkeakoulun dynamometritarpeita lähimmäksi uusista laitteista osuu SuperFlow EC-260 S

-pyörrevirtajarru, joka soveltuu teholtaan 260 hv:n (110 kW) tehoisille moottoreille. Laitteen suurin mahdollinen pyörintänopeus on 13 000 rpm, ja sillä voi mitata kumpaankin pyörimissuuntaan.

Jarrun jäähdytys tapahtuu laitteen läpi juoksettavalla vedellä. Laitteessa ei ole pyöriä tiivisteitä, jotka aiheuttaisivat potentiaalisen vuotoriskin. Jarrun esivoidelluille laakereille luvataan 5000 käyttötunnin kesto ennen uusimista. Laitteen voi asentaa joko kiinteälle pedille tai erilliseen runkoon suoraan testattavan moottorin kylkeen.

Laitteiston perusversio sisältää pyörrevirtajarrun vastustehon säätöineen, 60-hampaisen nopeusmittarin anturin sekä vääntömomenttianturin. Laitteiston kuvasta (kuva 4) näkyy sen suurehko koko sekä etualalla näkyvä momenttianturi.



Kuva 4. SuperFlow EC-260 S –pyörrevirtajarru [4].

#### 4.1.2 Tiedonkeruu ja dynamometrin ohjaus

Laitteiston perusversio on siis säätöjen ja mittauksen osalta täysin manuaalinen. Lisävarusteena laitteistoon saa SuperFlow'n oman tiedonkeruu- ja dynamometrin elektronisen ohjausohjelman. Myös muiden valmistajien ohjelmistojen ja elektroniikan käyttö on mahdollista.

Olennaisinta on ymmärtää, että peruslaite ei riitä ammattikorkeakoulun tarpeisiin, vaan laitteistolta vaaditaan huomattavasti monipuolisempaa toimintaa. Näin ollen dynamometrin elektroninen ohjaus ja kunnollinen tiedonkeruu riittävän monipuolisilla anturitiedoilla on välttämätöntä.

Koska käytettyjä dynamometreja on saatavana, kannattaa harkita kahdesti, sijoittaako paljon rahaa uuteen täydelliseen testauslaitteistoon vai ostaako käytetyn jarrun ja käyttää säästyneet rahat kunnollisen tiedonkeruuseen ja ohjauselektroniikkaan.

#### 4.2 Oman dynamometrin toteutus

Markkinoilta löytyy monia erilaisia jarruvaihtoehtoja eritehoisille moottoreille. Lisäksi löytyy jäähdytysjärjestelmiä, erilaisia antureita ja datankäsittelyohjelmia, joilla voidaan myös ohjata testausta sekä moottoritelineitä ja kaikenlaisia muita dynamometrin rakentamiseen ja käyttöön tarvittavia komponentteja.

Erilaisista osista kokoamalla voi rakentaa juuri omien tarpeiden ja käytössä olevan budjetin mukaisen moottoridynamometrilaitteiston. Tällöin on syytä selvittää huolella tarvittavat ominaisuudet, suureet, joita halutaan mitata, käytössä olevien komponenttien yhteensopivuus ja rahojen riittävyys.

##### 4.2.1 Stuska XS-19 -vesijarru

Amerikkalainen STUSKA DYNAMOMETERS valmistaa Stuska XS-19 -vesijarrua, jonka suurin jatkuva tehonkesto on 200 hv ja suurin pyörintänopeus 12 000 kierrosta minuutissa. Dynamometri toimii kuin todella huonon hyötysuhteen omaava vesipumppu. Toisin ilmaistuna suuren pumppaustehon sijaan se hukkaa pyörimisenergiaa lämmöntuottoon.

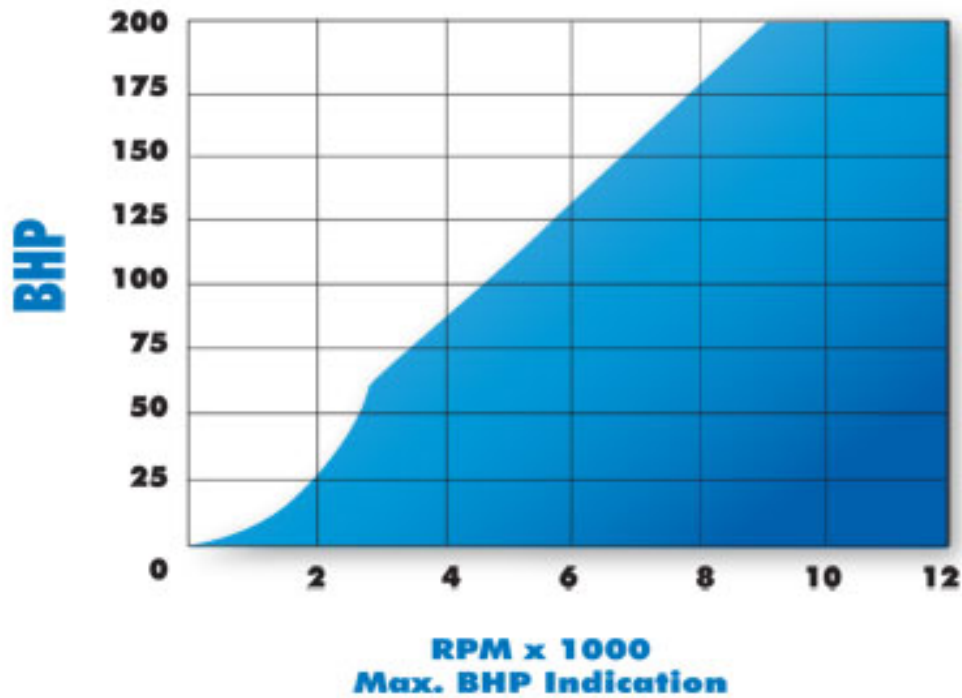
Turbiinin läpi johdettava vesijohtovesi toimii sekä jarruttavan momentin aiheuttajana että varsinkin jäähdytysnesteenä korvaamalla turbiinikammion lämmentyneen veden. Tehonmittaus on mahdollista molempiin pyörimissuuntiin tarpeen mukaan ja vastusteho saadaan halutuksi säätämällä dynamometrin läpi juoksutettavan veden määrää.

Vesijarruja on valmistettu jo pitkään ja ne ovat kustannuksiltaan edullisimpia. Niillä on verrattain hyvä tehonkestokyky eteenkin kokoonsa ja painoonsa nähden. Huonona ominaisuutena vesijarrulla on kaikkiin muihin dynamometrityyppisiin verrattuna hidas reagointi pyörintänopeuden muutoksiin.

Tästä johtuen testiajossa on moottorin kierroslukua tai kuormitusta muutettaessa odotettava, että kierrokset tasoittuvat ennen mittausten suorittamista. Muussa tapauksessa turbiinin luisto voi näkyä testauksen tuloksissa ja tulokset ovat täysin katteettomia.

Vesijarrulla on siis mahdotonta saada aikaan luotettavia tehonmittaustuloksia moottorin kiihdytyksestä johtuen turbiinin hitaasta reagoinnista. Näin ollen joudutaan käyttämään steady state -menetelmää, jossa moottorin käyntinopeuden annetaan tasaantua jokaisessa mittauspisteessä ennen mittausten suorittamista.

Kyseisen jarrun kapasiteetti riittää maksimitehon osalta hyvin koulun tuleviin tarpeisiin, mutta pienen dieselmoottorin tuottama verrattain suuri vääntömomentti matalilla kierrosluvuilla ylittää jarrun maksimisuorituskyvyn. Oheinen kuva (kuva 5) esittää jarrun tehokuvaajaa. Siinä näkyy vesijarrujen turbiinin suhteellisen korkeat sisäiset häviöt matalilla kierrosnopeuksilla (0 - 2800 rpm), mistä aiheutuu tehon absorbointikyvyn notkahdus.



Kuva 5. Stuska XS-19 -vesijarrun tehokuvaaja [5].

Jarrun käyttökelpoisuus koulun kannalta riippuu pitkälti siitä, halutaanko dieselmoottorien tehoja ja muita ominaisuuksia testata koko kierrosnopeusalueella vai vain lähellä maksimitehon kierrosnopeutta.

Jos mittauksia halutaan suorittaa läpi tehoalueen, ei Stuska XS-19 -vesijarrun tehoalue valitettavasti aivan riitä kyseiseen toimintaan. Muutoin se olisi vakavasti otettava vaihtoehto tulevaa dynamometriratkaisua valittaessa.

#### 4.2.2 Jäähdytyksen toteutus

Moottorin jäähdyttämiseen voidaan käyttää moottorin omaa jäähdytysjärjestelmää tai ulkopuolista jäähdytystornia, joita on saatavilla eri valmistajilta. Moottorin oman jäähdytysjärjestelmän hyödyntäminen on sinänsä toimiva ratkaisu, ja silloin sen aiheuttamat häviöt vaikuttavat automaattisesti testauksen tuloksiin.

Erillisen jäähdytystornin etuna moottorin oman jäähdytysjärjestelmän hyödyntämiseen verrattuna on muun muassa mahdollinen kiinteä asennus testauslaitteistoon, jolloin

ylimääräistä aikaa ei tarvitse hukata jäähdyttimien ja letkujen suunnitteluun ja asennukseen, vaan riittää, että kytkee meno- ja paluuletkut moottorin ja jäähdytystornin välille sekä tornin ja vesijohtoverkon välille.

Jäähdytystornin toiminta perustuu sen alumiinirakenteen hyvään lämmönjohtavuuteen. Moottorilta tulevaa lämpöä haihdutetaan mahdollisimman paljon ulkoilmaan alumiiniseinän kautta. Jos tämä ei ole tarpeeksi tehokasta, saadaan moottorille menevää jäähdytysnestettä viilennettyä sekoittamalla termostaatin kautta kylmää vesijohtovettä tornilta tulevaan nesteeseen.

Tämä toki vaatii, että testaus suoritetaan vesijohtoyhteyden välittömässä läheisyydessä, mutta vesijarrun kyseessä ollessa se on joka tapauksessa välttämätöntä. Vesijohtoliitännän läheisyyteen sidottu toiminta voidaankin laskea turbiinin hitaan reagoinnin ohella vesijarrun huonoihin puoliin.

#### 4.2.3 Laitteiston runkorakenne

Dynamometrin runko voidaan valmistaa hyvin itse. 1 mm:n ainevahvuisesta 20 x 10 mm:n nelikulmaputkesta saa tukevan ja vahvan, mutta kohtalaisen kevyen runkorakenteen. Näin ollen valmis laitteisto on helposti liikuteltavissa alle asennettavien pyörien päällä ja sen vaatima säilytystila on melko pieni.

Rungon valmistukseen voi soveltuvin osin katsoa mallia koulun SuperFlow-dynamometristä. Sen rungon rakenne on yksinkertainen, mutta tukeva ja siihen on helppo liittää monia erityyppisiä moottoreita pitkistä rivimoottoreista leveisiin V-moottoreihin, varsinkin huomioiden suunnitellusta laitteiston tehoalueesta johtuva testattavien moottoreiden varsin pieni koko.

#### 4.2.4 Dynamometrin ohjaus ja tiedonkeruun toteutus

Dynamometrin ohjaamiseen ja analysoitavaksi kelpaavan mittausdatan aikaansaamiseksi tarvitaan erilaisia antureita, joilla mitataan muun muassa jäähdytysnesteen lämpötilaa, öljynpainetta ja -lämpötilaa sekä moottorin pyörintänopeutta ja jarrun momenttia. Suurin osa tarvittavasta testaustiedosta tarvitaan myös testaustapahtuman ohjaamiseen.

Eräs mahdollinen toteutustapa on Stuskan oma Power Pro -ohjelmisto ja tiedonkeruu paketti [6], joka pitää sisällään muun muassa 50-hampaisen nopeusmittausanturin, vääntömomentin mittausanturin, 3 kappaletta lämpötila-antureita nesteiden lämpötilan mittaamiseen, 8 kappaletta pakokaasun lämpötilan mittausantureita, 2 paineanturia sekä polttoaineen tilavuusvirtamittarin.

Stuska Power Pro kokoaa mittausdatan tietokoneelle ja koostaa testauksesta yhteenvedon sekä mitatun datan että mitattujen muuttujien mukaan lasketuista tiedoista. Mitattuja tietoja ovat edellä mainituilta antureilta saatavat tiedot moottorin pyörintänopeudesta, vääntömomentista, polttoaineen tilavuusvirrasta sekä testaukseen kuluneesta ajasta. Lisäksi mahdollisesti lisävarusteena saatavat ilmamassamäärä ja pakokaasujen lambda-arvo, jotka ovat laajemman testauksen kannalta välttämättömiä tietoja.

Laskettuihin arvoihin kuuluvat mitattu ja korjauskertoimilla laskettu teho, moottorin kiihtyvyyssarvo, korjattu moottorin vääntömomentti, niin mitattu kuin myös korjauskertoimilla laskettu polttoaineen kulutus, polttoaineen massavirta, moottorin volumetrinen hyötysuhde, ilman tilavuusvirta, ilma-polttoainesuhde, mitattu ja korjauskertoimilla laskettu moottoriin imetyn imuilman määrä testauksen aikana, korjauskertoimet sekä ilman tiheys.

#### 4.3 Valmiin dynamometrin muokkaus tarpeidenmukaiseksi

Kohtalaisen edullinen tapa saada omien tarpeiden mukainen moottoridynamometri on muokata sellainen jostakin jo olemassa olevasta yksilöstä. Tämä onnistuu lisäämällä erilaisia kaupasta ostettavia valmiita palikoita tai muuntelemalla olemassa olevia komponentteja kyseiseen tarkoitukseen sopiviksi.

Sopivia aihioita löytyy lähes kaikkien valmistajien luetteloista. Ideana on muunnella perusmallin dynamometri tarvittavilla osilla halutut kriteerit täyttäväksi kokonaisuudeksi. Lopputulos saattaa kuitenkin olla vastaava kuin valmistajan tarjoama paremmin varusteltu versio samasta laitteistosta ja hintakin saattaa kaikkien tarpeellisten muutosten jälkeen olla valmista pakettia suurempi.

#### 4.3.1 Schenck W-150 -pyörrevirtajarru

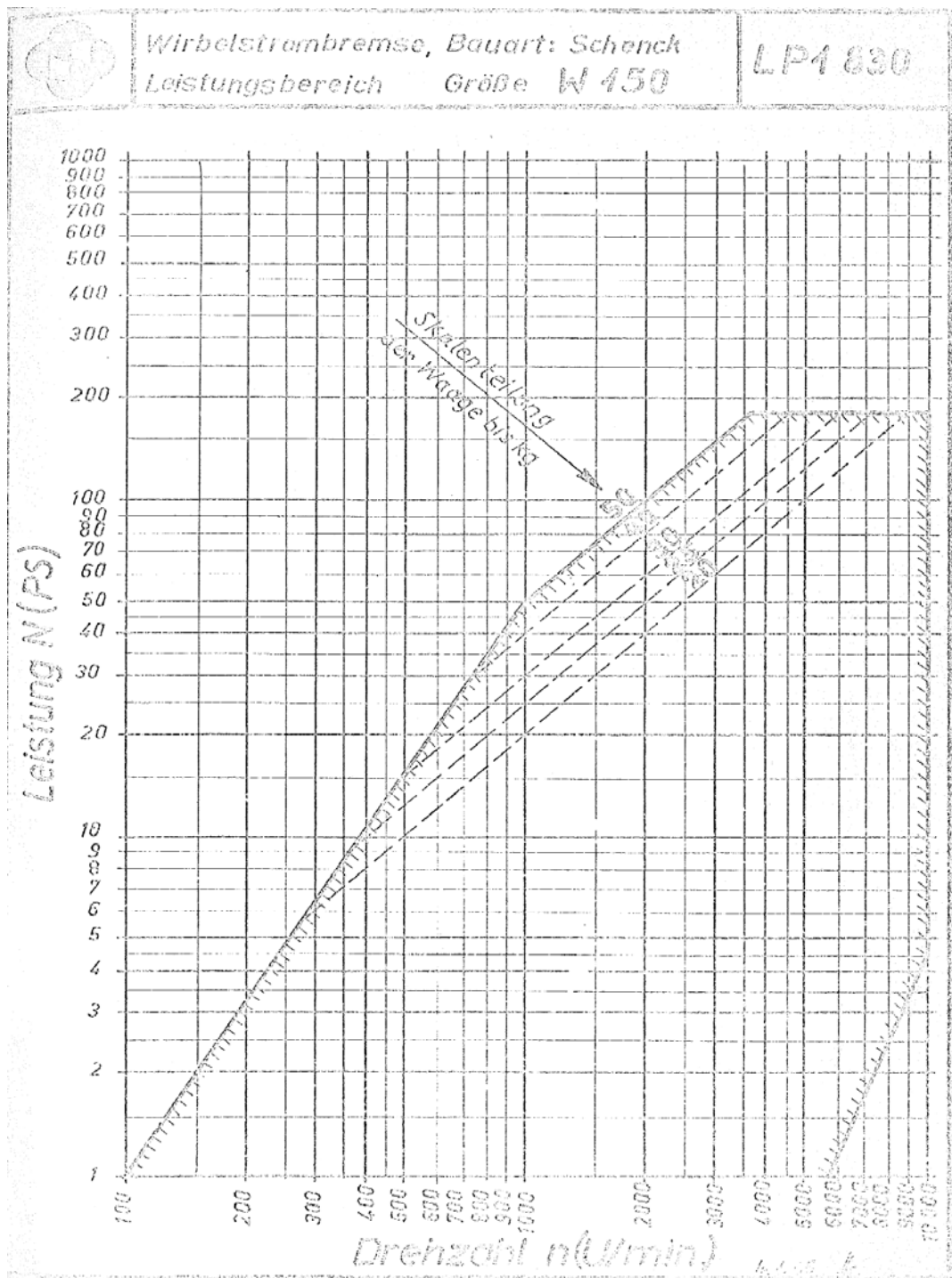
Toisinaan markkinoilta voi löytyä sopivia käytettyjä dynamometrejä, joista voi muok-  
kaamalla saada omien tarpeidenmukaisia laitteita.

Tämän insinööriyön edistyessä on käynyt ilmi, että Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
voisi olla luopumassa vanhasta Schenck W-150 pyörrevirtadynamometristä. Vastaava  
laite löytyy myös Metropolia Ammattikorkeakoulun energiatekniikan laboratoriosta,  
joten sellaisen toiminta ja ominaisuudet ovat ennestään tuttuja. Laite on peräisin 70-  
luvulta, tarkkaan ottaen vuodelta 1971, joten se on sellaisenaan hieman vanhahtava,  
mekaanisine toimintoineen ja kalavaakaa muistuttavine analogisine tehonäyttöineen,  
vaikkakin mekaanisesti täysin toimiva.

Koulutuskäytössä dynamometrit ovat vähäisellä käytöllä eivätkä ne juurikaan kulu. Ai-  
noat kuluvat osat ovat laakerit ja niitäkin saa uusittua tarpeen vaatiessa. Vaikka jarru  
onkin nestejäähdytteinen, ei siinä ole liikkuvia tiivisteitä, toisin kuin vesijarruissa, joissa  
tiivisteitä tarvitaan pyörivän turbiinin ja rungon välille.

Kuten lentokoneeteollisuudessa sanotaan, vaikeimmat osat suunnittelun ja valmistuksen  
kannalta ovat sekä liikkuvia että kuumia.

Laitteen tehoalue on kokonaisuudessaan riittävä pienten diesel- kuin myös polttomoot-  
toreiden testaustoimintaa ajatellen. Pyörrevirtajarrun etu vesijarruun verrattuna on  
jälkimmäisessä matalilla pyörintänopeuksilla esiintyvän laitteen toimintaa haittaavan  
luiston puuttuminen. Oheinen kuva (kuva 6) esittää Schenck W-150 -pyörrevirtajarrun  
tehokuvaajaa. Siitä selviää tasainen tehokuvaaja jo matalilta pyörintänopeuksilta alka-  
en.



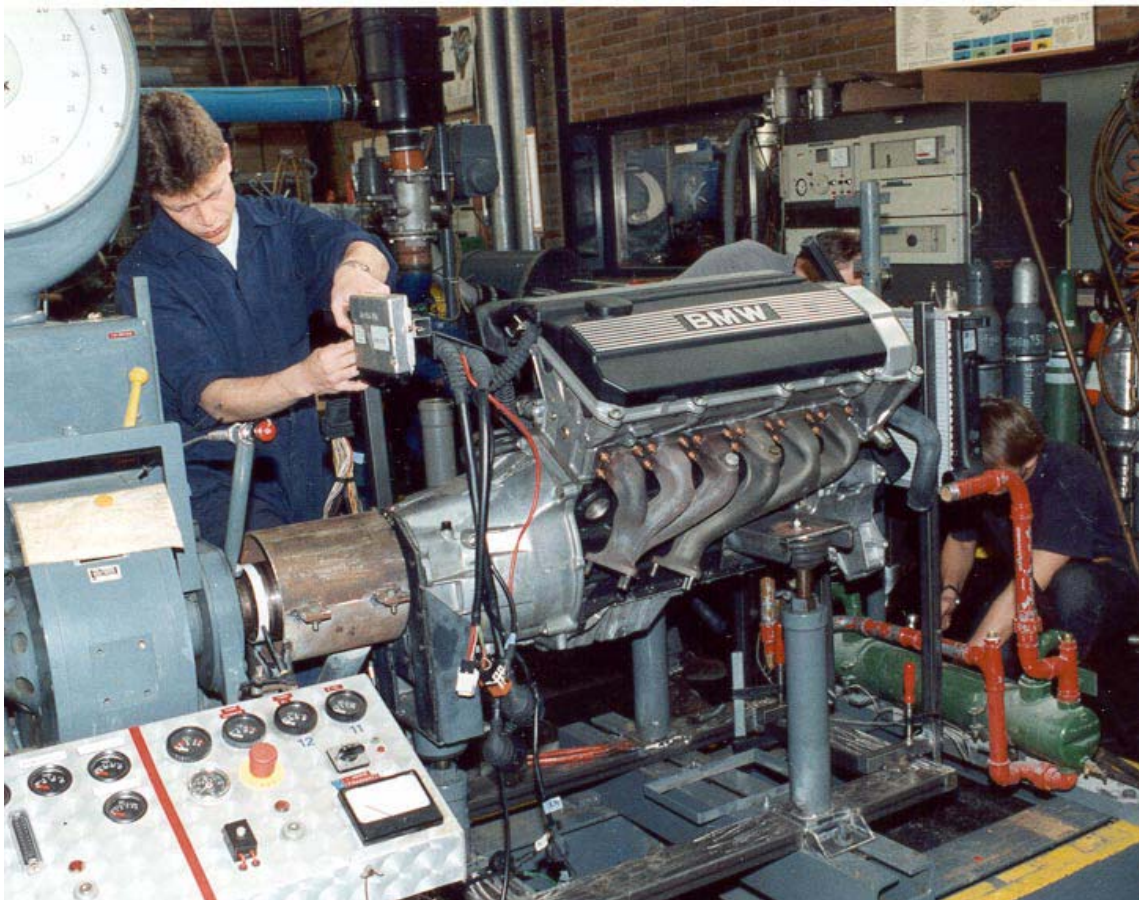
Kuva 6. Schenck W-150 pyörrevirtajarrun tehokuvaaja [7].

#### 4.3.2 Runkorakenne

Pyörrevirtajarru on toimintatavastaan johtuen rakenteeltaan melko massiivinen ja painava. Varsinkin vanhemmat sovellukset on yleensä toteutettu lattialle valetun kiinteän pedin varaan. Alla on kuva (kuva 7), jossa on BMW:n M50-moottori kiinnitettynä Schenck W-150 -pyörrevirtadynamometriin Fachhochschule Giessen-Friedbergin polttomoottoreiden testauslaboratoriossa Saksassa.

Huomaa kalavaakaa muistuttava analoginen tehonäyttö kuvan vasemmassa yläkulmassa sekä teräspalkkien varaan kiinteästi rakennettu moottoriteline, jossa on säädettävät jalat erilaisten moottoreiden liittämiseksi.

Vielä paremman käsityksen valetun pedin rakenteesta saa seuraavista kuvista (kuvat 8 ja 9), jotka ovat Hollannissa myytävästä laitteistosta [8]. Niissä näkyy lattian varsin massiiviset perustukset ja dynamometrin runkorakenne.



Kuva 7. BMW M50 -moottori Schenck W-150 -dynamometrissä [9].



Kuva 8. Hollannissa myytävänä ollut Schenck W-150.



Kuva 9. Hollantilainen Schenck W-150.

Suuresta koosta huolimatta voidaan laitteiston alle rakentaa myös putkirunko ja asentaa pyörät, joskin se vaatii huolellista suunnittelua. Rungon toteuttamiseen on ainakin kaksi erilaista lähestymistapaa. Ensimmäisenä vaihtoehtona on laittaa pyörät jarrun kulmiin ja rakentaa erillinen pyörien päällä liikuteltava yksikkö moottorin kiinnikkeille ja apulaitteille. Toinen tapa on rakentaa yksi suurempi putkirunko, jonka kylkeen jarru on liitetty kiinteäksi. Hieman kuin koulun nykyisessä SuperFlow'ssa on tehty, mutta suuremmalla jarrulla.

Erillisten yksikköjen hyvä puoli on kahden pienemmän yksikön painoetu yksittäin liikuteltaessa. Lisäksi varastointi voi olla tilankäytöllisesti helpompaa. On myös huomioitava, että jos moottorin pyörimissuunnan vaihtamiselle tulee jostakin syystä tarvetta, joudutaan voiman sisääntulo jarrulle vaihtamaan laitteen toiseen päähän. Irrallisilla yksiköillä tämä on kohtalaisen helposti suoritettava operaatio.

Huonona puolena on ilman muuta irrallisten yksiköiden pyrkimys liikehtiä toisiinsa nähdessä testauksen aikana, mikä voi johtaa moottorin ja jarrun välisen vetoakselin taipumiseen tai jopa katkeamiseen, ja sitä kautta dynamometrin tai testattavan moottorin vaurioitumiseen. Liikchedintää hillitään yksiköiden välisellä kiinnityksellä, josta on syytä tehdä mahdollisimman tukeva, jotta yksiköt olisivat testauksen aikana kuin yhtä puuta.

Yhden kiinteän rungon etuna on jarrun ja moottorin kiinteä asema toisiinsa nähden. Tämä ei aiheuta ylimääräisiä rasituksia. Näin siis paperilla ja ideaalimaailmassa. Todellisuudessa rakenteesta on mahdotonta tehdä täysin jäykkää, mutta hyvällä suunnittelulla päästään riittävän hyviin tuloksiin.

#### 4.3.3 Dynamometrin ja moottorin jäähdytys

Jäähdytyksen osalta Schenck W-150:een pätee samat sanat kuin edellä mainittuun Stuska XS-19:een. Moottorin jäähdytyksen voi toteuttaa sen omalla jäähdytysjärjestelmällä, erillisellä jäähdytystornilla tai vastaavalla systeemillä. Jäähdytystornin etuna on nopea käyttökuntoon saattaminen.

Moottorin omaa jäähdytysjärjestelmää hyödyntämällä testaustulokset sisältävät jäähdytyksen aiheuttamat häviöt, jota voi pitää testauksen lopputulosten todenperäisyyden kannalta hyvänä asiana. Järjestelmän huonona puolena on, että jäähdyttimelle on jär-

jestettävä riittävä ilmavirran puhallus ja viileän jäähdytysilman saanti, mikä mutkistaa toimintaa huomattavasti.

Vesijäähdytteisen jarrun jäähdyttämiseksi testauksen on tapahduttava vesijohtoverkon läheisyydessä. Ominaisuus rajoittaa jonkin verran testausympäristön valintaa. Samalla on toki mahdollista käyttää jäähdytystornia tai vastaavan kaltaista vesijohtovedellä jäähdytettyä lämmönvaihdinta.

#### 4.3.4 Testaustapahtuman ohjaus ja tiedonkeruu

Vaikka Schenck W-150 onkin laitteistona vanhanaikainen, on siihen saatavissa päivityspaketteja, joiden avulla siitä voi kohtuullisin kustannuksin muokata nykypäivän vaatimukset täyttävän, täysin elektronisoidun testaustyökalun vaativiinkin testaustoimenpiteisiin.

Esimerkiksi hollantilainen Dynostar on myynyt vastaavaa käytettyä pyörrevirtajarrua ja päivityspakettia reilun 8 000 €:n hintaan (jarru 2 500 € + päivityspaketti 5 560 €), jota voi pitää melko edullisena. Tällöin toimivan dynamometrin lopulliset kustannukset olisivat alle 10 000 €.

Dynostarin Advanced Dyno Station Software (ADS) [10] pitää sisällään atk-ohjelmiston ja perusanturit tiedonkeruuta ja dynamometrin ohjausta varten, jolloin dynamometriä voi ohjata sähköisesti. Toinen vaihtoehto on Stuska Power Pro -tiedonkeruuohjelma, jollaista on käsitelty jo Stuska XS-19:n yhteydessä.

Kummassakaan tapauksessa ei tarvitse keksiä itse tiedonkeruusysteemejä. Testauksen lopputuloksen kannalta riittävän kattavaa tiedonkeruuta varten joutuu tosin ostamaan vielä muutamia kalliita antureita, jotta dynamometritestauksesta saadaan kaikki mahdollinen hyöty irti.

## 5 Toteutusehdotus

Edellä kuvatuista vaihtoehtoista toteuttamiskelpoisimmalta vaikuttaa Lappeenrannan teknillisen yliopiston Schenck W-150:n hankkiminen ja päivittäminen nykyaikaiset testatarpeet täyttäväksi. Peruslaitteena se on hyvä pohja modernille dynamometrille, vaikka se sellaisenaan onkin vanhanaikainen.

Dynamometri täytyy ehdottomasti päivittää elektronisella ohjausohjelmalla ja kunnollisella tiedonkeruujärjestelmällä, jotta siitä saadaan kaikki hyöty irti. Käytetyn laitteen modernisointi lienee tässä tapauksessa kustannuksiltaan edullisempaa kuin uuden laitteen hankkiminen samoilla ominaisuuksilla. Eteenkin kun koulun käytössä laitteen käyttötunnit tulevat olemaan autoteollisuuden ja moottoriurheilupiirien käyttöä vähäisemmät, ei dynamometrin tarvitse olla uusi.

Päivitysosia löytyy useilta eri valmistajilta, ja niistä voi koota oppilaitoksen tarpeisiin sopivan kokonaisuuden. Dynamometrin ohjauksen ja tiedonkeruuseen tarvittavia komponentteja löytyy ainakin SuperFlow'n, Stuskan ja Dynostarin valikoimista.

Päivityspaketin voi joko hankkia kokonaan yhdeltä valmistajalta tai osa kerrallaan eri toimijoilta. Yhden talon kanssa asioidessa voi lopullisten kustannusten suhteen olla paremmin neuvotteluvaraa. Tällöin myös laitteiden voisi olettaa sopivan yhteen ilman suurempia ongelmia.

## 6 Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet

Erilaisia vaihtoehtoja testilaitteiston toteuttamiseksi on markkinoilla runsaasti. Suurin ongelma on löytää laajasta tarjonnasta juuri oppilaitoksen tarpeita parhaiten palveleva kokonaisuus. Ennen lopullisten laite- ja komponenttivalintojen suorittamista on selvitettävä huolellisesti lopulliselta testauslaitteistolta vaaditut ominaisuudet ja käytössä oleva budjetti. Molemmat tekijät vaikuttavat osaltaan ratkaisevasti valintaan.

Työtä tehdessä kävi selväksi, että uudet testauslaitteistot myydään perusversioina joiden lisänä kaupataan lisävarustepaketteja asiakkaan tarpeiden mukaan. Tällöin kustannusvertailuja voi tehdä ainoastaan tilanteessa, että ensin selvittää itse millaisen ko-

konaispaketin tarvitsee ja vasta sen jälkeen tiedustelee eri laitevalmistajilta tarjouksia kyseiselle paketille. Tämän työn puitteissa tällainen toiminta ei ollut mahdollista, koska työn on tarkoitus olla valmisteleva eikä mitään laitteistolta vaadittavia ominaisuuksia ole vielä päätetty.

Uudelle laitteistolle on todellista tarvetta johtuen oppilaitoksen nykyisen SuperFlow-moottoridynamometrin kovasta käyttöasteesta ja sen kykenemättömyydestä mitata pienitehoisten moottoreiden ominaisuuksia.

Jatkonkannalta olisi tärkeää selvittää oppilaitoksen vaatimukset uudelle testauslaitteistolle, esimerkiksi, mitä asioita sillä halutaan testata ja millainen budjetti laitteen hankintaan on käytettävissä.

Seuraavana vaiheena on selvittää eri laitevalmistajien mahdollisuuksia toteuttaa laitteistolle oppilaitoksen tarpeidenmukaiset muutokset. Kun tiedetään erilaiset tarjotut toteuttamisvaihtoehdot ja niiden kustannukset, voidaan päättää mitä tietä asiassa lähdetään etenemään, jotta lopputuloksesta tulisi mahdollisimman hyvä ja se palvelisi oppilaitoksen käytössä pitkälle tulevaisuuteen.

Mikä ikinä lopullinen ratkaisu onkin, on sen täytettävä ainakin seuraavat kriteerit:

- Testausdynamometrin tulee olla kapasiteetiltaan riittävä tulevia projekteja varten ja myös tulevaisuuden tarpeet huomioiden.
- Laitteiston on oltava toiminnaltaan elektronisesti ohjattu.
- Mittausdataa tulee voida tallentaa ja tarkastella testauksen jälkeen.
- Laitteiston tulee olla kooltaan kompakti, mahdollisimman kevyt ja helposti siirreltävässä.
- Lopullisten kustannusten täytyy pysyä kohtuullisuuden rajoissa laitteen tulevat käyttötunnit huomioiden.

## Lähteet

- 1 SuperFlow Corporation. 1997. SF-901 Engine Dynamometer Systems.
- 2 SuperFlow Corporation. 1997. User Manual.
- 3 Indian Cars: new hot hatch war- VW Polo & Ford Figo.  
<[http://archive.autocarindia.com/autocar\\_forum/printer\\_friendly\\_posts.asp?TID=5364](http://archive.autocarindia.com/autocar_forum/printer_friendly_posts.asp?TID=5364)>. Luettu 18.4.2011
- 4 AC Electric Motor Dynamometers SuperFlow. Verkkodokumentti. SuperFlow Corporation.  
<[http://www.superflow.com/Dynamometers/Engine/eddy\\_current.html](http://www.superflow.com/Dynamometers/Engine/eddy_current.html)>. Luettu 18.4.2011
- 5 waterbrake.pdf. 2010. Stuska Water Brakes. Verkkodokumentti. Stuska Dynamometers - A division of Power Test, Inc.  
<<http://www.stuskadyno.com/pdf/waterbrake.pdf>>. Luettu 5.4.2011.
- 6 PowerPro.pdf. 2010. PowerPro Data Acquisition. Verkkodokumentti. Stuska Dynamometers - A division of Power Test, Inc.  
<<http://www.stuskadyno.com/pdf/PowerPro.pdf>>. Luettu 25.4.2011.
- 7 Wirbelstrombremse, Bauart: Schenck Leistungsbereich Größe W150. Tekijä ja ajankohta tuntemattomat.
- 8 schenck.pdf. Verkkodokumentti. Dynostar.  
<<http://www.dynostar.com/pdf/schenck.pdf>>. Luettu 23.2.2011. Julkaisuaikankohhta tuntematon.
- 9 bkm\_labor.pdf. Verkkodokumentti. Fachhochschule Giessen-Friedberg, Brennkraftmaschinen-Labor <[http://m12.fh-friedberg.de/m/lfvm/download/bkm\\_labor.pdf](http://m12.fh-friedberg.de/m/lfvm/download/bkm_labor.pdf)>. Luettu 5.4.2011.
- 10 adsen.pdf. Verkkodokumentti. Dynostar.  
<<http://www.dynostar.com/pdf/adsen.pdf>>. Luettu 8.4.2011. Julkaisuaikankohhta tuntematon.