

MOOTTORIDYNAMOMETRI

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Kone- ja tuontantotekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyö
Kevät 2011
Antti Auvinen

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka

AUVINEN, ANTTI

Moottoridynamometri

Mekatroniikan opinnäytetyö, 28 sivua, 4 liitesivua

Kevät 2011

TIIVISTELMÄ

Työskennellessäni Koiviston Auto – konsernin keskusvarastolla kesäisin ammattikorkeakouluopintojen lukukausien välissä, todettiin keskuskorjaamolla tarve laitteelle, jolla kunnostettuja moottoreita voitaisiin koeajaa ennen alustaan asennusta. Alunperin oli tarkoitus valmistaa yksinkertainen ja kustannuksiltaan mahdollisimman edullinen teline, jossa moottoreita voitaisiin koeajaa ilman kuormaa. Suunnittelun alkuvaiheessa heräsi kuitenkin ajatus jonkinlaisen jarrun liittämistä kokoonpanoon, jolloin myös moottorin ahtopainetta päästäisiin havainnoimaan. Tarkoitukseen löytyi sopiva Schenck-merkkinen hydraulinenjarru mekaanisine mittalaitteineen ja moottoripukkeineen. Käytännössä tämän jälkeen tehon mittamatta jättämiselle ei enää ollut perusteita, joten lopullista laitetta voidaan kutsua moottoridynamometriksi.

Ajanpuutteen vuoksi jouduin kuitenkin rajaamaan opinnäytetyön aiheeksi moottoridynamometrin suunnittelutyön ja itse toteutus siirtyi tulevaisuuteen. Suunnittelun lähtökohdat määrittyivät näin ollen hankitun jarrun ja moottoripukin ympärille. Laitetta suunniteltaessa kiinnitettiin huomiota varastossa jo valmiiksi oleviin komponentteihin ja raaka-aineisiin, joita voitaisiin hyödyntää projektissa. Tarvittavia osia etsittäisiin myös mahdollisuuksien mukaan käytettyinä. Näin toimimalla on pyrittiin alentamaan kokoonpanoon kuluja kustannuksia.

Avainsanat: Moottoridynamometri

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

AUVINEN, ANTTI

Engine dynamometer

Bachelor's Thesis in Mechatronics

28 pages, 4 appendices

Spring 2011

ABSTRACT

The central storage of the Koiviston Auto group needed equipment which would be suitable to test an engine before it is assembled to a chassis, which became the topic for this bachelor's thesis. At the beginning it was supposed to be a simple and cheap rack, which would allow engines to be run without load. After the designing was started, an idea arose of combining some kind of brake to the assembly, which would allow inspection of engines charge air. For this purpose a Schenck brand hydraulic brake with mechanical measuring instruments and an engine rack were used. Since there were no reasons not to measure engine power the final design can be called an engine dynamometer.

Due to the lack of time, the study only focused on the design work. The building phase itself will be executed in to the future. The bases of design were therefore the earlier bought hydraulic brake and the engine rack. When designing, the machine parts and materials already in our possession were used in this project. Used parts were also utilized as much as possible. This way the costs of the project were reduced significantly.

Key words: Engine dynamometer

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	2
2	HANKKEEN TAUSTA	3
2.1	Opinnäytetyön rajaus	3
2.2	Tarpeellisuus	4
2.3	Tavoitteet	5
3	SUUNNITTELU TYÖ	7
3.1	Moottoridynamometri	8
3.1.1	Vesijarru	9
3.1.2	Moottoripukki	10
3.1.3	Nivelakseli	11
3.1.4	Mittalaitteet	12
3.2	Nestekierto	15
3.2.1	Jäähdytyksen mitoitus	16
3.2.2	Pumppujen mitoitus	21
3.2.3	Putkien mitoitus	22
4	LIITTYVÄT OSAT	23
4.1	Pakokaasujärjestelmä	23
4.2	Polttoainejärjestelmä	24
4.3	Voiteluainejärjestelmä	25
4.4	Koeajosolu	25
4.5	Moottorinohjauslaitteet	26
5	INVESTOINTILASKELMAT	27
6	YHTEENVETO	29
	LÄHTEET	30
	LIITTEET	31

SYMBOLLEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

Kp	Kilopondi
Nm	Newtonmetri
Kw	Kilowatti
Hv	Hevosvoima
Pa	Pascal
rpm	kierrosta minuutissa
°C	Celcius aste
T	lämpötila
P	teho
	kulmanopeus, rad/s
J	Joule
€	euro

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni aihe, moottoridynamometri linja-autojen dieselmootoreille, sai alkunsa keskuskorjaamolla työskentelevän asentajan ajatuksesta valmistaa kunnostettavia moottoreita varten jonkinlainen koeajopenkki. Aikaisemmin oli ilmennyt satunnaisia tapauksia, joissa moottori oli jouduttu jopa irrottamaan alustasta heti asennuksen jälkeen, kun koekäytön yhteydessä oli havaittu sitä vaativa vika. Huomattavan yleistä on, vaikkakin moottori on juuri huolella kunnostettu, että jokin lukuisista tiivisteistä vuotaa. Näiden tiivisteiden vaihto on koeajopenkissä huomattavasti helpompaa kuin jos moottori on asennettu. Koeajo tuo myös varmuuden siitä, että kunnostuksen yhteydessä ei ole sattunut virheitä. Näin moottorin asennustyöt voidaan suunnitella korjaamoilla tarkemmalla aikataululla.

Ajatus pelkästä koekäyttövalmiudesta, eli moottoria ei koeajon aika voisi kuormittaa, herätti kuitenkin epäilyjä. Pian päätettiinkin lisätä kokoonpanoon vesijarru, jolla moottoria voitaisiin portaattomasti kuormittaa. Uusien tämän kokoluokan laitteiden hinta on kuitenkin yleensä erittäin korkea verrattuna vastaavaan hyöttyyn, joten käytetyn laitteen etsintä aloitettiin alkukesästä. Tarkoitukseen sopivia käytettyjä dynamometrejä ei julkisessa myynnissä juuri ole. Ensimmäinen vaihtoehtoinen vaihtoehto ilmaantui Kouvolan aikuiskoulutuskeskuksen pitkään käyttämättä olleesta HPA-moottoridynamometrillä. Tässä dynamometrissä suurin sallittu vääntömomentti oli kuitenkin vain 1000Nm. Tehokkaimmat linja-auton moottorit tuottavat kuitenkin vääntömomenttia yli tämän ja siten aikuiskoulutuskeskuksen moottoridynamometri jouduttiin hylkäämään. SuperFlow dynamometrejä maahantuova Tapio Päkki Oy löysi seuraavan vaihtoehdon Ylöjärven Moottorityö nimisestä raskaankaluston, lähinnä maansiirtokoneita, kunnostavasta yrityksestä. Kyseessä oleva Schenck-merkinen jarru oli heille hieman alamittainen ja vaihtokauppa tuhannen euron välirahalla venttiiliköntestauspenkkiin toteutui. Sähkömoottorin avulla suoritettua koeajon jälkeen totesimme jarrun kaikin puolin ehjäksi ja suunnittelu työt aloitettiin.

2 HANKKEEN TAUSTA

Tarve laitteelle, jolla voitaisiin saada varmuus niin kunnostetun kuin purkumoottorinkin kunnosta ennen autoon asennusta, on aina ollut olemassa. Lisääntyneet ongelmat moottoreiden asennusten yhteydessä korjaamoilla antoivat lopullisen sysäksen projektin aloittamiselle. Toisaalta moottorin koeajaminen keskuskorjaamolla vie aikaa liikennöitsijän korjaamolta, kun sama aika voitaisiin käyttää moottorin autoon asentamiseen. Ongelma onkin hieman tapauskohtainen. Kaikista moottorityypeistä ei vaihtomoottoria ole, eikä se olisi järkevääkään moottorien vähäisen lukumäärän vuoksi. Tällaisissa tapauksissa moottori kunnostetaan rikki menneestä, juuri samaiseen autoon tarvittavasta moottorista. Tällöin tulee puntaroida, ollaanko valmiita ottamaan riski, ettei kunnostettu moottori kaikilta osin olekaan kunnossa, ja asennetaan moottori aikaisemmin, vai odotetaanko varmasti toimivan ja tiiviin moottorin asentamista. Optimaalinen tilanne, jossa kunnostettu ja koeajettu moottori on hyllyssä, toteutuu kuitenkin yleisimpien moottorityyppien osalta. Näissä tapauksissa voidaan liikennöitsijälle lähettää vaihtomoottori jo ennen kuin moottoria on ehditty edes irroittaa autosta.

2.1 Opinnäytetyön rajaus

Hankeistetussa opinnäytetyössä aikataulu ei aina opiskelujen ja yrityksen tarpeiden kanssa mene aivan yksiin. Moottoridynamometrin kokoonpanon aloittamisen viivästyessä kesällä alkoi olla selvää, ettei alkuperäistä ajatusta opinnäytetyöstä voitaisi toteuttaa. Ensimmäinen ajatus opinnäytetyöstä oli analysoida moottorien koeajojen taloudellisia ja työmotivaatioon liittyviä tekijöitä. Tässä vaiheessa kaavailin työn aiheeksi moottorinohjausyksiköillä ohjattavien moottoreiden ajamiseen liittyvien ongelmien ratkaisemista ja tietokone pohjaisen ohjausjärjestelmän luontia. Tämä ei käytännössä kuitenkaan olisi ollut mahdollista ilman toimivaa koeajopenkkiä, joten jouduin tämänkin vaihtoehdon hylkäämään. Valitettavasti tätä myöten myös analysointi hankkeen vaikutuksista taloudellisiin- ja työmotivaatiotekijöihin jäi pois muilta osin lukuun ottamatta teoreettista osaa. Tässä tapauksessa ei koeajopenkkiä ehditä siis valmistaa ennen valmistumistani, joten opinnäytetyöni on rajattu käsittelemään hanketta suunnittelun näkökulmasta.

Suunnittelussa on keskitytty itse dynamometrin sekä jäähdytysjärjestelmän mitoittamiseen. Muilta osin tarkentavia piirrustuksia ei ole tarkoitus tässä vaiheessa tehdä.

2.2 Tarpeellisuus

Hankeen tarpeellisuutta on tarkoitus seurata tulevaisuudessa koeajopöytäkirjojen avulla. Koeajopöytäkirjoista kootun tilaston avulla voidaan helposti havaita koeajoon käytetyn ajan ja korjattujen vikojen suhde. Arvioimalla vikojen korjaamiseen tarvittavaa aikaa moottorin jo ollessa autoon asennettuna, ja vertaamalla tätä kokonaiskoeajoaikaan, johon on lisätty lisäkorjauksiin käytetty aika, saadaan koeajo prosessilla säästetty työaika. Lisäksi työntekijöiden motivaatio on korkeampi, kun asentajan ei tarvitse tehdä turhaan työtä periaatteessa ehjän moottorin kanssa.

Hyvät työolosuhteet Ruohotien mukaan vaativat, että työ on riittävän haastavaa. Haastavuuteen sisältyy saavutettavissa olevat palkkiot, selkeät tavoitteet ja suotuisa työympäristö. Työn itsensä tulisi olla tarpeellista ja työ tulisi sisällyttää isompaan kokonaisuuteen. Ihminen yleensä luonnostaan pyrkii löytämään motiiveja tekemisilleen. Motivaation vaikuttavat siis oleellisesti seuraavat seikat: työn vaativuus, työn mielekkyys, työn merkitys, vastuu työstä ja palaute.

Työn on oltava riittävän vaativaa. Ihminen, joka joutuu päivittäin ratkaisemaan ongelmia tai keskittymään tarkasti, pysyy virkeämpänä ja motivoituneempana. Työ ei kuitenkaan saa olla liian vaativaa. Liian vaativat työtehtävät voivat lannistaa työntekijän, toisaalta taas liian helpot työtehtävät koetaan helposti aliarvostukseksi.

Työn on johdettava johonkin, mielellään valmiiseen lopputulokseen. Valmiiksi saamisen tunne on hyvä motivaatio tekijä. Mikäli alusta loppuun tekeminen ei ole mahdollista, kuten usein työn tehokkuuden varmistamiseksi ei ole, tehokkaampaa on jos työ voidaan pilkkoa pienempiin osiin, jotka voidaan tehdä valmiiksi osio kerrallaan. Suunnitteluvaihe, organisointi, toteuttaminen ja loppuarvionti, voivat esimerkiksi olla erikseen suoritettavia osia koko kokonaisuudesta.

Tehty työ tulee näkyä jossain konkreettisesti työpaikalla. Työ on mielekästä jos siitä on hyötyä myös muulle organisaatiolle. Edes hyvä palkka ei yksistään motivoi täysin turhauttavaan ja lopujen lopuksi näkymättömään työhön.

Työntekijä, joka voi itse päättää työntekonsa yksityiskohdat, kokee nauttivansa luottamusta ja käyttää henkilökohtaisista resursseistaan enemmän. Työntekijän on näin myös helpompi korjata epäkohtia työssään ja siten parantaa tehokkuuttaan.

Usein työntekijä itse näkee ja kokee tehneensä työnsä hyvin, mutta ei kuule sitä toiselta. On tärkeää, että palaute tehdystä työstä kerrotaan työntekijälle henkilökohtaisesti. (Ruohotie 1999, 15-21.)

Työmotivaatioon vaikuttavat tekijät sisältyvät opinnäytetyöhöni varsin kattavasti. Työn vaativuuden kautta saavutettava työmotivaation paraneminen toteutuu koeajon ja mahdollisten korjausten vaativuuden myötä. Työsuorituksen mielekkyys ja loppuunvieminen liittyvät työhön hyvin. Koeajopöytäkirjan kirjoittaminen on viimeinen toimenpide ennen moottorin toimittamista. Tehdyn työn merkityksellisyys tulee ilmi työssäni hyötynä koko organisaatiolle, joka on hyvin saavutettavissa säästyneiden työtuntien muodossa. Koeajotyö säästää työaika jokaisessa konsernin toimipisteessä. Koeajo on osa asentajan itsensä luomaa moottorin kunnostusaikataulua. Koeajo on näin ollen asentajan vastuulla. Palautteen huomioiminen opinnäytetyössäni voidaan antaa vaikka moottorin asennuksen jälkeen koeajopöytäkirjaan liitettävänä raporttina.

2.3 Tavoitteet

Hankkeen tavoitteena on ensisijaisesti parantaa kunnostettujen moottoreiden luotettavuutta. Moottoreilla ajettavan sisäänajon tapahtuessa valvotusti dynamometrisiä, eikä autoon asennettuna, estetään mahdollisten vaurioiden syntyminen paremmin. Toinen työn tärkeä tavoite on työmotivaation parantaminen vähentämällä ”takaiskuja” moottorin asentamisen yhteydessä. Korjaamalla havaitut viat ennen moottorin toimittamista korjaamolle, säästetään aikaa ja vältetään turhautumiselta. Kolmas tavoite on parantaa purkumoottoreiden käyttömahdollisuuksia saatavilla

olevien tarkempien moottorin kuntotietojen myötä. Koeajolla käytetyn moottorin kunnosta saadaan selkeä kuva. Laitteen toteuttaminen taloudellisesti kannattavalla tavalla on myös eräs mielestäni oleellinen tavoite. Kun hankittavalla laitteella on hyvä takaisinmaksuaika suhteessa pitoaikaan, näkyviin tulee myös taloudellinen hyöty.

3 SUUNNITTELU TYÖ

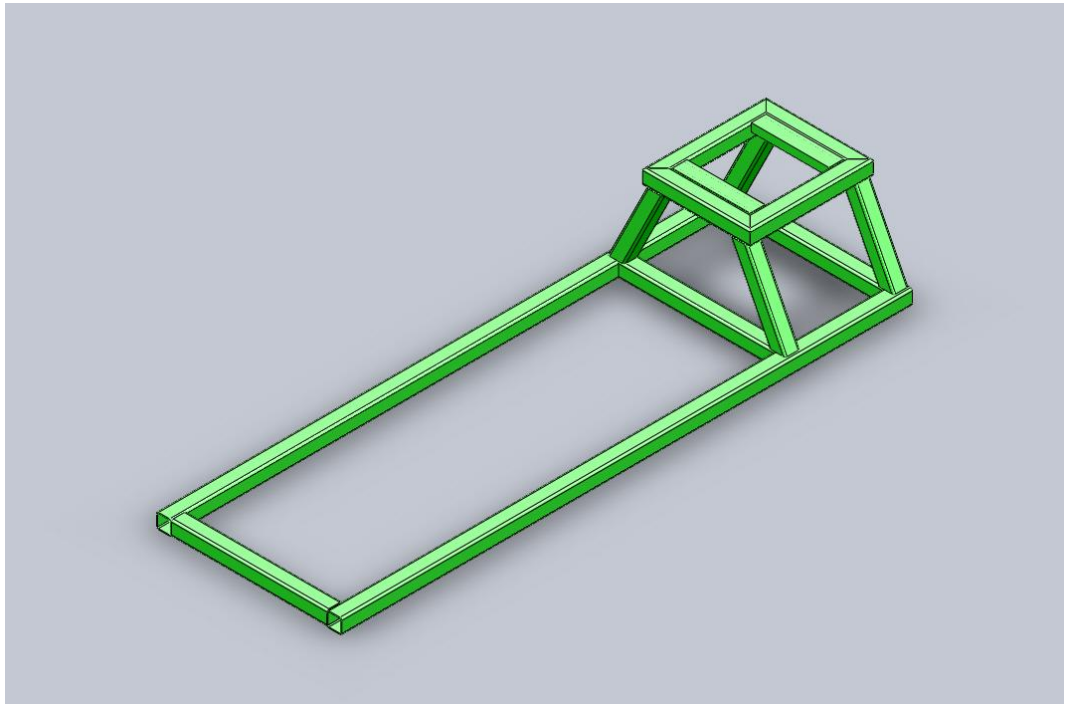
Moottoridynamometrin suunnittelun aloittamisajankohdan aikoina hankittuina olivat siis ainoastaan Schenck merkinen vesijarru sekä moottoripukki. Edes sijoituspaikkaa ei ollut päätetty. Tämä oli valitettavaa, koska kokoonpanoon sisältyvien komponenttien muoto ja sijoittelu määrittyvät pitkälle dynamometrin sijoituspaikan perusteella.

Suunnittelutyö on tehty suureksi osaksi mallintamalla osat Solidworks-ohjelmalla. Tämän jälkeen on laskettu tarvittavat arvot esim. pumppujen kapasiteetit sekä putkien koot. Jäähdytys ja jarrutusnesteen jäähdyttämiseen tarvittavan jäähdyttimen mitoitus on pyydetty kenno valmistajalta laskettujen arvojen perusteella. Moottorin ohjausjärjestelmien suunnittelu ei käytännössä onnistu ilman kokemuspohjaista tietoa moottorin ajamisesta.

3.1 Moottoridynamometri

Varsinainen moottoridynamometri koostuu kolmesta komponentista, vesijarrusta, joka nestettä ”leikkaamalla” vastustaa moottorin pyörittävää voimaa, moottoripukista, johon koeajettava moottori kiinnitetään, sekä mittalaitteista, joilla havainnoidaan moottorin tuottamaa tehoa.

Nämä kolme komponenttia kasataan yhdeksi kokonaisuudeksi RHS-putkesta liitteen 1 mukaisella hitsaamalla valmistetulla rungolla (KUVIO 1). Rungon päämateriaaliksi valitsin valmiiksi varastosta löytyvää ylijäämä putkea kooltaan 80x80x5.



KUVIO 1. Runko

3.1.1 Vesijarru

Jarru (KUVIO 2) on merkiltään Saksalaisvalmisteinen Schenck U1-25 vuodelta 1967. Nykyiseltä edustajalta (Hobira) ei ollut saatavilla Schenck U1-25 jarrun dokumentteja muuten kuin päämittapiirroksen ja tehonmittaus kaavion osalta. Jarrun toimitaperiaate perustuu läpikulkevan nesteen kulkureitin muutokseen, jolla sen kitkaa saadaan kasvatettua. Tämä nostaa koeajon aikana nesteen lämpötilaa lähes saman verran kuin moottorin akselilta tuleva energia on, jolloin myös sitä on jäähdytettävä.

Jarrun tekniset tiedot (tyyppikilvestä):

suurin jarrutettava teho: 250kW
 suurin kierrosnopeus: 5000rpm

Vastaavan jarrun teknisistä tiedoista sovelletut arvot:

nesteen tarve: 7m³/h (KUVIO 9)
 laskettu nesteen tarve (DT-mallisarja): 7,2m³/h

paineen alenema nestessä, $\Delta t=30^{\circ}\text{C}$: 0,4bar (KUVIO 10)
 Suurin sallittu paine: 0,6bar

Mikäli suurin sallittu paine ylitetään, on vaarana veden pääsy laakereihin (Hydraulic Dynamometer Type DT. 2010).

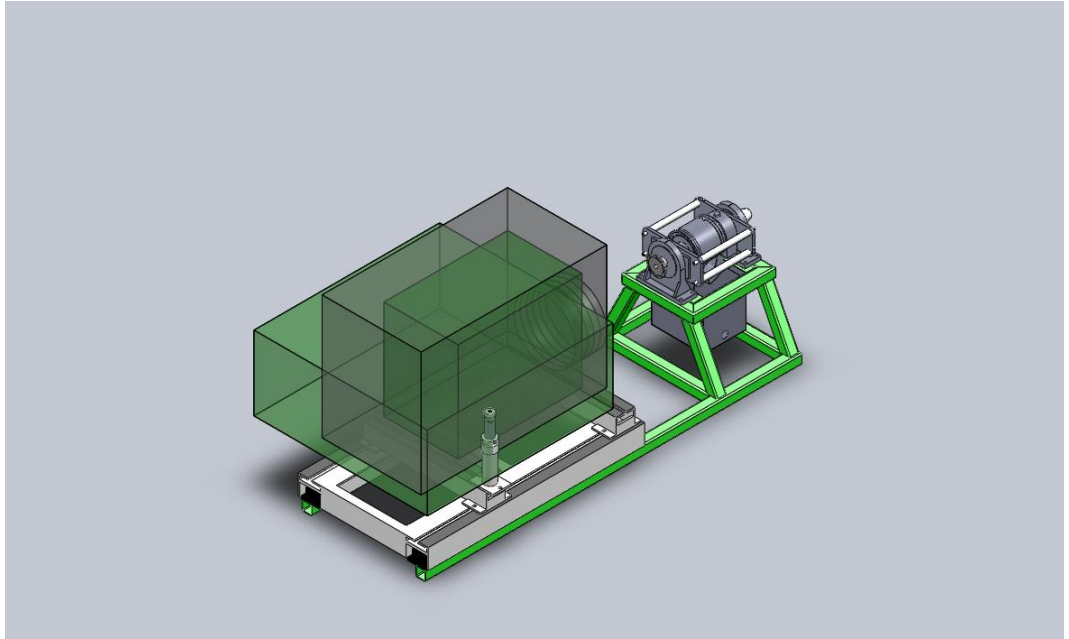


KUVIO 2. Schenck

3.1.2 Moottoripukki

Konsernin laajentuminen yrityskauppojen kautta on väistämättä johtanut kovinkin kirjavaan autokantaan. Sen myötä luonnollisesti myös korjattavia moottorimalleja löytyy varsin runsaasti.

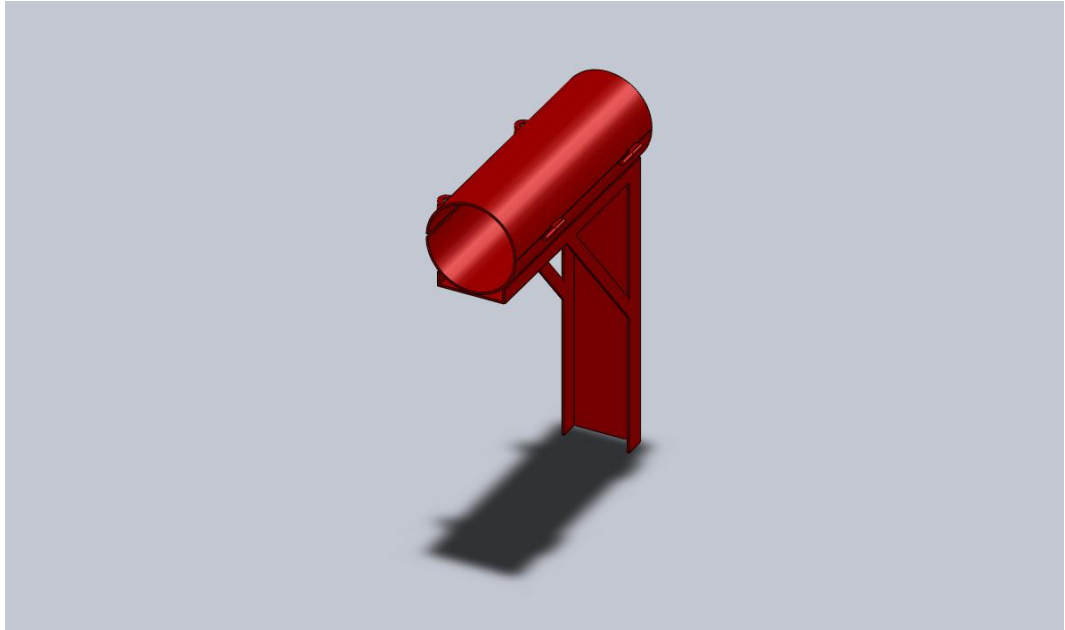
Käytännössä moottorilohko on, muutamia poikkeuksia lukuunottamatta, pystyssä tai makaava (KUVIO 3). Tilavuudeltaan moottorit ovat 4-12 litraisia ja sylinteriluvultaan 4-6 sylinterisiä. Lohkojen tukipisteet eivät siis useinkaan osu samoihin kohtiin. Puhumattakaan erikoisimmista ripustus ja tukiratkaisuista monimutkaisine tukirautoineen. Useissa varsinkin uudemmissa alustoissa moottoritila on varsin täyteen ahdettu, jolloin myös suoraviivainen suunnittelu rakenteiden suhteen ei yksinkertaisesti ole mahdollista. Rakenteiden suunnittelua rajoittavaat seikat luovat moottorin kiinnitykseen omat ongelmansa kiertokangen keskilinjan kohdistamiseksi jarrun akselin suhteen.



KUVIO 3. Havainnekuva erityyppisistä moottorilohkoista

3.1.3 Nivelakseli

Moottorin pyörittävän voiman johtamiseksi kampiakselilta dynamometrille on moottori liitettävä jarruun nivelakselilla. Käytössä olevista kardaneista voidaan pituutta muokaamalla valmistaa tarkoitukseen soveltuva akseli. Erilaisten moottoreiden vautipyörien pulttijaon seurauksena on valmistettava liitteen 2 mukaiset sovitelaipat, joilla akseli voidaan kiinnittää eri moottoreihin. Akselin rikkoutumisvaaran vuoksi on akselille rakennettava suoja (KUVIO 4), joka rikkoutumislanteessa estää irtoilevia osia sinkoilemasta vaarallisesti ympäriinsä.



KUVIO 4. Kardanin suojakotelo

3.1.4 Mittalaitteet

Dynamometrin perustarkoitus on mitata moottorin tehoa. Tämän laskemiseen tarvitaan moottorin pyörimisnopeus sekä vääntömomentti. Näistä arvoista laskemalla saadaan moottorin teho kaavalla:

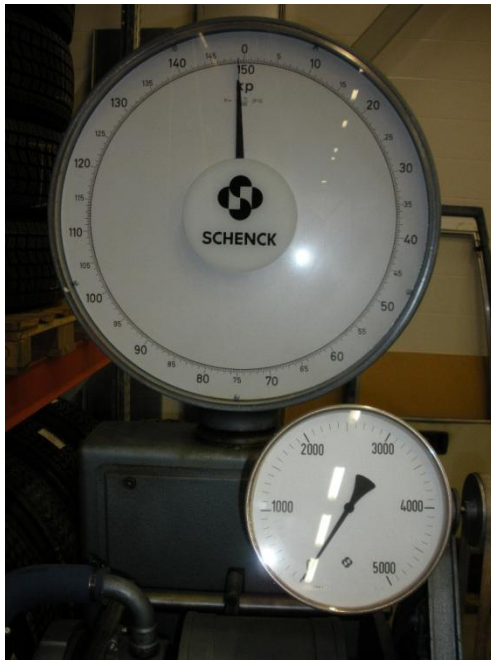
Muita moottorista mitattavia arvoja ovat jäähdytysveden sekä öljyn lämpötila, pakkokaasujen lämpötila ja NO_x-arvo. Moottoridynamometrin jäähdytysjärjestelmästä on mitattava jäähdytysnesteen lämpötila säiliössä, paine ja virtaama ennen jarrua sekä pinnan korkeus valuma-altaassa.

Hankitun jarrun mukana saatiin kuviossa 5 esitettävä mekaaninen kierroslukumittari sekä vääntömomenttia kilopondeina osoittava mittari. Käytöstä jo poistunut teknisen mittajärjestelmän kilopondi vastaa yhden kilogramman massaansa vaikuttavaa vetovoimaa maan pinnalla 45 leveysasteen korkeudella. Nykyinen SI-järjestelmän voiman yksikkö on newton. Käytännössä yksi kilopondi vastaa 9,80665 newtonia, mutta tämän kaltaisissa mittauksissa voidaan kertoimena muuttaessa kilopondeja newtoneksi käyttää tasan kymmentä. Kertomalla mittarin

näyttämä 10:llä saadaan voima newtoneina. Kierroslukumittari mittaa moottorin kierroslukua hihnavälitteisesti kardaanin kiinnityslaipasta. Tehon laskemiseksi on pyörimisnopeus muutettava kulmanopeudeksi. Akselin kulmanopeus lasketaan kaavalla:

Ja edelleen teho:

Edellä mainittuja kaavoja on tarkoitus käyttää koeajojen alkuvaiheessa. Mekaanisia mittareita voidaan käyttää myös kalibroitaessa digitaalisia mittalaitteita.



KUVIO 5. Mittalaitteet

Mekaanisten mittareiden käyttö tarkoittaa käytännössä käsin tehtävää tiedonkeruuta koeajon aikana. Tämä luonnollisesti tuo lisää työtä koeajoa suorittavalle henkilölle. Arvojen kirjaaminen käsin lisää myös inhimillisen virheen mahdollisuutta. Tämän vuoksi laite on tarkoitus digitalisoida muuttamalla mekaaninen kierroslukumittari pulssianturiksi, sekä vääntömittari venymäliuska-anturiksi.

Markkinoilla on saatavilla täydellisiä paketteja A/D muuntimiseen, antureineen ja käyttöliittymineen (KUVIO 6). Onkin tarkkaan harkittava, onko järkevää tehdä itse tarvittavia johtosarjoja ja hankkia antureita vai onko halvempaa ostaa valmis paketti. Oman lisänsä tuo myös käyttöliittymä, jonka toteuttamiseen ei ole mielestäni järkevää ostaa ohjelmistolisenssiä pelkästään tämän takia. Käytettynä on saatavilla TAT DYNO:n valmistama paketti antureineen ja käyttöliittymineen.



KUVIO 6. DynoMight2 (Tatdyno 2010)

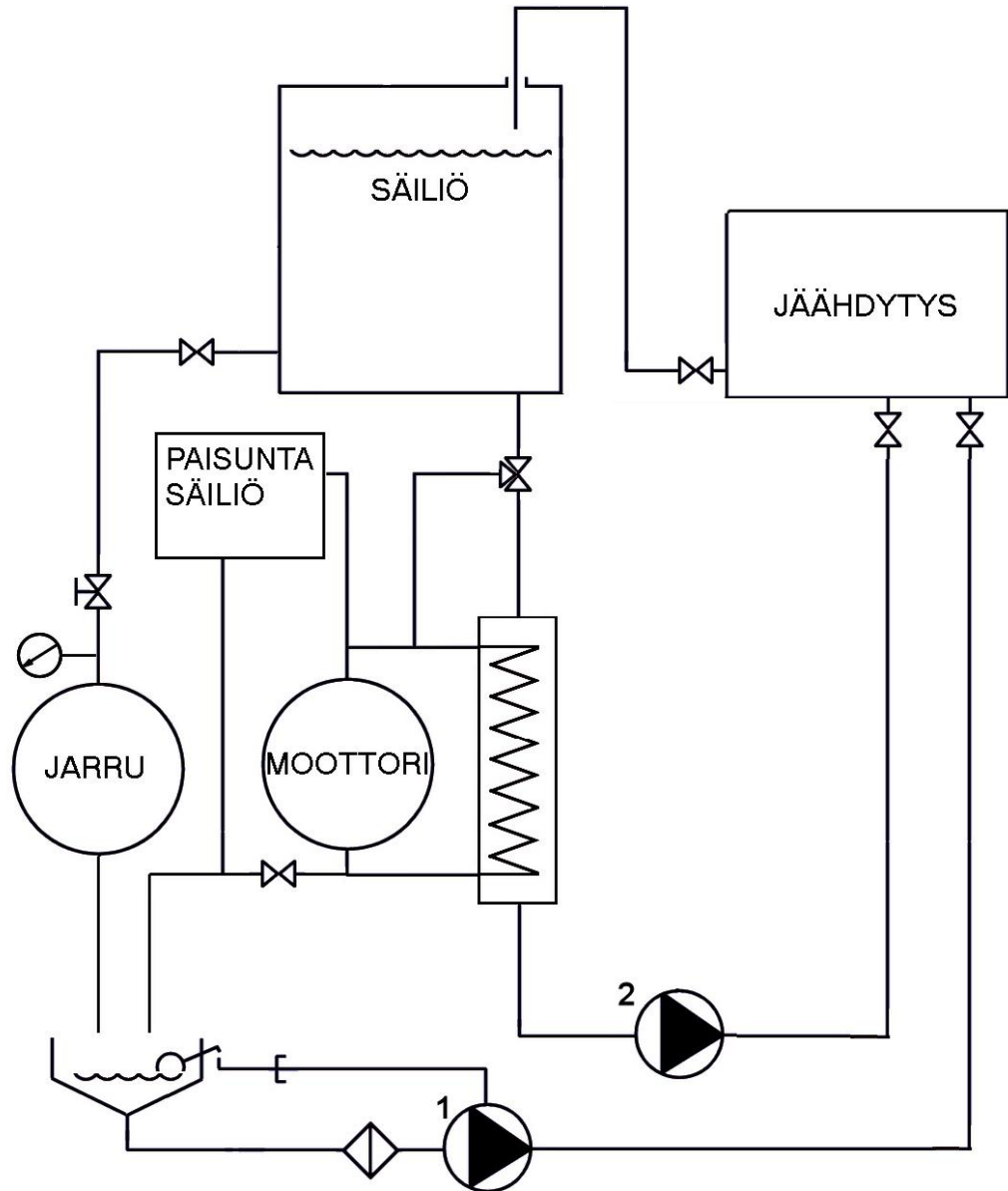
3.2 Nestekierto

Laitteessa tarvitaan nestettä kahteen tarkoitukseen, moottorin jäähdyttämiseen ja jarrulle luomaan vastusta. Moottorin jäähdyttämiseen käytettävä neste ei saa koeajon jälkeen ruostuttaa moottoria sisältäpäin. Moottoria ei millään saa koeajon jälkeen sisältä aivan kuivaksi, joten tämän vuoksi nesteenä käytetään 50% vesi/etyleeniglykoli (Neste jäähdytinneste 50%) liuosta. Samaa nestettä voidaan käyttää myös jarrulle. Tästä on etuna myös jarrun vähäisempi ruostuminen seison-ta aikoina.

Ennen koeajon aloittamista moottorin jäähdytysjärjestelmä voidaan täyttää valutamalla neste säiliöstä. Tätä varten on ensin avattava kolmitieventtili, jolloin neste pääsee virtaamaan liittimen kautta moottoriin. Nestepinnan noustessa paisuntasäiliöön, voidaan todeta moottorin olevan täynnä nestettä. Paisuntasäiliöstä mahdollisesti yli vuotava neste johdetaan valuma-altaaseen. Koeajon jälkeen moottorista poistettava jäähdytysneste voidaan valuttaa valuma-altaaseen.

Lämmönvaihdin huolehtii moottorin jäähdytysnesteen jäähdyttämisestä. Neste pumpataan säiliöstä lämmönvaihtimelle pumpulla. Lämmönvaihtimelta neste johdetaan jäähdyttimelle ja edelleen säiliöön.

Jarrun vaatiman nesteen oikea paine varmistetaan sijoittamalla säiliö määrätyle korkeudelle jarruun nähden, jolloin hydrostaattinen paine huolehtii riittävästä nesteen paineesta. Säätöventtiilillä säädetään jarrun tarvitsema oikea paine ajettaessa pienillä kuormilla. Suurilla kuormilla ajettaessa pidetään venttiili täysin auki. Jarrulta poistuvalla nesteellä ei ehdottomasti saa olla minkäänlaista vastapainetta, joten se on johdettava avoimeen valuma-altaaseen. Valuma-altaasta neste pumpataan jäähdyttimen kautta takaisin säiliöön (KUVIO 7).



KUVIO 7. Havainnekuva jäähdytysjärjestelmästä

3.2.1 Jäähdytyksen mitoitus

Laskelma on tehty Volvo DH10A 285-moottorin suoritusarvojen mukaan. Kyseisen moottori edustaa hyvin käytössä olevien moottoreiden keskimääräistä tehoa.

Nykyaikaisen dieselmoottorin kuluttaman polttoaineen energiasisällöstä mekaaniseksi työksi saadaan muuttettua noin 40% jäljelle jäävästä energiasta 30% poistuu lämpönä säteilyn ja pakokaasujen mukana, ja loput 30% siirtyvät lohkon kautta

jäähdytysnesteeseen. Dieselmootoreiden lämpöhäviöiden suhteet riippuvat kuormituksesta, käyntinopeudesta, ahtamisasteesta ja rakenteesta (Kleimola 1981, 74.)

Polttamalla yksi litra dieseliä vapautuu 38 MJ energiaa. Kuormitettaessa Volvo DH10A 285 (210kW) moottoria 90% (piste 1) kuormalla maksimitehosta:

tunnin ajan, kuluttaa se Murtosen tutkimuksen (TAULUKKO 1) mukaan DIC - 15/-25 laatuista dieseliä 44,3litraa (Murtonen, 2004).

TAULUKKO 1. Polttoaineen kulutus eri mittauspisteissä (Murtonen, 2004)

polttoaine	kulutus, l/h			
	DIC -29/-34	DIC -15/-25	DIC -5/-15	DIC 0/-10
piste 1 (90%)	44,7	44,3	43,6	43,1
piste 2 (70%)	33,8	33,5	33,2	32,7
piste 3 (50%)	24,5	23,7	23,2	23,2
piste 4 (25%)	14,9	14,8	14,5	14,3

Kun jäähdytysnesteeseen siirtyvän lämmön osuus on 30% kokonaisenergiasta, on jäähdystarve muutettuna kilowattitunneiksi ($1\text{J/s} = 1\text{W}$):

Dieselmootorin jäähdytysveden suositeltava käyntilämpötila on noin 90°C . Tällöin ovat moottorin termostaatit täysin auki, ja virtaus lämmönvaihtimelle suurimmillaan.

Vesipumpun tuotto dieselmootorissa mitoitetaan yleisesti 60...120l/kWh lasketuna moottorin hyötyteholla (Kleimola 1981, 281).

Arvioidaan vesipumpun tuoton olevan 100l/kWh.

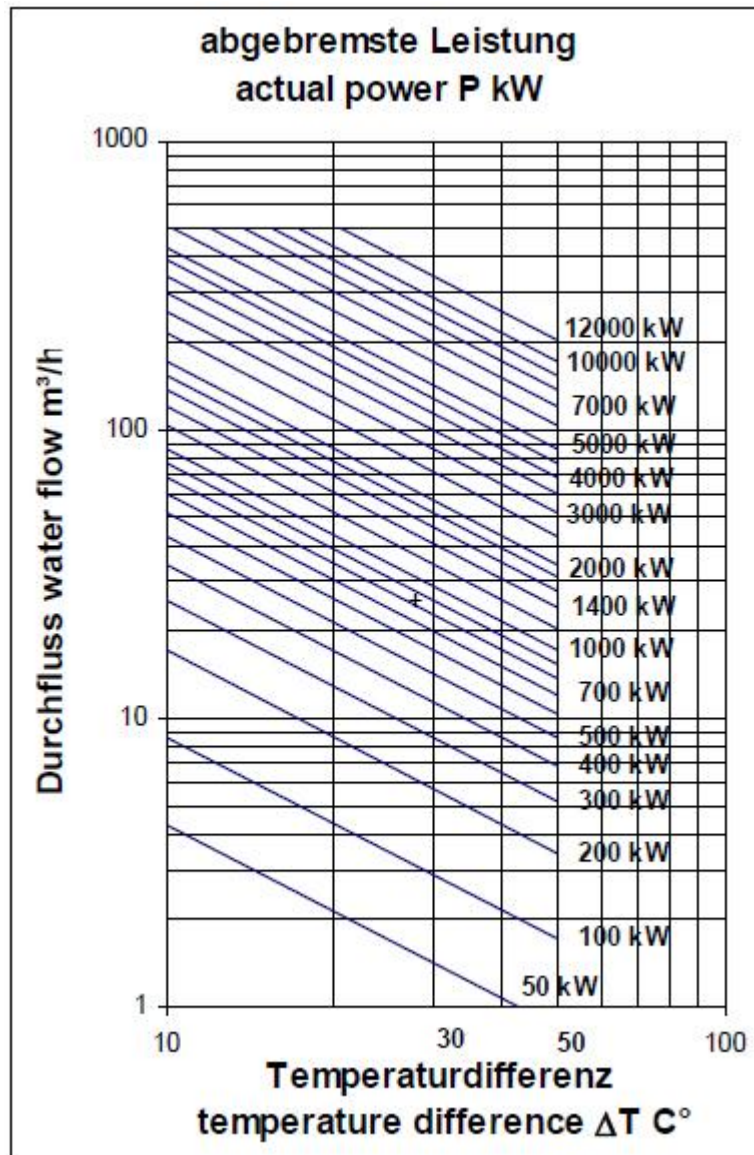
Lämmönvaihtimelle pumpattavan jäähdyttävän nesteen lämpötila on jarrun vaatimusten määrittelemä 30°C. Lämmönvaihtimelta takaisin moottoriin virtaavan nesteen lämpötila täytyy jäähdyttää moottorin toiminnalle suotuisaksi. Tätä varten on laskettava paljonko energiaa jäähdytysnesteestä on lämmönvaihtimessa otettava, jotta lämpötila laskisi 10°C. Kiertonesteestä, eli tässä tapauksessa moottorin jäähdytysnesteestä poistettava lämpöteho voidaan laskea kaavalla:

Jarrussa kiertävä neste lämpenee suhteessa jarrutusvastukseen. Sitä kuinka paljon jarru lämmittää nestettä jarrutettaessa 189kW vastuksella, ei rummun kautta tapahtuvan lämmön haihtumisen vuoksi tarkkaan tiedetä. Lämpötilan muutos on arvioitava alkuperäisten dokumenttien puuteen vuoksi jarrun valmistajalta saatujen vastaavan jarrun teknisten tietojen pohjalta. Oheisista DT-mallisarjan kaavioista (KUVIO 8 ja KUVIO 9) tulkitsemalla saadaan arvot jarrutettaessa 189kW teholla:

lämpötilan nousu: 30°C

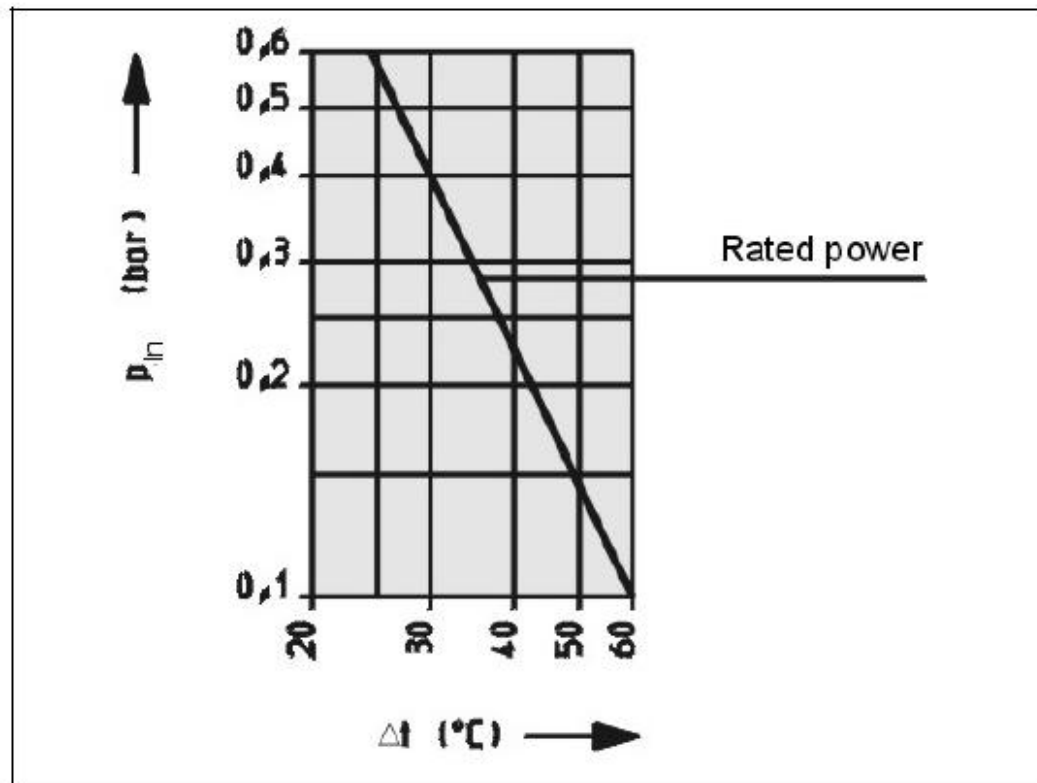
paineen alenema: 0,4bar

virtaus:5,5m³/h



KUVIO 8. Fig. 22: Cooling water pressure required for type DT2 dynamometers depending on the cooling water heating Δt (Hydraulic Dynamometer Type DT 2010)

Cooling water pressure



KUVIO 9. Fig. 20: Cooling water pressure required for type DT dynamometers depending on the cooling water heating Δt (Hydraulic Dynamometer Type DT 2010)

Kun Nesteen valmistaman jäädytysnesteen ominaislämpökapasiteetti on enintään $4,02\text{kJ}/(\text{K}\cdot\text{kg})$ saadaan jarrun nesteeseen siirtyvä lämpöenergia laskettua:

Yhteenlaskettu jäädytystarve on siis:

Arvio jäädytystarpeesta jarrutettaessa jarrun suurimmalla 250kW :n teholla saadaan suhteuttamalla arvot 189kW :n arvoihin.

Näin ollen kokonaisjäähdytystarve suurimmalla kuormalla on

Säilössä olevan nesteen lämpötila ei saa ylittää 30°C:tta, jotta jarrun läpi kulkeva neste ei kuumene liikaa ja muodosta kattilakiveä.

3.2.2 Pumppujen mitoitus

Pumppujen mitoitus on laskettu jäähdytyslakelmissa käytetyn DH10A 285-moottorin mukaan, ja lopuksi korjattu täyden kuormituksen tasolle. Pumppu1, jolla pumpataan neste valuma-altaasta jäähdyttimen kautta säiliöön, on mitoitettava niin, että se pystyy pumppaamaan jarrun läpi virranneen veden 92l/min takaisin jäähdyttimen kautta säiliöön.

Pumppu2 pumppaa nesteen lämmönvaihtimen kautta jäähdyttimeen ja edelleen säiliöön. Jotta lämmönvaihdin pystyisi siirtämään koeajettavan moottorin tuottaman lämmön jäähdytysnesteeseen, tulee pumpun tuoton olla vähintään aikaisemmin todettu 315l/min.

Pumput on kuitenkin valittava ottaen huomioon jarrun maksimi jarrutusteho 250kW. Tällöin on tulokset korjattava suhteuttamalla maksimivedenkulutus 7m³/h veden kulutukseen 189kW:n jarrutuksessa 5,5m³/h, jolloin pumppujen teho riittää myös maksimijarrutuksissa.

3.2.3 Putkien mitoitus

Putket on mitoitettu maksimi 250kW:n jarrituksen perusteella. Todelliset koeajon aikaiset virtaamat ovat huomattavasti alhaisempia.

Putkikooksi jäähdytysnesteen johtamiseksi säiliöltä lämmönvaihtimelle on valittu 2". Lämmönvaihtimen pumpun tuoton ollessa 410l/min on virtausnopeus putkessa 3,2m/s.

Halutun paineen saavuttamiseksi jarrulle on laskettava tarvittava etäisyys metreissä säiliön pinnan ja jarrun välille. Neste Oy:n valmistaman jäähdytysnesteen tiheys on 1100kg/m³. Haluttu paine jarrulla on 0,4bar (40000Pa).

Putken kooksi on valittu 1". Virtauksen ollessa suurimmillaan 120l/min, saadaan virtausnopeudeksi 4,4m/s.

Valuma-altaasta säiliöön menevän putken on johdettava jarrulta tuleva neste (120l/min) jäähdytin kennoston kautta takaisin säiliöön. Putken kooksi on valittu 2", jolloin virtausnopeus on 1m/s.

4 LIITTYVÄT OSAT

4.1 Pakokaasujärjestelmä

Toimivan pakoputkiston rakentaminen huomioiden moottoreiden yksilölliset vaatimukset on melko haastavaa. Lähinnä uudempien moottoreiden tiukkojen hiukaspäästörajojen vuoksi.

Laajalti kaupunkiliikenne käytössä oleva Cummins ISBe5 moottorin on täytettävä uudempien osalta jo EURO 5 luokituksen päästörajat (KUVIO 10).

Table 1								
EU Emission Standards for HD Diesel Engines, g/kWh (smoke in m ⁻¹)								
Tier	Date	Test	CO	HC	NO _x	PM	Smoke	
Euro I	1992, < 85 kW	ECE R-49	4.5	1.1	8.0	0.61 2		
	1992, > 85 kW		4.5	1.1	8.0	0.36		
Euro II	1996.10		4.0	1.1	7.0	0.25		
	1998.10		4.0	1.1	7.0	0.15		
Euro III	1999.10, <i>EEVs only</i>		ESC & ELR	1.5	0.25	2.0	0.02	0.15
	2000.10		ESC & ELR	2.1	0.66	5.0	0.10 0.13 ^a	0.8
Euro IV	2005.10		1.5	0.46	3.5	0.02	0.5	
Euro V	2008.10		1.5	0.46	2.0	0.02	0.5	
Euro VI	2013.01		1.5	0.13	0.4	0.01		

a - for engines of less than 0.75 dm³ swept volume per cylinder and a rated power speed of more than 3000 min⁻¹

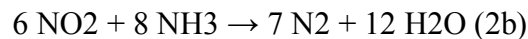
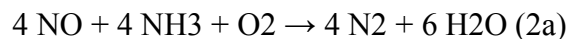
KUVIO 10. EU Emission Standards for HD Diesel Engines, (Dieselnet 2010)

Näihin rajojen sisällä pysymiseen käytetään Nox arvon alentamiseen moottoreiden pakokaasujärjestelmän yhteydessä Urea-ruiskutusta. Konsernissa käytettävä aine on kauppanimeltään AdBlue.

AdBlue on synteettisen urean ja puhtaan veden liuos. Ureaa liuoksessa on 32,5 %. Urealiuosta luullaan yleisesti lisättävän polttoaineen sekaan, vaikka järjestelmällä ei ole mitään tekemistä polttoainejärjestelmän kanssa. AdBlue tankataan omaan säiliöönsä, josta se ruiskutetaan pakoputkeen. Pakokaasujen saavuttaessa oikean lämpötilan urea hajoaa ammoniakiksi ja hiilidioksidiksi (reaktio 1).

Ammoniakki reagoi typen oksidien kanssa SCR-katalysaattorissa, jossa nämä pelkistyvät vaarattomaksi typpikaasuksi ja vesihöyryksi (reaktiot 2a ja 2b).

Kyseistä pakokaasujen puhdistusmetodista käyteään lyhennettä SCR (Selective Catalytic Reduction).



AdBluen kulutus on noin 3–5 % dieselin kulutuksesta. SCR-järjestelmällä on mahdollista laskea dieselmoottorin päästöt Euro IV ja Euro V –standardien tasolle typen oksidien osalta.

(Wikipedia 2010.)

Erilaisten antureiden sijoittaminen oikein on edellytys moottorin huipputehojen mittaamiseen. Käytännössä järkevä ratkaisu onkin syöttää haluttu arvo suoraan ohjausyksikölle ja jättää anturit pois. Näin voidaan myös lialle herkkä urearuiskutusjärjestelmä jättää rakentamatta.

4.2 Polttoainejärjestelmä

Koeajoissa tarvittava polttoaine on sijoitettava paloturvalliseen tilaan. Polttoaineen kulutus tunnin koeajossa voidaan arvioida VVT:n DH10A-tutkimuksen perusteella olevan suurimmillaankin alle 50l/h, joten säiliön kooksi riittää varsin hyvin 50 litraa. Valmiuksia bensiinimoottorien koeajoon ei ole järkevää suunnitella.

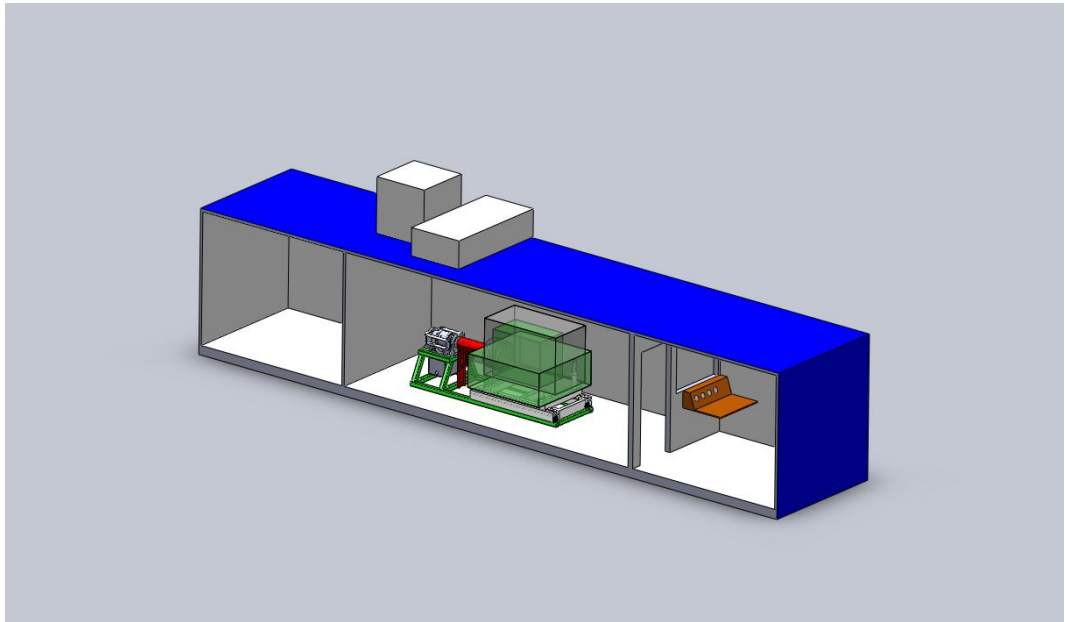
4.3 Voiteluainejärjestelmä

Useimmissa moottoreissa tarvittava voiteluöljy on sijoitettuna moottorin öljypohjaan. Joissakin malleissa öljy on erillisessä säiliössä, josta se putkin tai letkuin johdetaan moottoriin. Tätä varten on koeajo soluun rakennettava erillinen säiliö, josta öljynkierto moottoriin voidaan toteuttaa.

4.4 Koeajosolu

Moottorin käyttämisestä itsestään syntyvä kova melu asettaa suurimmat vaatimukset solun rakenteelle. Päivittäisen melualtistuksen alempi toiminta-arvo on 80 dB ja ylempi toiminta-arvo on 85 dB. Päivittäinen melualtistus tarkoittaa A-painotettua äänitasoa, joka kahdeksan tunnin työpäivän aikana antaa saman altistuksen kuin altistava melu, mukaan lukien impulssimelu. Kuulonsuojainten vaimentavaa vaikutusta ei oteta huomioon. Alemman toiminta-arvon ylittyessä työnantajan on huolehdittava siitä, että työntekijän saatavilla on henkilökohtaiset kuulonsuojaimet. Lisäksi altistuneella on oikeus päästä kuulontutkimukseen. Jos altistuminen melulle vastaa ylempää toiminta-arvoa tai ylittää sen, työnantajan on annettava työntekijän käyttöön henkilökohtaiset kuulonsuojaimet, joita työntekijän on käytettävä. Alueet, joilla työntekijät saattavat altistua ylemmän toiminta-arvon melulle on asianmukaisesti merkittävä ja rajattava sekä pääsyä niille rajoitettava, jos se on teknisesti mahdollista ja altistumisen johdosta tarpeellista. Lisäksi on laadittava meluntorjuntaohjelma. Päivittäisen melualtistuksen raja-arvo on 87 dB. Työntekijän käyttämien kuulonsuojainten vaimentava vaikutus otetaan huomioon. Mikäli työntekijän altistuminen ylittää raja-arvon työnantajan on viipymättä ryhdyttävä toimenpiteisiin altistuksen vähentämiseksi alle raja-arvon. (Työsuojeluhallinto 2010.)

Koeajo solu on suunniteltu sijoitettavaksi 40 jalkaiseen merikonttiin. Solun sisälle sijoitettavat komponentit ovat moottoridynamometri ja moottorin käynnistämiseen tarvittavat laitteet. Nestesäiliö jäähdyttimiseen sijoitetaan kontin ulkopuolelle paremman lämmön hallittavuuden vuoksi. Näin vältetään myös puhaltimien aiheuttama meluhaitta. Kontin päätyyn seinällä erotettuun tilaan ikkunan taakse rakennetaan ohjauspulpetti, johon sijoitetaan moottorinohjauslaitteet.



KUVIO 11. Havainnekuva kontista

4.5 Moottorinohjauslaitteet

Yhtymässä on tällä hetkellä käytössä moottoreita täysin mekaanisin ohjauksin, elektronisin ohjauksin sekä näiden yhdistelmiä. Mekaanisen ohjauksen toteuttaminen on suhteellisen helppoa Bowden-kaapeleiden avulla. Kaapelit liitetään ohjauspulpetin vivustoihin, minkä jälkeen vivuilla voidaan säätää ruiskutuspumppusta kierrosnopeutta sekä tarvittaessa sammuttaa moottori.

Sähköisesti ohjattujen ruiskutuspumppujen ohjauksen toteuttamiseen tarvitaan ohjauspulpettiin vastaavat laitteet autosta eli moottorin johtosarja sekä tarvittavat ohjausyksiköt. Kaasupoljin voidaan toteuttaa potentiometrillä.

5 INVESTOINTILASKELMAT

TAULUKKO 2. Aiheutuneet kustannukset

kontti 40´	3000€
Schenck dynamometri + moottoripukki + lämmönvaihdin	1000€
pumput, 2kpl	1000€
jäähdytysneste 2000ltr	963,41€
letkut ja putket + tarvikkeet	500€
kontin sähköistys asennustyöt	1000€
jäähdytin 500kW	poisto
äänenvaimennin	poisto
säiliö	poisto
	yhteensä 7463,41€

Arvioin investoinnin kannattavuutta viiden vuoden ajalla.

Tarkastelu on rajattu koskemaan toimintaa ainoastaan Lahden korjaamon kanssa, jolloin tiedonkeruu työtuntien osalta ei muodostu pullonkaulaksi.

Hankintakustannukset ovat yhteensä 7463,41€.

Arvioitu säästö viiden vuoden aikana voidaan laskea vuoden 2010 tietojen avulla. Vähentämällä 2010 kunnostettujen moottoreiden arvioituihin koeajoihin kuluneista työtunti kustannuksista vuoden 2010 todelliset kulut, jotka ovat syntyneet moottoriin asennuksen jälkeen tehtyjen korjausten vuoksi. Kunnostettuja moottoreita Lahden korjaamolle vuonna 2010 oli 12kpl. Arvioitu keskimääräinen koeajon kesto mahdollisine korjauksineen on 4 h. Kertomalla kunnostettujen moottoreiden määrä keskimääräisellä koeajon kestolla ja kertomalla tämä keskuskorjaamon tuntihinnalla 30 €/h, saadaan vuoden arvioitu koeajokustannus 1440 €.

Korjaamo-ohjelmasta haetun tiedon mukaan korjauksiin käytettiin vuoden 2010 aikana karkeasti arvioiden 240 tuntia. Laskennallinen korjaamon työtuntihinta on

30€/h. Kertomalla korjauksiin käytetyt tunnit ja korjaamon työtuntihinta keskenään saadaan vuodessa korjauksiin kulunut raha määrä 7200€.

Vähentämällä vuoden korjauksiin kuluneesta summasta arvioitu koeajojen aiheuttama kustannus saadaan laskettua vuosittainen säästö.

Korjauksiin käytettyjä osia ei tarvitse ottaa huomioon, koska liikennöitsijän korjaamo lunastaa ne joko moottorin kokonaishinnassa tai normaalina varaosaostona keskusvarastolta. Näin ollen arvioitu säästö vuonna 2010 olisi ollut 5760€. Vuosittaiset kustannukset laitteen käytöstä koostuvat sähköstä. Tekijänä tässä laskennassa se on niin pieni, ettei sitä ole tarpeellista ottaa huomioon.

Huomioitavaa laskennassa on se, että säästö on vuoden 2010 mukainen. Vertailemalla kunnostettujen moottoreiden määrää autojen määrään tulevaisuudessa voitaisiin koeajo säästöjen suhdetta jälkikorjaus kustannuksiin arvioida tulevan neljän vuoden ajalle. Lopputuloksen kannalta tällä ei kuitenkaan olisi muiden muuttujien vuoksi tarkentavaa merkitystä.

Takaisinmaksuaika

Laskennassa ei ole otettu huomioon mahdollista korkoa investoinnille.

Saadaan takaisinmaksuajaksi 1,3 vuotta.

6 YHTEENVETO

Opinnäytettyöni hyödyllisyys rakennettaessa varsinaista dynamometriä paljastuu vasta tulevaisuudessa. Joitakin asioita varmasti jää huomioon ottamatta, ja ne paljastuvat sitten vasta rakennusvaiheessa. Esisuunnittelusta kuitenkin on varmasti jonkin verran apua. Varsinkin kokonaisuuden hahmottamisen kannalta suunnitelmien teko tuntui tärkeältä. Suunnittelutyön edetessä monta asiaa tuli mietittyä ja selvitettyä uudestaan. Eriyisesti jäähdytysjärjestelmän mitoituksen kanssa tuli puutteellisten lähtötietojen vuoksi tehtyä runsaasti töitä. Varmuuskertoimen sijoittamisella mitoituksiin estettään ainakin alimitoituksen vaara.

Työn vaikutuksia työmotivaatioon oli havaittavissa jo heti hankkeen aloittamisen jälkeen. Olin jokseenkin yllättynekin kuinka innokkaita dynamometriä kohtaan oltiin. Työntekijöille oli tärkeää, että pikkuvikaisten moottoreiden aiheuttamille ongelmille tehtiin jotain. Asentajat myös osallistuivat käytännön suunnitteluun ja tarjosivat vinkkejään. Korjaamon työnjohto oli myös positiivisessa hengessä mukana esimerkiksi kerättyä tietoa investointilaskelmia varten. Epäkohtaan puuttuminen koettiin tärkeäksi ja motivoivaksi, vaikka varsinainen laite valmistuisikin vasta joskus tulevaisuudessa. Suhtautuminen hanketta kohtaan oli kaikinpuolin kannustavaa.

Investointilaskelmista voidaan todeta, että vaikka laskennassa on otettu huomioon ainoastaan Lahden tulosityksikölle (Koiviston Auto Oy ja Lahden Liikenne Oy) toimitetut moottorit, on tulos jo ensimmäisen vuoden jälkeen positiivinen. Mikäli laskennassa olisi otettu huomioon kaikki toimipisteet, olisi saavutettu säästö vieläkin suurempi.

LÄHTEET

Kirjallisuus

Hydraulic Dynamometer Type DT. 2010, Saatavilla Hobira Europe GmbH

Kleimola M. 1981, Dieselmoottori: rakenne, toiminta ja korjaukset, Tammi, Helsinki

Murtonen, T. 2004. Polttoaineen laadun vaikutus polttoaineen kulutukseen ras-
kaassa dieselmoottorissa, VTT prosessit.

Ruohotie P. 1999, Palkitseva ja kannustava johtaminen, Oy Edita Ab, Helsinki

Sähköiset

Dieselnet. 2010. EU Emission Standards for HD Diesel Engines [viitattu
10.11.2010] Saatavissa: <http://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.php>

Tatdyno. 2010. DynoMight2 [viitattu 2.9.2010] Saatavissa: www.tat-rd.com

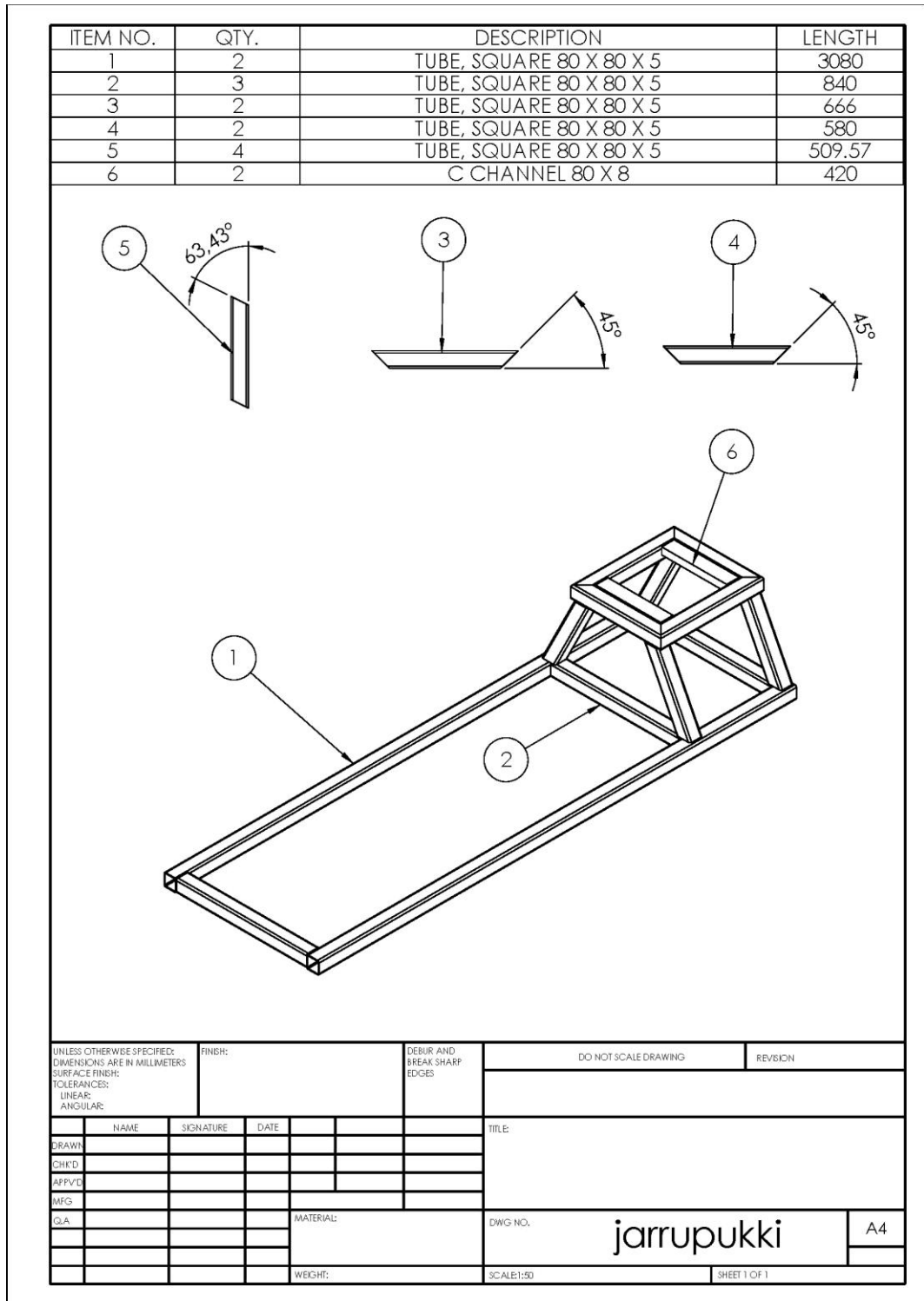
Työsuojeluhallinto. 2010. Melu [viitattu 14.12.2010] Saatavissa:
<http://www.tyosuojelu.fi/fi/melu>

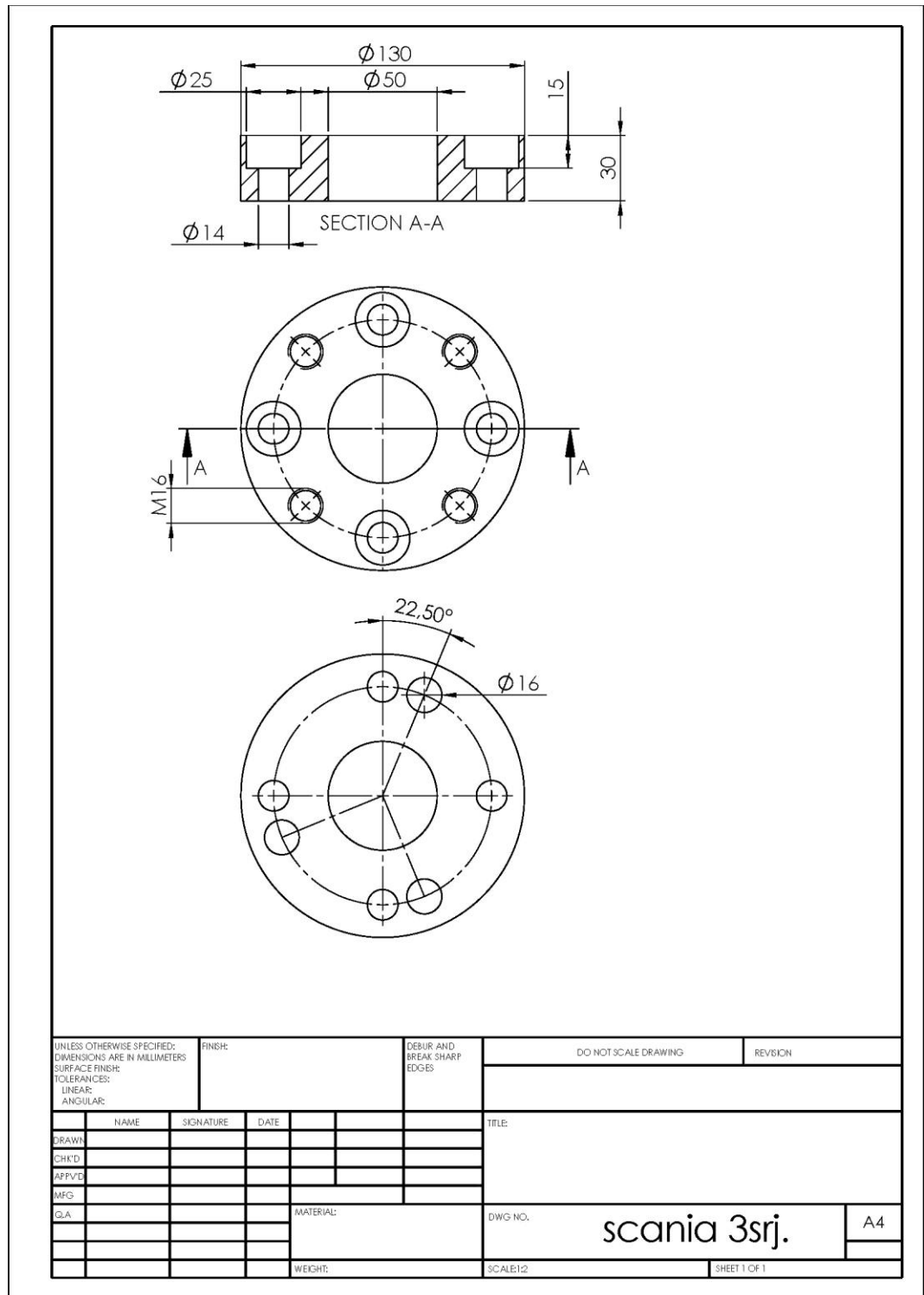
Wikipedia. 2010. AdBlue [viitattu 14.12.2010] Saatavissa:
<http://fi.wikipedia.org/wiki/AdBlue>

LIITTEET

Liite 1

Rungon piirustukset





scania 3srj.

A4

Liite 2

3(3)

