



Jukka Kurikka

MOOTTORITESTISOLUN PÄIVITYS

MOOTTORITESTISOLUN PÄIVITYS

Jukka Kurikka
Opinnäytetyö
2.2.2011
Kone- ja tuotantotekniikka
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

| | | | | |
|---|---------------|--------|---|-----------|
| Koulutusohjelma | Opinnäytetyö | Sivuja | + | Liitteitä |
| Kone- ja tuotantotekniikka | Insinööriyö | 41 | + | 2 |
| Suuntautumisvaihtoehto | Aika | | | |
| Auto- ja kuljetustekniikka | 2011 | | | |
| Työn tilaaja | Työn tekijä | | | |
| Proventia Emission Control oy | Jukka Kurikka | | | |
| Työn nimi | | | | |
| Moottoritestisolun päivitys | | | | |
| Avainsanat | | | | |
| Moottoritestisolu, dynamometri, anturit | | | | |

Tämä opinnäytetyö on tehty Proventia Emission Control Oy:n Engine & Emission Laboratoryn osastolle. Työn aiheena on moottoritestisolun päivitys. Työlle annettiin tavoitteeksi paikantaa testisolun ongelmakohdat sekä luoda ehdotuksia tilanteen parantamiseksi.

Työssä määritellään testisoluun tarvittava ilmanvaihto ja pakokaasunpoisto sekä moottorin ja dynamometrin jäähdytys. Testisoluun sisältyvien mittausantureiden ja moottoridynamometriä toimintaperiaatteet sekä ominaisuudet käydään läpi. Valittiin komponentit, jotka mahdollistavat NRTC- ja NRSC-tasojen suorittamisen alle 300 kilowatin dieselmootoreilla.

Tuloksena hankittiin uusi 300 kilowatin pyörrevirtadynamometri ja ohjain sekä kaasuservo ja ohjain. Tarvittavat mittausanturit hyödynnettiin vanhasta sovelluksesta. Testisolun ilmanvaihto, pakokaasunpoisto ja tarvittava jäähdytysteho selvitettiin matemaattisesti, jotta testisolussa pystytään ajamaan dieselmootoreita aina 300 kilowattiin saakka. Tuloksien perusteella laboratorioon rakennetaan testisolu laitteineen, jonka avulla voidaan suorittaa tarvittavia pakokaasulainsäädännön sekä tuotekehityksen vaatimia testiajosyklejä.

ALKUSANAT

Opinnäytetyö on tehty Oulun seudun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön kone- ja tuotantotekniikan osastolle vuosien 2010 ja 2011 taitteessa. Työn toimeksiantaja oli Proventia Emission Control Oy.

Työn ohjaajana Oulun seudun ammattikorkeakoulun osalta toimi yliopettaja Mauri Haataja, jota kiitän tuesta ja luottamuksesta.

Proventia Emission Control Oy:n Engine & Emission Laboratorion puolesta työn valvojana toimi laboratorion päällikkö Toni Tikkinen. Kiitän häntä tilaisuudesta toteuttaa tämä opinnäytetyö sekä opettavaisen työskentelyympäristön luomisesta. Kiitän Proventia Emission Control Oy:tä sen suomasta mahdollisuudesta opinnäytetyön tekoon.

Oulussa 2.2.2011

Jukka Kurikka

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ALKUSANAT

SISÄLTÖ

KÄYTETYT SANAT JA LYHENTEET

| | |
|--|----|
| 1 JOHDANTO | 8 |
| 2 PROVENTIA | 9 |
| 2.1 Yleisesti | 9 |
| 2.2 Engine & Emission Laboratory | 11 |
| 3 LÄHTÖTIEDOT | 12 |
| 4 TESTAUSYMPÄRISTÖN SPESIFIOINTI | 13 |
| 4.1 Vaatimukset | 13 |
| 4.1.1 NRSC-testi | 13 |
| 4.1.2 NRTC-testi | 15 |
| 4.2 Testaustila | 18 |
| 4.2.1 Dynamometri | 18 |
| 4.2.2 Pyörrevirtadynamometri | 19 |
| 4.3 Mittalaitteet | 20 |
| 4.3.1 Lämpöanturit | 20 |
| 4.3.2 Paineanturit | 23 |
| 4.3.3 Virtausanturit | 25 |
| 4.3.4 Polttoaineen massa | 26 |
| 4.4 Ilmanvaihto | 27 |
| 4.5 Pakokaasunpoisto | 31 |
| 4.6 Jäähdytys | 32 |
| 5 TESTAUSLAITTEISTON HANKINTA | 36 |
| 5.1 Moottoridynamometri | 36 |
| 5.2 Kaasuservo ja ohjain | 39 |
| 6 YHTEENVETO | 40 |
| LÄHTEET | 41 |

LIITTEET

Liite 1. Ilmanvaihdon tekniset tiedot

Liite 2. Pakokaasunpoistopuhaltimen tekniset tiedot

KÄYTETYT SANAT JA LYHENTEET

| | |
|-----------|--|
| AC | Vaihtovirta |
| DC | Tasavirta |
| ISO | Kansainvälinen standardisoimisjärjestö (International Organization for Standardization) |
| NRSC | Työkoneiden vakioilmainen testisykli |
| NRTC | Työkoneiden muuttuvatilainen testisykli |
| Termopari | Lämpöanturi |

1 JOHDANTO

Koneiden ja laitteiden yhä kovenevat päästörajoitukset ovat luoneet tarpeen pakokaasujen puhdistusjärjestelmille koneille ja laitteille, kuten ajoneuvoihin, voimalaitoksiin sekä laivoihin. Ongelman muodostavat näiden koneiden ja laitteiden paakokaasuissa ilmastoa saastuttavat pienhiukkaset ja kaasut. Proventia, yritys jolle opinnäytetyö on tehty, suunnittelee ja valmistaa järjestelmiä ja ratkaisuja edellä mainittujen ongelmien poistamiseen.

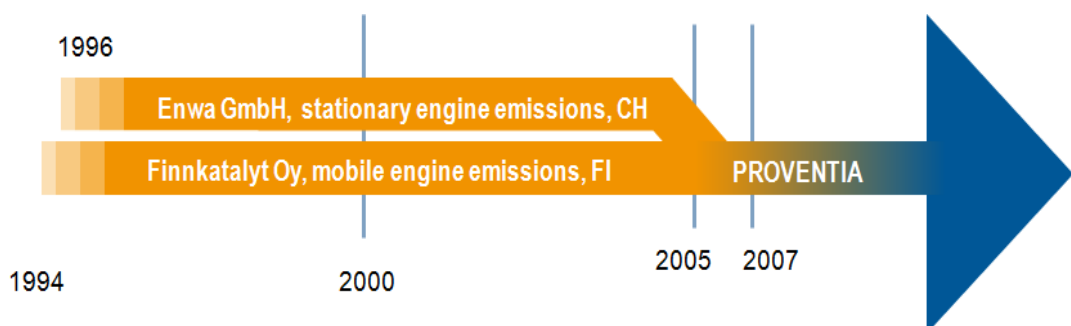
Tiukentuvat päästörajoitukset vaativat tarkat laboratorio-olosuhteet, joissa uusia tuotteita testataan ja kehitetään. Työssä määritellään ja paikannetaan testilaboratorion kehityskohteet sekä luodaan toimintasuunnitelma näiden toteuttamiseksi.

Moottoridynamometrin avulla kuormitetaan ajoneuvosta irrallaan olevaa moottoria. Tällöin voidaan mitata pakokaasunpäästöjä sekä muita suureita, esimerkiksi vääntöä, kierroslukua, pakoputkiston vastapainetta, lämpötiloja ja polttoaineenkulutusta.

2 PROVENTIA

2.1 Yleisesti

Vuonna 2001 perustetun Proventia Groupin muodostavat suomalainen Proventia Emission Control Oy, joka aiemmin toimi nimellä Finnkatalyt Oy sekä sveitsiläinen Proventia GmbH, joka aiemmin toimi nimellä Enwa GmbH. Finnkatalyt Oy ja Enwa GmbH on perustettu vuonna 1994. Yhtiöt yhdistyivät vuonna 2007 ja muodostivat Proventia Group Oy:n Emission Control – liiketominna (kuva 1). Vuonna 2009 Proventia Group perusti oman yhtiön myös Yhdysvaltoihin Proventia Americas LLC:n. Yhtiön toimialaan kuului aiemmin myös tuotantoteknologiaa, mutta vuodesta 2008 lähtien yhtiö on keskittynyt yksinomaan ympäristöteknologiaan ja erityisesti pakokaasujen puhdistusteknologiaan. Tänä päivänä Proventia Emission Control Oy on yksi johtavista pakokaasunpuhdistuslaitteiden, -ratkaisujen sekä -palveluiden toimittajista. Yritys toimittaa puhdistuslaitteita työkoneisiin, ajoneuvoihin, voimalaitoksiin ja laivoihin. Proventia Emission Control Oy:lla on toimipisteet Suomessa, Sveitsissä ja Yhdysvalloissa. Lisäksi yrityksellä on käytössä kattava jälleenmyyjien ja yhteistyökumppaneiden verkosto. (1.)



KUVA 1. Yrityksen historia (1)

Proventia Emission Control Oy:n päätoimipiste sijaitsee Oulunsalossa, jossa työskentelee noin 40 henkeä. Oulunsalon toimipiste keskittyy palvelemaan työkone- ja ajoneuvoteollisuuden asiakkaita (kuva 2).



KUVA 2. Proventia, Oulunsalo (1)

Proventia Groupin Sveitsin yhtiö, Proventia GmbH, toimittaa puhdistuslaitteita voimalaitoksiin ja laivoihin. Proventian USA:n toimisto, Proventia Americas LLC edustaa kummankin Euroopan toimipisteen tuotteita. (1)

Proventian valmistamat pakokaasun puhdistusjärjestelmät poistavat vähintään 90 % pakokaasun pienhiukkasista ja haitallisista kaasuista. Asiakaslähtöinen toimintatapa mahdollistaa vaatimusten ja tarpeiden täyttämisen kulloisten päästövaatimusten mukaan. Lisääntyneet päästövaatimukset varsinkin taajama-alueilla lisäävät kysyntää pakokaasujen puhdistusjärjestelmille.

2.2 Engine & Emission Laboratory

Proventian Engine & Emission Laboratoryn testausyksikössä on kaksi moottoritestisolua, jotka on varustettu erikokoisilla moottoridynamometreilla ja pakokaasuanalysaattoreilla. Testisolu 1 on varustettu 470 kW:n moottoridynamometrillä ja testisolu 2 puolestaan 75 kW:n dynamometrillä. Kummatkin testisolut käyttävät yhteisiä pakokaasuanalysaattoreita. Kokonaisuutta ohjataan automaatiojärjestelmällä, joka mahdollistaa esimerkiksi näytteenottopisteen valinnan ohjelmallisesti.

Laboratorion tehtävänä on tutkia pakokaasun puhdistamiseen liittyviä eri ilmiöitä, testata komponentteja sekä suorittaa kokonaisien järjestelmien verifiointimittauksia. Näistä saadaan suunnitteluun ja tuotekehitykseen tarvittavia tietoja. Testauspalveluita toimitetaan myös erillisille ulkopuolisille asiakkaille, kuten komponentti- ja ajoneuvovalmistajille.

Oma laboratorio varmistaa kilpailukyvyn jatkuvasti kehittyvillä pakokaasun-puhdistusmarkkinoilla tuottamalla luotettavaa mittaustietoa ilman välikäsiä. Nopea reagointi mittaustarpeisiin mahdollistaa tuotteiden testaamisen reaaliajassa, joka nopeuttaa tuotekehityksen läpimenoaikaa.

3 LÄHTÖTIEDOT

Moottoritestisolu 2 kehitetään uusia tarpeita vastaavaksi. Testisolussa tulisi pystyä ajamaan NRSC- ja NRTC-syklien taseisia testejä, joiden avulla voidaan todeta, että testattavat tuotteet saavuttavat vaaditut päästörajoitukset. Tuloksena saadun g/kWh-lukeman toistotarkkuus tulee olla vähintään $\pm 2\%$. Testisolu 2:n 75 kW:n dynamometri on liian pieni momentin tuotoltaan työkoneen dieselmoottorille, koska se ei pysty tuottamaan vääntöä yli 200 newtonmetriä. Sen tilalle hankitaan uusi noin 300 kW:n dynamometri, jonka täytyy ylittää momentin tuotoltaan 1200 newtonmetriin saakka. Uusi dynamometri täydentää mahdollisuutta ajaa moottoreita mahdollisimman laaja-alaisesti sekä lisää laboratorion kapasiteettia. Koska Testisolu 1:n 470 kW dynamometri on soveltumaton transienttitestaukseen pienillä moottoreilla sen korkean inertian vuoksi, tulee uuden dynamometrin hankinnassa ottaa huomioon soveltuvuus pienille dieselmoottoreille.

Testisolu on aikaisemmin mitoitettu 200 kilowatin tehoille. Tässä työssä selvitetään soveltuvuus 300 kilowatin tehoille. Olemassa olevia mittalaitteita pyritään hyödyntämään mahdollisuuksien mukaan.

4 TESTAUSYMPÄRISTÖN SPESIFIOINTI

4.1 Vaatimukset

4.1.1 NRSC-testi

NRSC-testi (Non-Road Steady Cycle) on työkoneiden vakiotilainen testisykli, joka muodostuu useista nopeus- ja vääntömomenttitaloista, jotka kattavat dieselmoottoreiden tyypillisimmät käyttöolosuhteet. NRSC-sykli perustuu ISO 8178 C1 -standartiin. Testisykli sisältää kahdeksan eri testipistettä eli moodia. Jokaisen moodin aikana määritetään teho, pakokaasun virtaus sekä kaasupäästön pitoisuus. Mitatut arvot painotetaan painotuskertoimen mukaan (taulukko 1). Päästöjen määrät lasketaan grammoina kilowattituntia kohti. NRSC-testissä otetaan vain yksi hiukkasnäyte, joka laimennetaan puhtaalla ilmalla. (2, s.17.)

TAULUKKO 1. NRSC-testipisteet (2, s. 20)

| Moodin numero | Moottorin kierrosnopeus | Kuormitus | Painotuskerroin |
|---------------|-------------------------|-----------|-----------------|
| 1 | Nimellisopeus | 100 | 0,15 |
| 2 | Nimellisopeus | 75 | 0,15 |
| 3 | Nimellisopeus | 50 | 0,15 |
| 4 | Nimellisopeus | 10 | 0,10 |
| 5 | Välinopeus | 100 | 0,10 |
| 6 | Välinopeus | 75 | 0,10 |
| 7 | Välinopeus | 50 | 0,10 |
| 8 | Joutokäynti | — | 0,15 |

Dynamometrin vaatimukset

Testeissä käytetään moottoridynamometriä, jonka ominaisuudet riittävät edellä mainitun NRSC-testisyklin suorittamiseen. Vääntömomentin ja pyörintänopeuden mittauslaitteilla voidaan mitata teho standardin määrittelemissä rajoissa. Moottorin pyörimisnopeus sekä vääntömomentti tulee olla $\pm 2\%$ lukemasta tai $\pm 1\%$ moottorin enimmäisarvosta riippuen siitä, kumpi on suurempi. (2, s. 30.)

Tarkkuus

Kaikkien mittauslaitteiden kalibroinnin on perustuttava kansallisiin tai kansainvälisiin standardeihin. Kalibroinnissa noudatetaan taulukossa 2 esitettyjä NRSC-standardin asettamia vaatimuksia. (2, s. 32.)

TAULUKKO 2. NRSC-syklin vaatimukset (2, s. 32)

| Nro | Mittauslaite | Tarkkuus |
|-----|----------------------------|---|
| 1 | Moottorin pyörimisnopeus | $\pm 2\%$ lukemasta tai $\pm 1\%$ moottorin enimmäisarvosta riippuen siitä, kumpi on suurempi |
| 2 | Vääntömomentti | $\pm 2\%$ lukemasta tai $\pm 1\%$ moottorin enimmäisarvosta riippuen siitä, kumpi on suurempi |
| 3 | Polttoaineenkulutus | $\pm 2\%$ moottorin enimmäisarvosta |
| 4 | Ilman kulutus | $\pm 2\%$ lukemasta tai $\pm 1\%$ moottorin enimmäisarvosta riippuen siitä, kumpi on suurempi |
| 5 | Pakokaasuvirta | $\pm 2,5\%$ lukemasta tai $\pm 1,5\%$ moottorin enimmäisarvosta riippuen siitä, kumpi on suurempi |
| 6 | Lämpötilat ≤ 600 K | ± 2 K absoluuttinen arvo |
| 7 | Lämpötilat > 600 K | $\pm 1\%$ lukemasta |
| 8 | Pakokaasun paine | $\pm 0,2$ kPa absoluuttinen arvo |
| 9 | Imuilman alipaine | $\pm 0,05$ kPa absoluuttinen arvo |
| 10 | Ilmanpaine | $\pm 0,1$ kPa absoluuttinen arvo |
| 11 | Muut paineet | $\pm 0,1$ kPa absoluuttinen arvo |
| 12 | Absoluuttinen kosteus | $\pm 5\%$ lukemasta |
| 13 | Laimennusilman virta | $\pm 2\%$ lukemasta |
| 14 | Laimennettu pakokaasuvirta | $\pm 2\%$ lukemasta |

4.1.2 NRTC-testi

NRTC-testi (Non-Road Transient Cycle) on työkoneiden muuttuvatilainen testisykli, joka perustuu liikkuviin työkoneisiin asennettujen moottoreiden käyttöolosuhteisiin. Testisykli suoritetaan kaksi kertaa. Ensimmäisellä kerralla suoritetaan kylmäkäynnistys ja toisella kerralla kuumakäynnistys. (2, s. 18.)

Ennen kylmäkäynnistystä moottori on ollut jäähtyneenä huoneen lämpöiseksi. Tällöin myös moottorin jäähdytysnesteen ja -öljyn, jälkikäsitteilyjärjestelmien, apumoottorijärjestelmien sekä kaikkien apumoottorin valvontalaitteiden lämpötilat ovat vakiintuneet 20 - 30 °C. (2, s. 18.)

Kuumakäynnistyksessä moottori ja sen oheislaitteet, kuten ilmanvaihto ja pakokaasupoistopuhallin ovat sammutettuna 20 minuutin ajan kylmäkäynnistysyökin päättymisen jälkeen. (2, s. 18.)

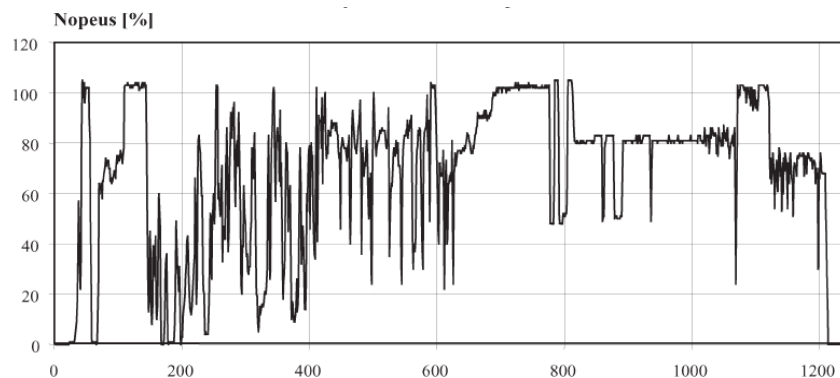
Kylmä- ja kuumatestisyökin aikana mitataan pakokaasupäästöjen määrät. Dynamometriltä saatavia moottorin vääntömomentin ja kierrosnopeuden signaaleja käytetään tehon integroimiseksi suhteessa syökin aikaan, jolloin tulokseksi saadaan moottorin syökin aikana tekemä työ. Kaasumaisten ainesosien pitoisuus syökin aikana määritetään raakapakokaasusta. (2, s. 18.)

Hiukkaspäästöistä kerätään suhteellinen näyte laimennetusta pakokaasusta eriteltyyn suodattimeen joko osavirtauslaimennuksella tai täysvirtauslaimennuksella. Käytetystä menetelmästä riippuen joko laimennetun tai laimentamattoman pakokaasun virtaus syökin aikana määritetään mitattavien aineiden massapäästöarvojen laskemiseksi. Massapäästöarvot suhteutetaan moottorin työhön pilaavan aineen päästön määrittämiseksi grammoina kilowattituntia kohti. Päästöt (g/kWh) mitataan sekä kylmäkäynnistuksen että kuumakäynnistuksen aikana. (2, s. 18.)

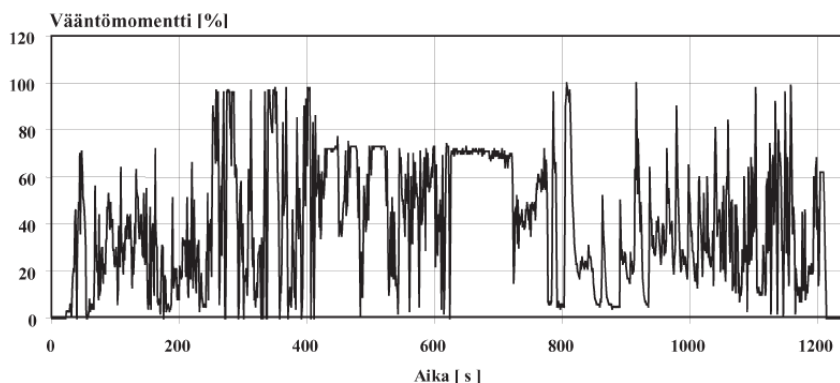
Yhdistetyt ja painotetut päästöt lasketaan painottamalla kylmäkäynnistyksen tuloksia 10 prosentilla ja kuumakäynnistyksen tuloksia 90 prosentilla. Painotetun yhdistelmätuloksen on täytettävä standardeissa asetetut normit. (2, s. 18.)

Dynamometrin vaatimukset

NRTC-testeissä käytetään moottoridynamometriä, jonka ominaisuudet riittävät kuvien 2 ja 3 testisyklin suorittamiseen. Vääntömomentin ja pyörimisnopeuden mittausrakenteilla on pystyttävä mittaamaan teho ilmoitetuissa rajoissa. Moottorin pyörimisnopeus sekä vääntömomentti tulee olla ± 2 % lukemasta tai ± 1 % moottorin enimmäisarvosta riippuen siitä, kumpi näistä on suurempi. (2, s. 37.)



KUVA 2. Nopeuskuvaaja (2, s. 78)



KUVA 3. Vääntömomenttikuvaaja (2, s. 78)

Muut laitteet

Seuraavia oheislaitteita käytetään tarpeen mukaan ja näiden laitteiden tulee olla taulukossa 3 ilmoitettujen vaatimusten mukaisia (2, s. 37):

- polttoaineen kulutus- ja lämpömittari
- ilman massamittari
- jäähdytys- ja voiteluaineen lämpötilamittari
- pakokaasun painemittari
- imuilman alipainemittari
- pakokaasun ja imuilman lämpötila- ja kosteusmittari.

TAULUKKO 3. NRTC-syklin vaatimukset (2, s. 37)

| Nro | Mittauslaite | Tarkkuus |
|-----|----------------------------|---|
| 1 | Moottorin pyörimisnopeus | $\pm 2\%$ lukemasta tai $\pm 1\%$ moottorin enimmäisarvosta riippuen siitä, kumpi on suurempi |
| 2 | Vääntömomentti | $\pm 2\%$ lukemasta tai $\pm 1\%$ moottorin enimmäisarvosta riippuen siitä, kumpi on suurempi |
| 3 | Polttoaineenkulutus | $\pm 2\%$ moottorin enimmäisarvosta |
| 4 | Ilman kulutus | $\pm 2\%$ lukemasta tai $\pm 1\%$ moottorin enimmäisarvosta riippuen siitä, kumpi on suurempi |
| 5 | Pakokaasuvirta | $\pm 2,5\%$ lukemasta tai $\pm 1,5\%$ moottorin enimmäisarvosta riippuen siitä, kumpi on suurempi |
| 6 | Lämpötilat ≤ 600 K | ± 2 K absoluuttinen arvo |
| 7 | Lämpötilat > 600 K | $\pm 1\%$ lukemasta |
| 8 | Pakokaasun paine | $\pm 0,2$ kPa absoluuttinen arvo |
| 9 | Imuilman alipaine | $\pm 0,05$ kPa absoluuttinen arvo |
| 10 | Ilmanpaine | $\pm 0,1$ kPa absoluuttinen arvo |
| 11 | Muut paineet | $\pm 0,1$ kPa absoluuttinen arvo |
| 12 | Absoluuttinen kosteus | $\pm 5\%$ lukemasta |
| 13 | Laimennusilman virta | $\pm 2\%$ lukemasta |
| 14 | Laimennettu pakokaasuvirta | $\pm 2\%$ lukemasta |

4.2 Testaustila

Moottorin testaustila sisältää erilaisia laitteita, antureita ja toimintoja. Tärkeimmät komponentit testisolussa on ilmanvaihto, jäähdytys, pakokaasunpoisto sekä melun eristys.

4.2.1 Dynamometri

Valittaessa oikeaa dynamometriä testisoluuun tulee huomioida dynamometrin vaatimukset, jotka on esitetty aiemmin tässä työssä. Tyypillisimmät käytössä olevat dynamometrit ovat

- vesidynamometri
- hydraulidynamometri
- DC- ja AC-dynamometrit
- pyörrevirtadynamometri.

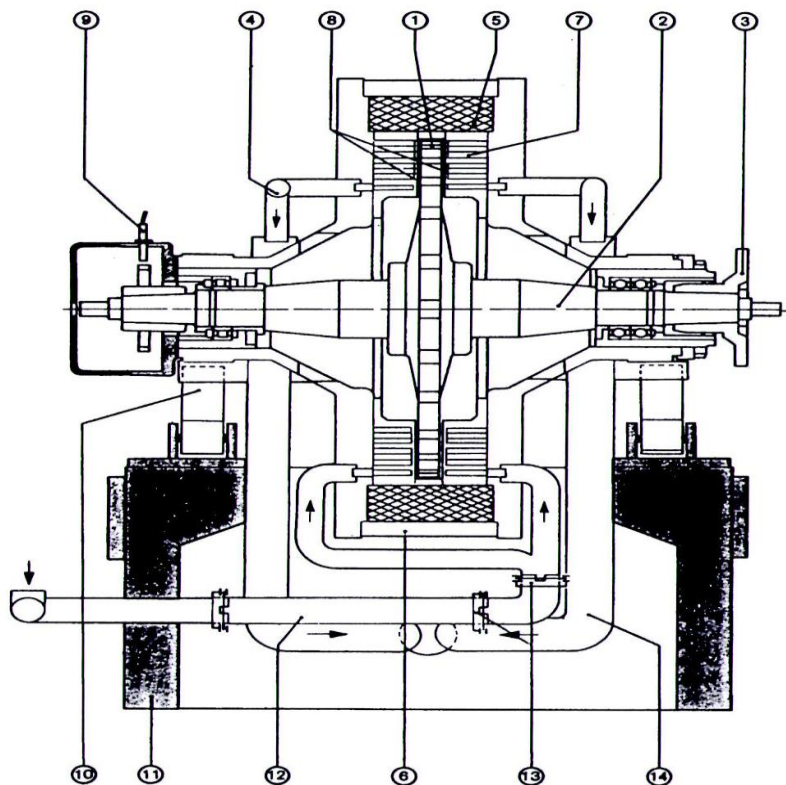
Vesidynamometrin hyviä puolia ovat vankka rakenne ja halpa hinta sekä mahdollisuus ylikuormittaa. Huonoina puolina vesidynamometriä on vaikea ohjata automaattisesti ja se on hidas reagoimaan. Hydraulidynamometri on hyvä korkeilla kierroksilla, mutta sillä on huonot ominaisuudet matalilla kierroksilla.

DC-dynamometri pystyy nopeisiin kuormituksen muutoksiin ja sillä voidaan tuottaa negatiivista momenttia eli pyörittää testimoottoria. Tämä mahdollistaa myös moottorijarrutuksen simuloinnin. Huonoina puolina ovat kallis hinta sekä korkea inertia. AC-dynamometrillä on muuten samat ominaisuudet kuin DC-dynamometri, mutta sillä on hyvänä puolena vielä matala inertia. Sekä DC- että AC-dynamometrit on helposti ohjattavissa tietokoneella. Näiden huono puoli on erittäin suuren suoran sähkövirran tarve. Esimerkiksi 300 kW:n tehontarve tarkoittaa yli 700 ampeerin virran kulutusta. Tämä aiheuttaa erittäin suuret investointikulut sähkönsyötön rakentamiseen. (3, s. 123)

Pyörrevirtadynamometri sallii nopeat kuormituksen muutokset ja on helposti ohjattavissa tietokoneella. Huonoina puolina pyörrevirtadynamometri vaatii tarkan jäähdytyksen. Koska työkonien moottori- ja päästötesteissä ei tarvitse simuloida moottorijarrutuksia, on pyörrevirtadynamometri usein kustannustehokkain ratkaisu.

4.2.2 Pyörrevirtadynamometri

Pyörrevirtadynamometrin toiminta perustuu magneettikenttään sekä sen sisällä pyörivään hammastettuun raulalevyyn. Magneettikenttä tuotetaan yhdellä tai useammalla käämillä, ja se kiertää kehää rautaisen ulkovaipan ansiosta. (Kuva 4.)



KUVA 4. Pyörrevirtadynamometri: 1 roottori, 2 akseli, 3 kiinityslaiippa, 4 veden ulostulo, 5 käämit, 6 runko, 7 jäähdytys kenno, 8 ilmaväli, 9 RPM-anturi, 10 rungon kiinnike, 11 alusta, 12 veden sisäänmeno, 13 liitos, 14 veden ulostuloputki (3, s. 125)

Vaikka magneettikentän tuottaminen ei vaadi paljoa sähkötehoa, siirtyä jarrutettava teho kokonaisuudessaan lämmöksi jarrun ulkovaippaan. Tästä syystä dynamometriä täytyy jäähdyttää vedellä. Rakenne on kestävä, koska siinä ei ole kahta laakeria lukuun ottamatta mekaanisesti kuluvia osia. (3, s. 123)

Dynamometriä ohjataan säätelemällä käämien sähkötehoa. Siksi pyörrevirtadynamometri mahdollistaa nopeat kuormituksen muutokset sekä moottorin jarruttamisen pienillä kierroksilla. (3, s. 124.)

4.3 Mittalaitteet

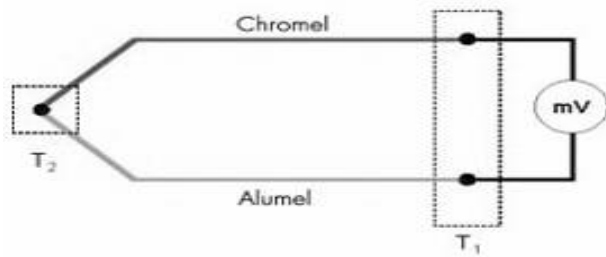
Mittauslaitteita ja instrumentointijärjestelmiä käytetään ilmaisemaan, muuntamaan, välittämään, tallentamaan, ohjaamaan ja säätämään fysikaalisia suureita. (4, s. 12.)

4.3.1 Lämpöanturit

Lämpötila on fysiikassa ja kemiassa tunnettu tilasuure. Se määrittää materiaalien olomuodon ja kemialliset reaktiot. Lämpötilan SI-yksikkö on kelvin (K). $0\text{ °C} = 273,15\text{ K}$. (4, s. 85.)

Termopari

Termoparin toiminta perustuu termosähköiseen ilmiöön eli Seebeckin ilmiöön. Kytkenään sisältäessä kahta eri materiaalia syntyy lankojen välille potentiaaliero, joka on verrannollinen lämpötilaeroon kuumen liitoksen lämpötilan T_1 ja vertailupisteen T_2 välillä. (Kuva 5.)



KUVA 5. Termoparin toimintaperiaate (5)

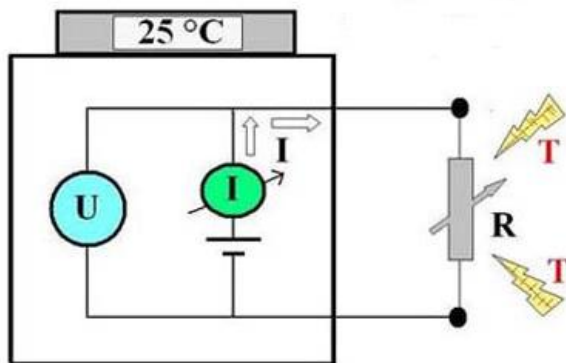
Syntyvä jännite on riippuvainen käytetystä materiaaliparista ja suuruusluokkaa $10 - 100 \mu\text{V}/\text{K}$. Liitokset muuntavat myös kääntäen sähköenergiaa lämpöenergiaksi; liitoskohdassa kulkeva virta generoi liitoksen läpi lämpövirran. Tätä ilmiötä kutsutaan Peltierin ilmiöksi. Lämpötilan mittauksissa se aiheuttaa mittausvirheen, jonka hallitsemiseksi auttaa, kun mittausvirta pidetään pienenä. (4, s. 87)

Koska termoparimittauksessa saadaan mitattavan ja vertailulämpötilan erotukseen verrannollinen jännite, vertailulämpötila T_2 on tärkeää pitää stabiilina. Vertailupisteessä voidaan käyttää tarkkaa termostaattia. Vaatimattomissa sovellutuksissa vertailupiste voi olla myös huoneenlämpötilassa. (4, s. 88.)

Nykyisin käytetään usein sähköistä kompensointirasiaa. Siinä termojännitteen vertailupistekorjaus suoritetaan täysin sähköisesti lisäämällä saatuun termojännitteeseen jännite, joka vastaa vertailulämpötilan poikkeamaa siitä vertailuarvosta, jolle mittari on kalibroitu. Korjaus tehdään vastussillalla, jonka yhdessä haarassa olevan vastuksen resistanssi riippuu lämpötilasta. Tämä silta on tasapainossa tavallisesti $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa. Silta on mitoitettu niin, että kompensointirasian lämpötilan muuttuessa silta syöttää mittauspiiriin jännitteen, joka vastaa lämpötilan poikkeamaa $20 \text{ }^\circ\text{C}$:sta. (4, s. 88.)

Vastusanturit

Vastusanturit ovat metallista valmistettuja antureita, joiden resistanssin lämpötilariippuvuuden avulla saadaan mitattua lämpötila, eli resistanssi suurenee lämpötilan kasvaessa (kuva 6). Varsinainen tuntoelin on ohut metallilanka, jonka resistanssi muuttuu lämpötilan mukaan. Tavallisimmin käytetyt metallit ovat platina ja nikkeli, joskus myös kupari. (4, s. 90.)



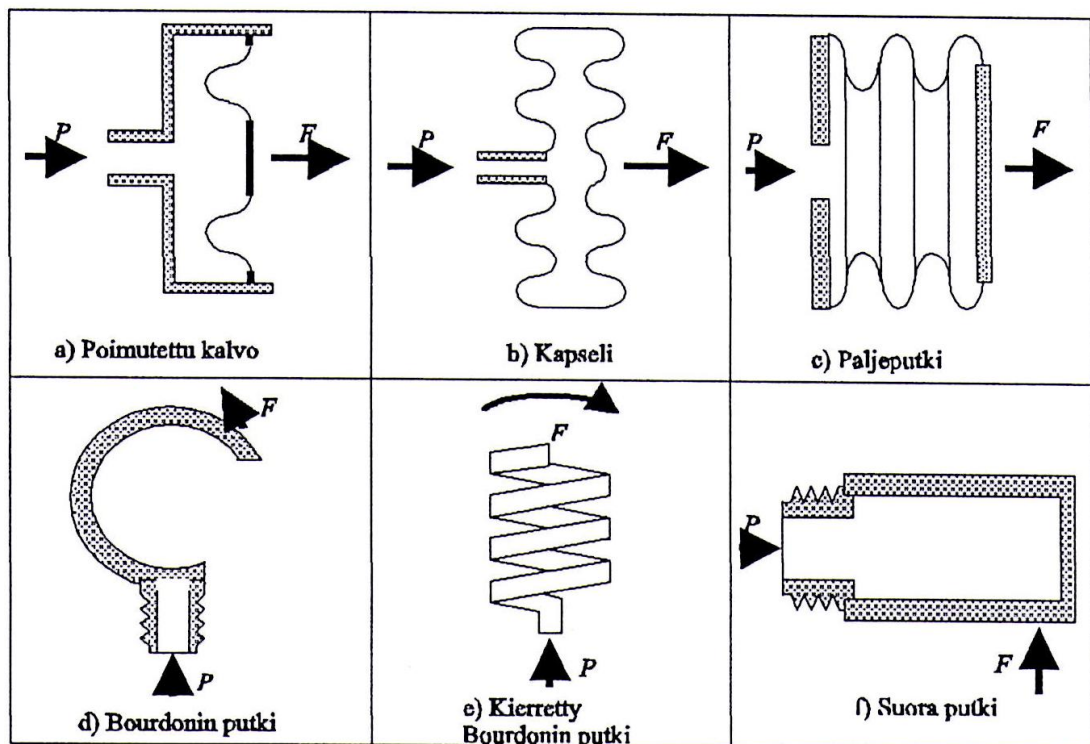
KUVA 6. Vastusanturin toimintaperiaate (6)

Yleisimmin käytetään platinavastusta, jonka resistanssi 0 °C lämpötilassa on 100 Ω. Se tunnetaan yleisesti nimellä Pt 100. Pt 100 - anturin mittaus alue on -250 ... +850 °C, erikoisrakenteisena aina 1 000 °C:seen. Sen käyttökelpoista lämpötila-aluetta on kyetty laajentamaan ylöspäin parempien vaippamateriaalien ansiosta. Suurissa lämpötiloissa platina-anturin käyttöä rajoittavat suojavaipan lämpöliikkeiden aiheuttamat muutokset platinalankaan, jolloin sen resistanssiin tulee pysyviä muutoksia. Pt 100 on tarkin lämpötila-anturi etenkin pitkäaikaisen stabiiliutensa puolesta. (4, s. 91.)

4.3.2 Paineanturit

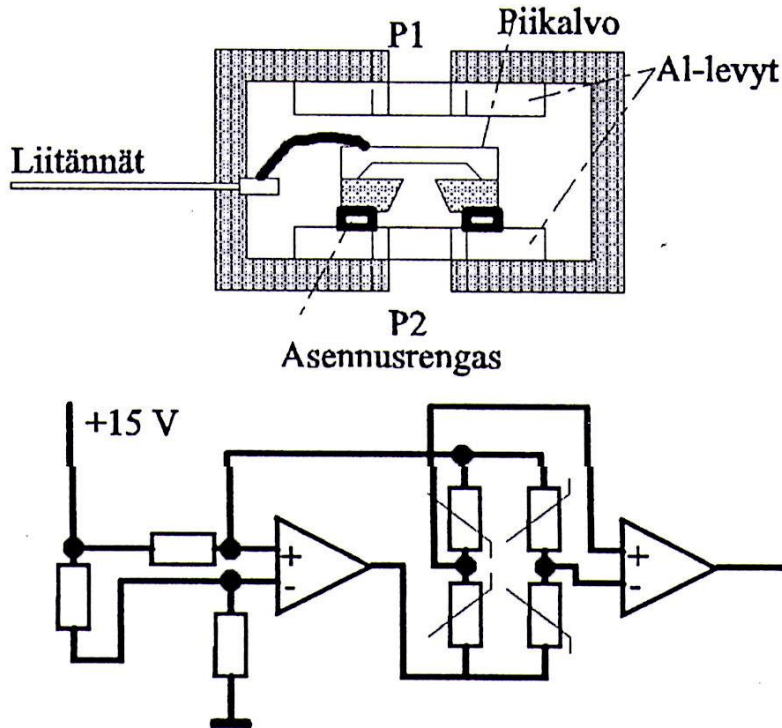
Paine on suure, joka kuvaa nestemäisen tai kaasumaisen aineen aiheuttamaa voimavaikutusta sitä rajoittavaa seinämää kohtaan. Se lausutaan voimana pinta-ala yksikköä kohti, joten paineen SI-yksikkö on $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$ (Pascal). Käytännössä käytetään myös SI:n ulkopuolelle jätettyä yksikköä baari (bar), joka on 10^5 Pa . Yhdysvalloissa on vielä käytössä tuumajärjestelmän yksikkö psi (naula neliötuumaa kohti), joka on suunnilleen baarin viidestoistaosa. (4, s. 92.)

Useimmat paineen tuntoelimet ovat muokkaintyyppisiä ja kimmoiseen muodonmuutokseen perustuvia (kuva 7). Tällaiset anturit soveltuvat hyvin paikalliseen osoittaviin mittareihin. (4, s. 92.)



KUVA 7. Tyypillisimmät paineen tuntoelimet (4, s. 93)

Sähköistä signaalia halutessa tuntoelimeen on liitettävä materiaalin jännitystä muuntava venymäliuska tai siirtymää tunnusteleva kapasitiivinen tai induktiivinen anturi. Integroitua piiriä soveltavasta paineanturista on kuvan 8 esittämä rakenne. Siinä on tuntoelimenä muokkaintyyppinen kalvo, johon on sijoitettu puolijohdevenymäliuskat ja integroitu vahvistin Näiden avulla muodostetaan lähtösignaali. (4, s. 92 - 93.)



KUVA 8. Piiteknologiaa soveltava paineanturi (4, s. 93)

4.3.3 Virtausanturit

Nestemäisen ja kaasumaisen aineen virtausmittauksen avulla voidaan hallita siirrettäviä ainemääriä, esimerkiksi polttoainemittauksissa myös energiamääriä. Mittauksissa käytetään mitattavien aineiden ja olosuhteiden vaihteluista johtuen monenlaisia antureita. (4, s. 94.)

Nesteiden virtausantureina käytetään pääsääntöisesti turbiini- sekä siipipyörävirtausantureita. Mittaussignaali voidaan saada tunnustelemalla roottorin ja siipipyörän pyörimisliikettä muodostamalla tästä pulsseja ja muuntamalla näistä edelleen tarvittava signaali. Turbiinianturin epätarkkuus on 0,3 - 1 % ja siipipyöräantureiden 2 - 5 %. Kummankin anturin mittausalue on hyvin laaja. Turbiiniantureita on saatavissa 25 - 1 000 mm putkille ja siipipyöräantureiden putkikoot ovat yleensä alle 100 mm. (4, s. 95.)

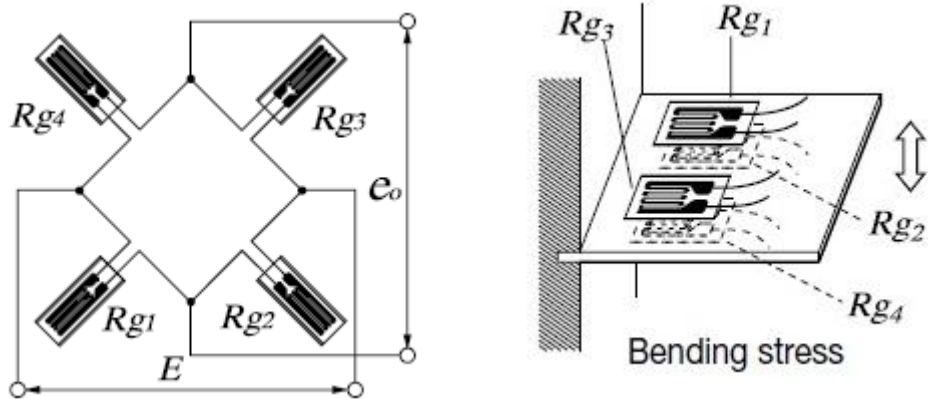
Induktiivinen eli magneettinen virtausanturi antaa suoraan sähköisen signaalin. Anturissa on magnetointikäämi, jolla mittausputkeen synnytetään magneettikenttä. Signaali muodostetaan tunnustelemalla elektroneilla virtaavaan aineeseen indusoitunutta jännitettä. Koska jännite on pieni, sitä on vahvistettava. Mittaustarkkuus on n. 0,5 % hyvin laajalla alueella. Anturi on hyvin kemiallisesti kestävä ja hyvin monenlaisia epäpuhtauksia sietävä. (4, s. 96.)

4.3.4 Polttoaineen massa

Polttoaineen massan mittaamiseen voidaan käyttää erilaisia menetelmiä. Tyypillisimpiä on vaaka ja virtaus.

Yleisimmät punnitusanturit muuntavat voiman mittaussignaaliksi sen synnyttämän muodonmuutoksen perusteella. Tällaisena tuntoelintyyppinä tarkastellaan lähemmin venymäliuskaa. Venymäliuskassa sovelletaan langan resistanssin muutosta, jonka langan muodonmuutos aiheuttaa. Liuskoista saadaan signaali tavallisimmin käyttämällä Wheatstonen siltakytkentää. (4, s. 104.)

Jos liuskat kyketään toisiinsa kuten kuvassa, saadaan aikaan pelkästään taivutusvoimaa mittaava anturi (kuva 9). Koska muuten kuin taivuttamalla kuormittaessa liuskojen vastuksien muutokset kumoavat toisensa, ei anturi havaitse muuta kuin taivutusvoimaa. Muuttamalla liuskojen kytkentää sekä mekaanista kiinnitystä saadaan anturi, joka mittaa haluttua voimaa.



KUVA 9. Wheatstonen silta (7)

Virtausantureita käytettäessä saadaan polttoaineen massavirta laskettua kaavalla 1 (8, s. 99).

$$q_m = \rho Av$$

KAAVA 1

ρ = nesteen tai kaasun tiheys

A = poikkipinta-ala

v = virtausnopeus

4.4 Ilmanvaihto

Ilmanvaihto mitoitetaan moottorin, pakoputkiston ja dynamometrin aiheuttamien säteilylämpö tehojen sekä moottorin tarvitseman ilmamäärän perusteella.

Moottorin ja pakoputkiston sekä dynamometrin lämmön tuotto

Kaikki kappaleet säteilevät pinnaltaan lämpö energiaa. Energia on peräisin atomien ja molekyylien lämpöliikkeestä. Tällainen lämpösäteily on tuttua vaikkapa sähkölämmittimestä. Huoneenlämpötilan tienoilla kappaleen emittoima energia on infrapuna-alueella. Aallon pituus on niin pitkä, että se on silmille näkymätöntä. (9, s. 419.)

Säteilyteho riippuu pinnan luonteesta. Pinnan keskimääräinen emissiivisyys ε on suhdeluku välillä 0...1. Mustalle pinnalle emissiivisyys on 1, muille tätä pienempi. Emissiivisyys on lähellä ykköstä myös maalatuilla pinnoilla. (9, s. 419.)

Moottorin pintalämpötila on 80 °C ja testisolun lämpötila on 25 °C. Lämmön säteily teho lasketaan kaavalla 2 (9, s. 420).

$$P = \varepsilon \sigma A (T^4 - T_0^4)$$

KAAVA 2

ε = emissioaste

σ = Stefan Boltzmannin vakio

A = pinta-ala

T = kappaleen lämpötila

T_0 = ympäristön lämpötila

Moottorin pinta-ala on 1,9 m² ja mustalla moottorilla emissioaste on 1, joten lämmön säteily teho saadaan kaavalla 2.

$$P = 1 \times 5,67 \times 10^{-8} \text{ W / (m}^2 \times \text{K}^4) \times 1,9 \text{ m}^2 \times (353^4 - 298^4) \text{ K}^4 = 828,2 \text{ W}$$

RST-pakoputkiston emissioaste on 0,2. Lämmön säteily teho lasketaan käyttämällä 600 °C pintalämpötilaa ja putken koko on 100 x 3 000 mm, jonka pinta-ala on 0,94 m². Lasketaan kaavalla 2.

$$P = 0,2 \times 5,67 \times 10^{-8} \text{ W / (m}^2 \times \text{K}^4) \times 0,94 \text{ m}^2 \times (873^4 - 298^4) \text{ K}^4 = 6107,5 \text{ W}$$

Dynamometri on maalattu ja muoto on umpinainen lieriö halkaisijaltaan 672 mm ja paksuudeltaan 210 mm, eli pinta-ala on 1,15 m². Emissio-kerroin on 1. Maksimi pintalämpötilan ollessa 60 °C, lasketaan lämmön säteily teho kaavalla 2.

$$P = 1 \times 5,67 \times 10^{-8} \text{ W / (m}^2 \times \text{K}^4) \times 1,15 \text{ m}^2 \times (333^4 - 298^4) \text{ K}^4 = 287,6 \text{ W}$$

Kokonaislämpöteho saadaan laskemalla edellä mainitut tehot yhteen.

$$828,2 \text{ W} + 6107,5 \text{ W} + 287,6 \text{ W} = 7223,3 \text{ W}$$

Vaadittava ilmanvaihto

Testisolu ei ole varustettu ilmastointilaitteella, joten ilman massavirta tulee olla tarpeeksi suuri siirtämään tuotetun lämpötehon ulkoilmalla. Tarvittavaan jäähdytysilmaan lisätään vielä moottorin tarvitsema imuilman massa. Lämpötehon vaatima massavirta lasketaan kaavalla 3.

$$q_m = \frac{P}{c_p \times \Delta T} \quad \text{KAAVA 3}$$

P = lämpöteho

c_p = ominaislämpökapasiteetti

ΔT = lämpötilaero

Imuilman massavirta lasketaan kaavalla 4.

$$\dot{m}_a = P \times \frac{b}{1000} \times \lambda \times M_o \quad \text{KAAVA 4}$$

b = ominaiskulutus

λ = ilmakerroin

M_o = palamisilman tarve

Vaadittava ilmanvaihto lasketaan 20- °C:teisen ulkoilman ja 25- °C:teisen sisäilman perusteella, joten lämpötilaero on 5 °C. Lämpötehon vaatima massavirta lasketaan kaavalla 3.

$$q_m = \frac{7223,3 \text{ J/s}}{1001 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times 5^\circ\text{C}} = 1,44 \text{ kg/s} = 5196 \text{ kg/h}$$

Imuilman massavirta lasketaan 300 kilowatin dieselmoottorin mukaan. Laskentatiedot otetaan taulukoista 4 ja 5. Imuilman massavirta lasketaan kaavalla 4.

$$\dot{m}_a = 300 \text{ kW} \times \frac{225 \text{ g/kWh}}{1000} \times 1,7 \times 14,5 = 1663,9 \text{ kg/h}$$

TAULUKKO 4. Ominaiskulutusarvot (10, s. 3)

| Moottorityyppi | Työkierro | Toimintatapa | Ominaiskulutus Ahtamaton | Ahdettu |
|---|------------|--------------|-----------------------------|-----------|
| Nopeakäyntiset kulkuneuvomoottorit: | | | | |
| Henkilöauton moottorit | otto 4-t | | 350...250 | 380...280 |
| " | diesel 4-t | 4-t | 320...240 | 290...240 |
| " | otto 2-t | 2-t | 475...380 | - |
| Kuorma-autojen ja traktorien moottorit | | | | |
| diesel 4-t | | | 250...210 | 230...205 |
| välijäähdytetty | | | | |
| | diesel 2-t | | 225...195 | " |
| | | | 260...245 | 250...230 |
| Veturimoottorit: | | | | |
| | diesel 4-t | | 245...225 | 225...205 |
| Laiva- ja voimalaitosmoottorit: nopeak. | | | | |
| diesel 4-t | | | 250...225 | 240...210 |
| " 2-t | | | 240...220 | |

TAULUKKO 5. Ilmakerroinarvot (10, s. 4)

| Moottorityyppi | Työkierro | Ahtamaton | λ | Ahdettu |
|---|-----------|-------------------|-----------|--------------|
| Henkilöautomoottorit: | | | | |
| " | otto | 0,80...1,0 | | 0,9...1,0 |
| " | diesel | 1,2 ... 1,3 | | 1,4...1,6 |
| Kuorma-autojen ja työkoneiden moottorit | | | | |
| | diesel | 1,3 ... 1,5 | | 1,7 2,0 |
| Voimalaitos- ja laivamoottorit | | | | |
| " | diesel | nopeak. 1,6...1,8 | | 1,8 ... 2,1 |
| " | " | hidask. - | | 2,3 ... 2,6 |

Kokonaismassavirta on $5196 \text{ kg/h} + 1663,9 \text{ kg/h} = 6859,9 \text{ kg/h} = 0,77 \text{ m}^3/\text{s}$.

Liitteestä 1 käy ilmi, että ilmanvaihto on riittävän tehokas myös tässä sovelluksessa.

4.5 Pakokaasunpoisto

Pakokaasunpoisto tulee olemaan suljettu järjestelmä. Pakokaasunpoisto puhallin pitää riittää poistamaan pakokaasut aiheuttamatta vastapainetta. Pakokaasun massavirta koostuu polttoaineen massavirrasta sekä imuilman massavirrasta.

Polttoaineenmassavirta lasketaan kaavalla 5.

$$\dot{m}_f = \frac{P \times b}{1000} \quad \text{KAAVA 5}$$

Kun teho ja ominaiskulutus tiedetään, lasketaan polttoaineenmassavirta kaavalla 5.

$$\dot{m}_f = \frac{300kW \times 225g/kWh}{1000} = 75kg/h$$

Imuilmanmassavirta lasketaan kaavalla 4.

$$\dot{m}_a = P \times \frac{b}{1000} \times \lambda \times M_o = 300kW \times \frac{225g/kWh}{1000} \times 1,7 \times 14,5 = 1663,9kg/h$$

Pakokaasun massavirta lasketaan kaavalla 6.

$$\dot{m}_e = \dot{m}_a + \dot{m}_f \quad \text{KAAVA 6}$$

$$\dot{m}_e = 1663,9kg/h + 75kg/h = 1738,9kg/h$$

Pakokaasun tilavuusvirta lasketaan kaavalla 7.

$$q_v = \frac{q_m}{\rho}$$

KAAVA 7

$$q_v = \frac{1738,9 \text{ kg/h}}{\left(\frac{1,2943 \text{ kg/m}^3 + 273 \text{ K}}{673 \text{ K} - 20 \text{ K}} \right) \times 3600 \text{ s}} = 0,90 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Toisessa testisolussa on 470 kW:n pyörrevirtajarru, joka käyttää samaa pakokaasunpoistopuhallinta. Tässä testisolussa maksimipakokaasun-tilavuusvirtaus on 1,41 m³/s. Kokonaistilavuusvirtauksen tarve on 2,31 m³/s.

Testisolussa on Fläktwood Gtlb-1-063-6-11-00 -merkkinen Yksi-imuaukkoinen radiaalipuhallin, jonka lämmön kesto on 400-celsiusastetta kahden tunnin ajan. Liitteestä 2 käy ilmi, että poistopuhaltimen teho riittää myös uudessa sovelluksessa.

4.6 Jäähdytys

Tarkistetaan tehojen riittävyys laskuilla testisolussa jo oleville lämmönvaihtimille. Tässä laboratorion kehitysprojektissa lämmönvaihtimet mitoitetaan 300 kilowatin turboahdetulle kuusisylinteriselle dieselmoottorille.

Moottorin jäähdytys

Moottorissa syntyvä lämpöenergia lasketaan taulukon 6 perusteella.

$$300 \text{ kW} \times 0,4 = 120 \text{ kW}$$

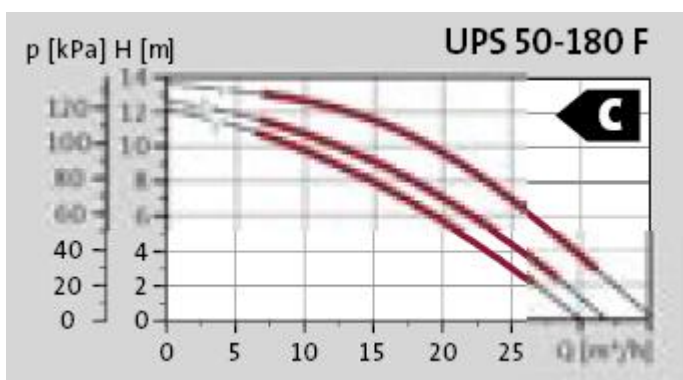
TAULUKKO 6. Energiatasapaino (3, s. 92)

| | <i>Automotive gasolene</i> | <i>Automotive diesel</i> | <i>Medium speed heavy diesel</i> |
|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Power output | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Heat to cooling water | 0.9 | 0.7 | 0.4 |
| Heat to oil cooler | | | 0.05 |
| Heat to exhaust | 0.9 | 0.7 | 0.65 |
| Convection and radiation | 0.2 | 0.2 | 0.15 |
| Total | 3.0 | 2.6 | 2.2 |

Testisolussa jo oleva lämmönvaihdin riittää 200 kilowattiin saakka, joten se riittää myös uudessa sovelluksessa.

Dynamometrinjäähdytys

Dynamometrissä muuttuu lämmöksi 300 kW, joten tarvittava siirtopumpun tilavuusvirta sekä lämmönvaihtimen teho saadaan laskettua käyttämällä kyseistä arvoa. Kuvassa 10 ilmenee pumpun tilavuusvirta (m³/h) suhteessa pumppauskorkeuteen. Dynamometrin ja pumpun korkeusero on 3,2 m, joten suurin tilavuusvirta on tällöin 32 m³/h. Pumpun tilavuusvirta säädetään taajuusmuuttajalla.



KUVA 10. Pumpun ominaisuudet (11, s. 10)

Pumpulta vaadittava massavirta lasketaan kaavalla 3.

$$q_m = \frac{P \times 1000}{c_p \times \Delta T} = \frac{300 \text{ kW} \times 1000}{4186 \text{ J/kgK} \times 30 \text{ K}} = 2,39 \text{ kg/s}$$

Pumpulta vaadittava tilavuusvirta lasketaan kaavalla 7.

$$q_v = \frac{q_m}{\rho} = \frac{2,39 \text{ kg/s}}{998 \text{ kg/m}^3} = 0,00239 \text{ m}^3/\text{s} = 8,62 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tilavuusvirrasta käy ilmi, että jo käytössä oleva pumppu riittää myös uudessa sovelluksessa.

Dynamometrin jäähdytys putkistot mitoitettiin veden tilavuusvirran ja 1 m/s virtausnopeuden mukaan.

Jäähdytysputkiston halkaisija lasketaan kaavalla 8.

$$q = vA \Rightarrow A = \frac{q}{v} = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4q}{v\pi}} \quad \text{KAAVA 8}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0,00239 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s} \times \pi}} = 0,055 \text{ m} = 55 \text{ mm}$$

Jäähdytysputkisto joudutaan uusimaan, koska käytössä oleva putkisto on 32 mm paksua.

Lämmönvaihtimelle tulevan veden lämpötilaa voidaan säätää lämmitysjärjestelmästä, jolloin saadaan aikaisempi 200 kilowatin lämmönvaihdin vaihdettua 300 kilowattiseksi muuttamalla ensiöpuolen lämpötilaa. Lasketaan kaavalla 9.

$$\Delta T = \frac{P \times 1000}{c_p \times q_v}$$

KAAVA 9

$$\Delta T = \frac{300 \text{ kW} \times 1000}{4186 \text{ J/kgK} \times 2,48 \text{ dm}^3/\text{s}} = 29^\circ\text{C}$$

Tyypikyltissä (kuva 11) ensiöpuolen lämpötilaero on 21 °C, joten muutetaan lämpötilaa 8 °C pienemmäksi.

| | | ENSIÖ | TOISIO |
|------------------------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|
| VALMISTAJA | | Oy Danfoss Ab Leppävirta | |
| LÄMMÖNSIIRIN | | LÄMMITYS | |
| MALLI/KOODI | | XB 51-70H/70H | |
| VALMISTUSNRO/VUOSI | | 42413/2007 | |
| TEHO | kW | 200 | |
| TILAVUUSVIRTA | | dm³/s | dm³/s |
| | | 2,48 | 2,20 |
| LÄMPÖTILAT | | °C | °C |
| | | 34 - 55 | 80 - 38 |
| PAINEHÄVIÖ | | kPa | kPa |
| | | 15 | 12 |
| TILAVUUS | | L | L |
| | | 14,70 | 14,49 |
| SUURIN SALLITTU KÄYTTÖPAINE | | bar | bar |
| | | 16 / 16 | |
| SUURIN SALLITTU LÄMPÖTILA | | °C | °C |
| | | 180 | |
| ALIN SALLITTU LÄMPÖTILA | | °C | °C |
| | | -10 | |

CE
0041

Danfoss
0403 092 200
Valmistettu Suomessa

PROVENTIA HOUSE / DIESEL JÄÄHDNO2

KUVA 11. Lämmönsiirtimen tyypikyltti

5 TESTAUSLAITTEISTON HANKINTA

Testauslaitteisto ei ole tavallinen hankinta, sillä se ei ole myytävä tai valmistettava tuote vaan käyttöomaisuutta. Testauslaitteisto luetaan investointihankinnaksi ja siitä luotiin investointiehdotus. Investointihankinta vaatii erityistä harkintaa ja sen vuoksi niistä laaditaan takaisinmaksusuunnitelmat. Testauslaitteiston hankinta vaatii johdon hyväksynnän ja se on sidottu projektiin ja sen aikatauluun.

Tarvemäärittely ja laitevalinta suoritettiin yhdessä Engine & Emission Laboratory:n päällikön Toni Tikkinen kanssa. Hankittavia laitteita ovat pyörrevirtadynamometri ja kaasuservo ohjaimineen, voimansiirtoakseli ja sen suoja, testipenkin runko sekä moottorin kiinnitykseen tarvittavat komponentit. Hinta tulee olemaan noin 120 000 euroa. Tässä osiossa keskitytään seuraavien komponenttien valintaan:

- moottoridynamometri
- kaasuservo
- ohjaimet.

5.1 Moottoridynamometri

Vesi- ja hydraulidynamometrit eivät sovellu transienttitestisykliin, joten ne eivät ole sopivia tähän testisoluun. Vaikka AC-dynamometri on teknisiltä ominaisuuksiltaan parempi kuin pyörrevirtadynamometri, päädyttiin moottoridynamometrin hankinnassa pyörrevirtadynamometriin sen riittävien teknisten ominaisuuksien sekä kokonaiskustannuksien vuoksi.

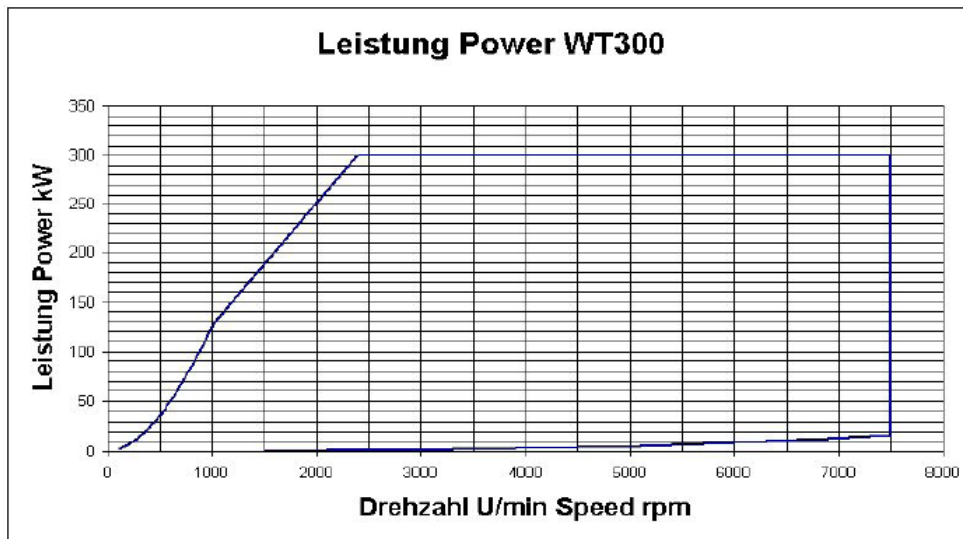
Pyörrevirtadynamometria hankittaessa oli toimittajavaihtoehtoina kaksi toimittajaa Horiba ja AVL. Näihin toimittajiin päädyttiin, koska ne ovat entuudestaan tuttuja sekä laadukkaiksi havaittuja huippuluokan osaajia. Molemmilta toimittajilta pyydettiin tarjoukset, jotka sisälsivät myös tarkat tekniset tiedot. Näiden toimittajien käyttäminen on perusteltua myös siksi että ne pystyvät toimittamaan myös kokonaisratkaisuja. Horiban pyörrevirtadynamometri ja ohjain. (Kuva 12.)



KUVA 12. Horiba-pyörrevirtadynamometri ja -ohjain

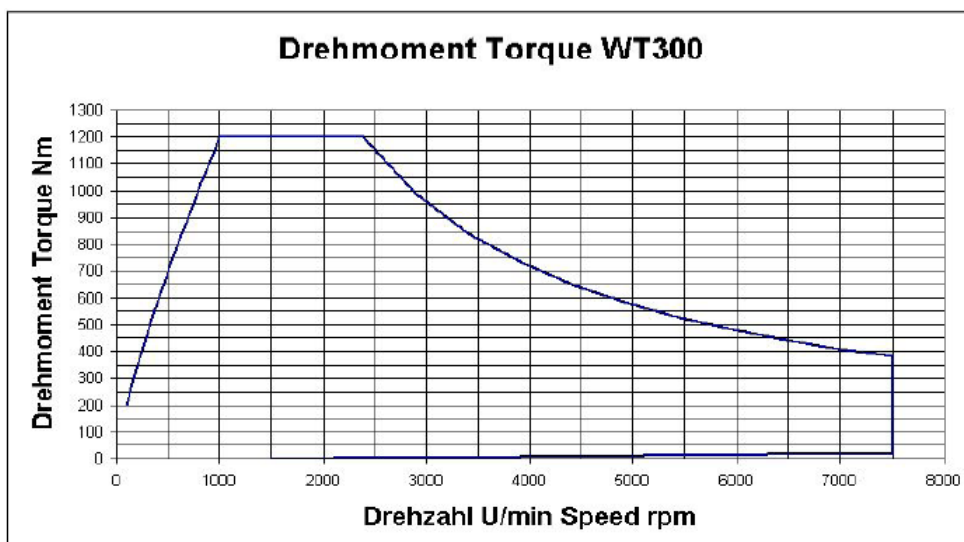
Tarkkoja dynamometriä hintatietoja ja teknisiä arvoja ei tässä työssä kerrota, koska ne eivät ole julkista tietoa. Päädyttiin dynamometrejä vertaillen Horiban WT300 -pyörrevirtadynamometriin, jonka maksimitehonkesto on 300 kW. Päätökseen vaikutti suurelta osin dynamometrin pieni inertia verrattuna AVL:än pyörrevirtadynamometriin, josta johtuen NRTC-testisyklin suorittaminen onnistuu helposti.

Horiban tehokuvaajasta nähdään, että dynamometri soveltuu hyvin työkoneneiden dieselmootoreille. (Kuva 13.)



KUVA 13. Horiba WT300:n tehokuvaaja

Vääntökuvaajasta selviää dynamometrin hyvät ominaisuudet matalilla kierroksilla, koska dynamometri pystyy tuottamaan 1 200 newtonmetriä jo 1 000 kierroksen kohdalla. Horiban WT300 -pyörrevirtadynamometri sopii erittäin hyvin laboratorion käyttötarkoitukseen. (Kuva 14.)



KUVA 14. Horiba WT300:n vääntökuvaaja

5.2 Kaasuservo ja ohjain

Kaasuservon hankinnassa päädyttiin samaan toimittajaan kuin pyörrevirtadynamometreissakin johtuen pääosin siitä, että saatiin pakettitarjous. AVL:n kaasuservopaketti olisi ollut yhtä hyvä. Kummankin toimittajan kaasuservot ovat nopealiikkeisiä ja pystyy tarkkaan asema säädön hallintaan. (Kuva 15.)



KUVA 15. Horiban kaasuservo ja ohjain

6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli selvittää jo olemassa olevan moottoritestisolun soveltuvuus korkeammille tehoille sekä vaatimuksille. Työssä keskityttiin lähinnä testisolun moottorin ja dynamometrin jäähdytykseen, ilmanvaihtoon, pakokaasunpoistoon, anturointiin sekä dynamometriin. Tuloksena moottorin ja dynamometrin jäähdytys saatiin sovellettua laskelmien ja muutosten avulla käyttökelpoisiksi kasvaneille tehoille.

Lämpötilan mittaukseen termoparilla on riittävä tarkkuus, joten niitä ei uusita. Polttoaineen massan määrittämiseen käytössä oleva Wheatstonen siltaan perustuva venymäliuskavaaka on tarkkuudeltaan riittävä, joten myös tätä käytetään uudessa sovelluksessa.

Pakokaasunpoisto oli aikaisemmin mitoitettu niin suureksi, ettei se vaatinut toimenpiteitä. Ilmanvaihto riittää niin hyvin kuin mahdollista ilman ilmastointia, joten kuumana kesäpäivänä ei pääse tavoitelämpötilaan. Tätä on tulevaisuudessa kehitettävä ilmastoinnilla.

Valittu moottoridynamometri sekä muut laitteet soveltuvat ominaisuuksiltaan monen tehoisten moottoreiden pakokaasumittauksiin aina 300 kW:iin saakka. Tämä ominaisuus täydentää erittäin hyvin toista testisolua, joka ei sovellu pienille moottoreille sen suuren inertian vuoksi.

LÄHTEET

1. Company presentation_2011.ppt. Proventia Emission Control Oy.
2. Euroopan Unionin virallinen lehti L225 2004.
3. Plint, Michael – Martyr, Anthony 1999. Engine Testing Theory and Practice. 2. painos. Oxford: Butterworth – Heinemann.
4. Aumala, Olli 2002. Mittaustekniikan perusteet. 11. korjattu painos. Helsinki: Hakapaino Oy.
5. Termopari. Saatavissa: <http://www.scienceprog.com/k-type-thermocouples-reviewed/>. Hakupäivä 26.1.2011
6. Vastusanturi. Saatavissa: <http://www.all-about-ph.com/pt1000-temperature.html>. Hakupäivä 26.1.2011
7. Wheatstonen silta. Saatavissa: <http://www.straintech.fi/pdf/bridge.pdf>. Hakupäivä 22.1.2011.
8. Mäkelä, Mikko – Soininen, Lauri – Tuomola Seppo – Öistämö Juhani 2005. Tekniikan kaavasto. 5. uudistettu painos. Hämeenlinna: Karisto Oy.
9. Inkinen, Pentti – Tuohi, Jussi 2006. Momentti 1. 4. painos. Keuruu: Otava.
10. Haataja, Mauri 2008. T332103 Polttomoottoritekniikka 1, luennot 3 op. Opintojakson oppimateriaali keväällä 2008. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
11. UPS WebCaps_version_low.pdf. Proventia Emission Control Oy.

ROOFMASTER Plus EC

STEC-5

Äänitiedot

| Äänite | Pyörimisnopeusalue | Korjauskertoimen K_{kor} (dB) | | | | | | | |
|-------------|--------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| | | Oktaavikaista, keskitäajuus (Hz) | | | | | | | |
| | | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Ympäristöön | 0-1532 | -1 | 7 | 3 | -2 | -7 | -13 | -16 | -17 |
| Ympäristöön | 1533-1950 | -7 | -5 | 6 | -2 | -9 | -15 | -18 | -22 |
| Kanavaan | 0-1532 | 2 | 18 | 11 | 3 | 2 | 1 | -6 | -10 |
| Kanavaan | 1533-1950 | -6 | -3 | 12 | 2 | -1 | -3 | -7 | -12 |

Huippuimurin A-painotettu äänen kokonaistehotaso ympäristöön, L_{WA} , saadaan puhallinkäyrästä. Korjauskertoimet oktaavikaistoittain luetaan ylläolevasta taulukosta. Äänen tehotaso kanavaan tai ympäristöön oktaavikaistoittain (ilman A-painotusta) lasketaan alla olevan kaavan mukaan.

$$L_{Wkkt} = L_{WA} + K_{kor}$$

Äänenpainetaso ja etäisyysvaimennus

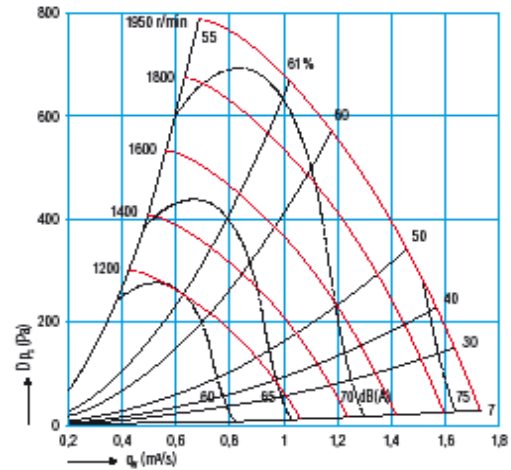
| Etäisyys L (m) | 1 | 3 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 |
|---------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Vaimennus ΔL (dB) | 7 | 17 | 22 | 28 | 31 | 34 | 36 | 37 | 40 |

Kokonaissäänenpainetaso ympäristöön voidaan arvioida eri etäisyyksille allaolevan kaavan mukaan.

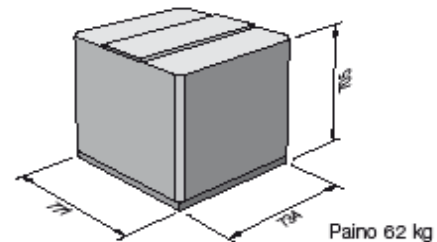
$$L_{PA} = L_{WA} - \Delta L$$

Moottoritiedot

| Tyyppi | Moottori 3 x 400 V, 50 Hz | | | |
|------------------|---------------------------|---------|--------------|-----------------|
| | Kierrosnopeus r/min | Teho kW | Max. virta A | Max. taajuus Hz |
| STEC-5-001-c-1-0 | 1800 | 1.3 | 1.2 | 97.5 |



Mittapiirros



- Huippuimuri** STEC-5-001-c-1-0
 Koko _____
 Moottori
 0 = 3-vaihesyöttöinen, 3 x 400 V _____
 01 = juokseva numerointi _____
 c = 1, maalipinnoitettu, sinkitty teräslevy, musta _____
 c = 2, Al/Zn -pinnoitettu teräslevy _____
 Pyörimisnopeudensäädin sisältyy puhaltimeen _____
 Painesäädin STYZ-01-10-1-1 _____
 Lämpötila-anturi STYZ-01-11-0-1 _____
 Potentiometri STYZ-01-51-c-1 _____
 1 = 1 kOhm, koko 3-5 _____

- Äänieristetty kattoläpivienni** BOGA-05-b-c-1
 Sulkupelti
 1 = on _____
 2 = ei _____
 Korkeus
 1 = 980 mm EI30 _____
 2 = 1250 mm EI30 _____
 Turvakytin SAFE-1-b-0
 1 = kytkettyinä kaapelin päässä _____
 Huom! Jos toimitus sisältää painesäätimen STYZ-01-10-1-1, valitse SAFE-2-b-0 _____
 Asennuskehys MORA-5-2
 Ilmavirran mittaus FLOW-5-b-0
 Rakenne
 1 = vakio _____
 2 = maalattu, musta _____

Centrimaster GT-1

TUOTELUETTELO

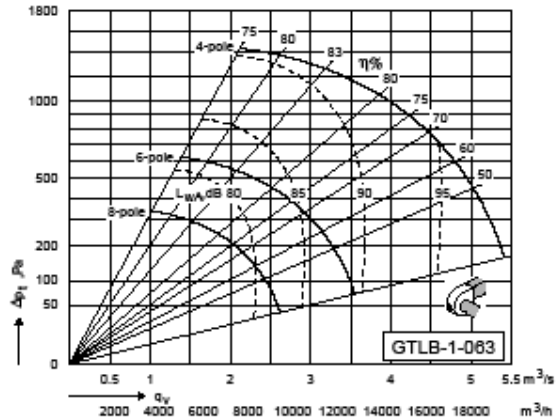
Puhallinkäyrästä - Äänitiedot - GTLB-1-063

Suorakäyttöinen, yksi-imuaukkoinen, taaksepäin kaartuvat siivet

Pyörän halkaisija: 630 mm



Ainoastaan GTLB on saatavissa palokaasunkestävänä rakenteena



Äänitiedot

Puhallinkäyrästä on annettu painepuolen A-painotettu äänen kokonaistehotaso LWA kun puhallin on liitetty kanavaan (imu- ja paineaukko). Taulukossa on annettu korjauskertoimet. Jako oktaavikaistoihin ja ääniteihin saadaan seuraavan kaavan avulla:

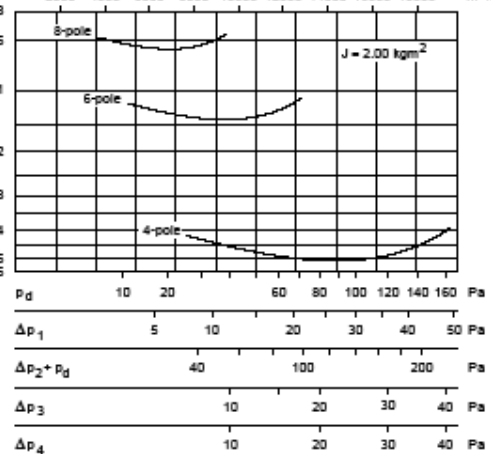
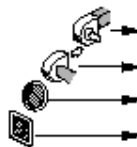
$$L_{wOkt(s)} = L_{WA} + K_{Okt(s)}$$

johon K_{Okt} saadaan taulukosta. Kunkin äänitien A-painotettu äänen tehotaso saadaan seuraavalla kaavalla:

$$L_{WA(s)} = L_{WA} + [L_{WA(s)} - L_{WA}]$$

johon korjauskertoimen $L_{WA(s)} - L_{WA}$ saadaan taulukosta. Taulukosta saadaan myös korjauskertoimen $L_{wt(s)} - L_{WA(s)}$ jota käytetään kunkin äänitien äänen kokonaistehotason laskemiseen:

$$L_{wt(s)} = L_{WA(s)} + [L_{wt(s)} - L_{WA(s)}]$$



| Äänitie (s) | Pyörimisnopeusalue r/min | Korjaus K _{Okt} , dB | | | | | | | | L _{WA(s)} dB | L _{WA(s)} - L _{WA} dB |
|---|-----------------------------|-------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|--------------------------|---|
| | | Oktaavikaista, keskiarvo, Hz | | | | | | | | | |
| | | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | | |
| Paineakanavaan (1) | 0 - 815 | -5 | 3 | 0 | -5 | -4 | -8 | -14 | -17 | 0 | 6,3 |
| | 816 - 1500 | -6 | -4 | 1 | -5 | -4 | -8 | -14 | -17 | 0 | 4,5 |
| Imukanavaan (2) | 0 - 815 | -4 | 3 | 0 | -7 | -3 | -9 | -11 | -14 | 0,3 | 6,1 |
| | 816 - 1500 | -5 | -4 | 1 | -8 | -3 | -9 | -13 | -14 | 0 | 4,5 |
| Ympäristöön vapain läpi (kanavaan liitetty puhallin (3)) | 0 - 815 | -13 | -6 | -7 | -10 | -9 | -14 | -22 | -32 | -5,7 | 4,6 |
| | 816 - 1500 | -14 | -11 | -7 | -10 | -9 | -14 | -22 | -32 | -5,8 | 3,5 |
| Puhaltimen paine- aukkoon, vapaasti puhaltava puhallin (4) | 0 - 815 | -12 | 0 | -1 | -5 | -4 | -8 | -14 | -17 | -0,2 | 4,7 |
| | 816 - 1500 | -13 | -7 | 0 | -5 | -4 | -8 | -14 | -17 | -0,2 | 3,6 |