

M2T0240

**TULEVAISUUDEN
TYÖKONEDIESELMOOTTORI**

**Matti Kytö & Mårten Westerholm
VTT Prosessit, Moottorit ja ajoneuvot**

MOBILE2-vuosiraportti 2002

Raportointiaika Tammikuu 2003
 Raportointikausi 1.1.2002 – 31.12.2002

Projektin koodi	M2T0240		
Projektin nimi	Tulevaisuuden työkonedieselmoottori		
Vastuuorganisaatio	VTT Prosessit		
Projektin vastuuhenkilö	Nils-Olof Nylund		
Projektin yhteyshenkilö	Matti Kytö	Osoite	PL 1601
Puhelinnumero	09 456 5513	Telefax	09 460493
		Sähköpostiosoite	matti.kyto@vtt.fi

Muut tahot:

Organisaatio	Yhteyshenkilö	Puhelinnumero	Sähköpostiosoite
Sisu Diesel Oy	Jarmo Kallio	03-3417111	jarmo.kallio@sisudiesel.com

Hankkeen alkamisaika	Hankkeen suunniteltu kesto	Hankkeen suunniteltu päättymisaika
1.6.2002	18 kk	30.11.2003

Projektin rahoitus (k€)

Organisaatio	1999	2000	2001	2002*	2003*	Yhteensä
MOBILE ² -rahoitus				8400	8400	16800
Muu rahoitus eriteltynä						
Sisu Diesel				25000	25000	50000
Tekes				17000	17000	34000
Yhteensä				50400	50400	100800

* suunniteltu

Hankkeen tavoite

Tehtävä antaa tietoa eri moottorien, moottoriversioiden ja oheisjärjestelmien toimivuudesta dynaamisissa kuormitustilanteissa. Tutkimuksen avulla voidaan ennakoita mahdollisia ongelmakohtia ja suunnata tulevaa tuotekehitystoimintaa oikeaan suuntaan.

Projektin julkaisu-uettelo

(MOBILE² -julkaisut ja muut julkaisut projektiin liittyen)

Seminaarit

(Seminaarit ja konferenssit joissa projektia on esitelty, ml. MOBILE²-seminaarit)

MOBILE²-seurantaryhmä 10/2002
ProMOTOR seminaari 10/2002

Opinnäytteet hankkeeseen liittyen**Patentit hankkeeseen liittyen**

1. JOHDANTO

Sähköiset ohjausjärjestelmät tekevät tuloaan myös off-road moottoreihin. Tähän asti tämä on tapahtunut ensisijaisesti siksi, että moottori voitaisiin joustavasti liittää työkonen ohjausjärjestelmään (moottorin sähköinen pyörintänopeuden ja tehon säätö). Sähköinen ohjaus antaa myös mahdollisuuden pakokaasupäästöjen vähentämiseksi polttoaineen ruiskutuksen ohjauksen parantuessa. Esimerkiksi EU:ssa direktiivin 97/68/EY toinen vaihe tulee voimaan vaiheittain moottorin teholuokasta riippuen vuosina 2002, 2003 ja 2004, ja varsinkin isommissa teholuokissa päästörajat on helpompi täyttää sähköisesti ohjattujen ruiskutusjärjestelmien avulla. Toisaalta työkonemoottorien päästörajat ovat kulumassa olevan vuosikymmenen aikana hyvin todennäköisesti kiristymässä tasolle, jonka saavuttamiseksi kustannustehokkaasti tarvitaan yhä uusia keinoja.

Vaatus transienttitestauksesta tuli voimaan tietyille ajoneuvomoottoreille vuonna 2000, ja kaikki tieliikenteeseen tarkoitetut ajoneuvomoottorit tullaan sertifioimaan dynaamisesti vuodesta 2005 alkaen EU:ssa. On käyty keskustelua siitä, että myös työkonemoottoreilta edellytettäisiin tulevaisuudessa transienttimittauksia. Tämä saattaa realisoitua aikavälillä 2005 ja 2010. Toistaiseksi työkonemoottorien transienttikäyttäytymistä mitataan ainoastaan savutusmittauksina (77/537/EEC tai US EPA-savutustesteillä). Transienttimittauksen toteutuessa sen vaikutuksista päästötuloksiin tarvitaan tietoa hyvissä ajoin. Joka tapauksessa transienttitilanteet toteutuvat moottorien päivittäisessä käytössä ja mm. näkyvän savun minimoiminen nopeissa kuormanlisäyksissä on tarpeen.

Uusi transienttimoottoridynamometri tarjoaa erinomaiset mahdollisuudet erilaisten sähköisten säätöjärjestelmien dynamiikan tutkimiseen, kuten myös itse moottorin (mukaan lukien ahtamisjärjestelmän toiminnan) toiminnan tutkimiseen nopeissa kuormanmuutostilanteissa.

2. TAVOITTEET

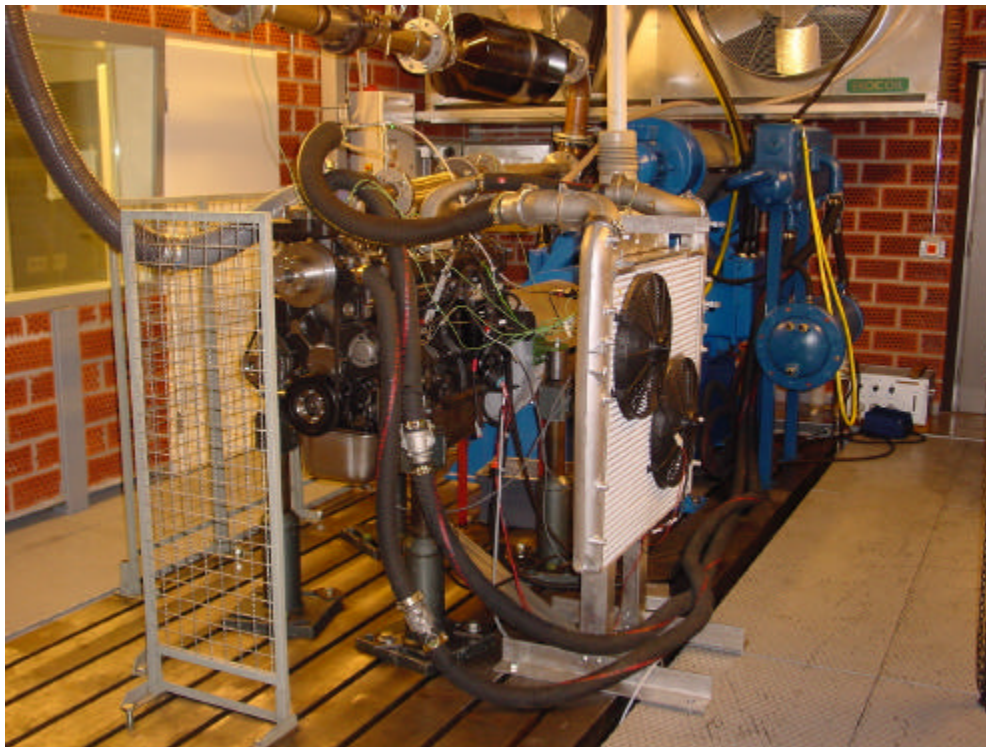
Tavoitteena on uusien koevalmiuksien avulla tuottaa tietoa, joka ohjaa tuotekehitystä kohti entistä pienempiä päästöisempiä ja käyttöturvallisempia moottoreita. Pakokaasupäästömittaukset erilaisilla sykleillä antavat tietoa tulevaisuuden päästövaatimuksista työkonemoottoreilla. Paitsi määräykset myös asiakkaiden vaatimukset ohjaavat tutkimusta. Nopeissa kuormanmuutostilanteissa päästöjen hallinta on hankalaa, eikä näitä tilanteita ole aikaisemmin voitu tutkia laboratorio olosuhteissa Suomessa. Moottorien sähköisten ohjausten yleistyminen antaa paljon mahdollisuuksia mutta myös virhemahdollisuudet varsinkin harvoin toteutuvissa erikoistilanteissa lisääntyvät. Uusilla koelaitteilla tehtävällä tutkimuksella pyritään parantamaan myös moottorin toimivuutta kaikissa tilanteissa.

3. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

3.1 Menetelmät

Tutkimus toteutettiin pääosin moottorikokeina uudessa transienttidynamometrissä (kuva 1). Pieni osa moottorin dynamiikkatutkimuksesta toteutettiin traktorikokeina niinikään uudella raskaan kaluston alustadynamometrillä.

Tärkeimpiä mitattavia suureita olivat pakokaasupäästöt mukaan lukien CO₂ (energiankulutus) ja moottorin toiminnalliset suureet. Päästöjen mittauksessa käytettiin nykyiset eurooppalaiset vaatimukset täyttäviä (direktiivi 1999/96/EC) mittalaitteita ja -menetelmiä.



Kuva 1. Kuusisylinterinen työkonemoottori transienttidynamometrissä.

3.2 Eteneminen ja resurssien käyttö

Kokeet tehdään arvioitujen resurssien mukaisesti, mutta aikataulua jouduttiin pidentämään tammikuulle 2003. Uudet koelaitteet otettiin käyttöön keväällä 2002 aikataulun mukaisesti, mutta aikataulu viivästyi muiden tehtävien aikana 2-3 viikolla ja edelleen tässä raportoitujen mittausten aikana noin viikolla, syynä kovien pakkasten aiheuttamat ongelmat uuden laboratoriorakennuksen jäähdytyspiireissä.

4. TULOKSET

4.1 Päästömittaukset eri sykleillä

Pakokaasupäästöjä mitattiin neljällä erilaisella käytössä olevalla tai suunnitellulla syklillä:

ISO8178C1: Käytössä oleva vakiokuormapisteistä koostuva koesykli, jolla nykyisin mitataan työkonemoottorien päästöt Euroopassa. Päästörajat 2002 alkaen ovat CO 3.5 g/kWh, HC 1.0 g/kWh, NO_x 6.0 g/kWh ja PM 0.2 g/kWh moottoritehoalueella 130-560 kW, mikä on projektissa käytetyn koemoottorin vastaava kokoluokka.

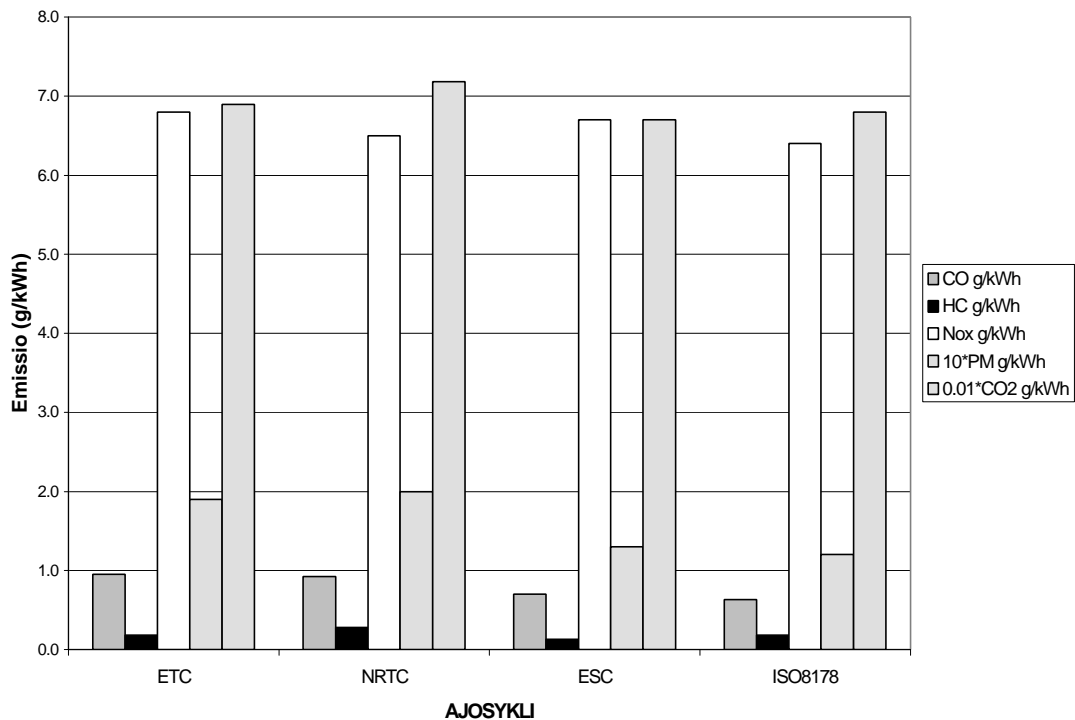
ESC: Edellistä vastaava eurooppalainen tieliikennemootoreiden koesykli. Päästörajat vuodesta 2000 alkaen ovat: CO 2.1 g/kWh, HC 0.66 g/kWh, NO_x 5.0 g/kWh ja PM 0.1 g/kWh.

ETC: Eurooppalainen dynaaminen koesykli tieliikenteeseen tarkoitetuille ajoneuvojen moottoreille. Päästörajat vuodesta 2000 alkaen ovat: CO 5.45 g/kWh, NMHC 0.78 g/kWh, NO_x 5.0 g/kWh ja PM 0.16 g/kWh.

NRTC: Työkonemoottoreille suunniteltu dynaaminen koesykli, joka tunnetaan myös nimellä San Antonio -sykli. Ei vielä virallisessa käytössä.

Syklivertailun tulokset ovat kuvassa 2. Vakiosyklien tuloksissa keskinäiset erot olivat pieniä, samoin transient-syklien keskinäiset erot. Eroja tuli syklityyppien välillä, ei tosin kaikissa päästökomponenteissa. Typen oksidien (NO_x) päästö on lähes vakio kaikilla koesykleillä. Hiilimonoksidipäästö on transient-sykleillä suurempi kuin vakiopistesykleillä. Myös hiilivetyypäästöissä on pieni samansuuntainen ero. Merkittävin ero tulee partikkelipäästöissä, jotka ovat transient-sykleillä lähes kaksinkertaiset vakiopistesykleihin verrattuna. CO₂ tulos kuvaa keskimääräistä tehoyksikköä kohden laskettua polttoaineenkulutusta ja siten myös koesyklin ”rankkuutta”. Non Road Transient -sykli (NRTC) on tulosten mukaan rankin sykli, mikä näkyy myös korkeimpana hiukkaspäästönä.

Hiukkaspäästön hetkellisiä arvoja voidaan mitata mm. jatkuvalla hiukkasmittauksella sekä toissijaisesti savutuksena. Suurimmat hiukkaskertymät tulevat nopeissa tehonlisäyksissä. Näissä kokeissa hiukkasia ei mitattu jatkuvasti. Ruiskutuksen optimoinnilla voidaan vaikuttaa hiukkaspäästöjen muodostumiseen ns. kiihdytystilanteissa, mutta syötön vähentäminen päästöjen vähentämiseksi vaikuttaa alentavasti suorituskykyyn tai moottorin reagoitinopeuteen, joten kyse on optimoinnista suorituskyvyn ja päästöjen kesken.



Kuva 2. Päästömittausten tulokset kuusisylinterisellä työkonemoottorilla eri koesykleillä.

4.2 Dynamiikkamittaukset

Moottorin ohjauksen dynamiikkaa ja mahdollisten ongelmatilanteiden hallintaa tutkittiin sekä traktorilla alustadynamometrissä että moottorilla transient-dynamometrissä. Kumpikin menetelmä todettiin hyvin käyttökelpoiseksi. Sähköisen ohjauksen vuoksi muutokset voidaan tehdä erittäin nopeasti ja muutosten vaikutukset moottorin toimintaan voidaan mitata välittömästi.

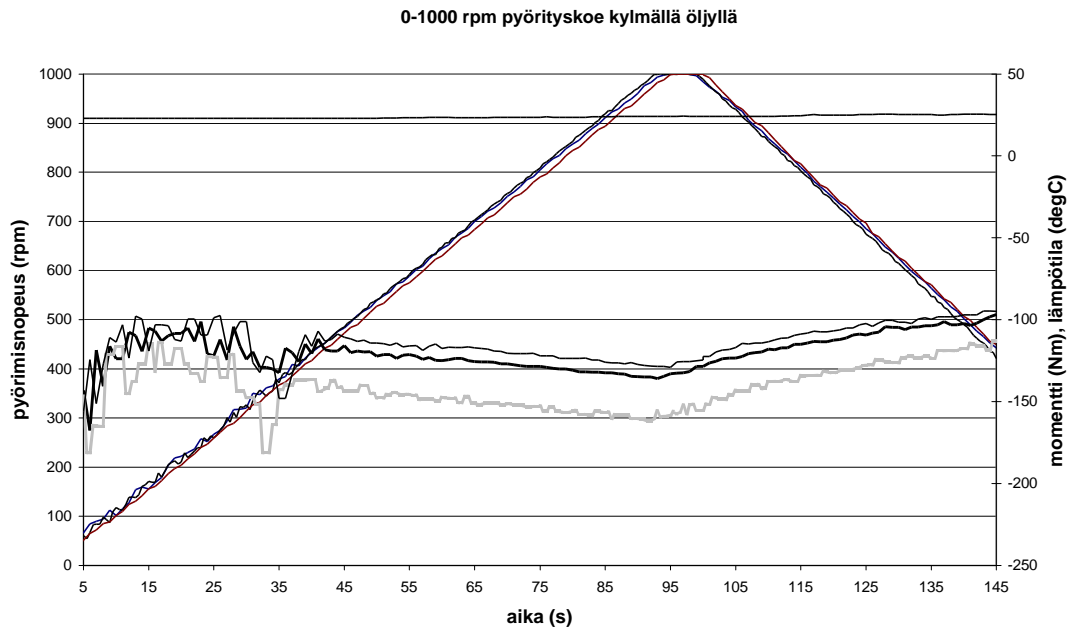
4.3 Kitkamittaukset

Työkonemoottorilla tehtiin käynnistystilannetta simuloivia kitkamittauksia kolmella voiteluaineella:

1. 5W30 viskositeettiluokan synteettinen öljy
2. 10W30 viskositeettiluokan mineraaliöljy
3. 10W40 viskositeettiluokan käytetty (50 h) mineraaliöljy

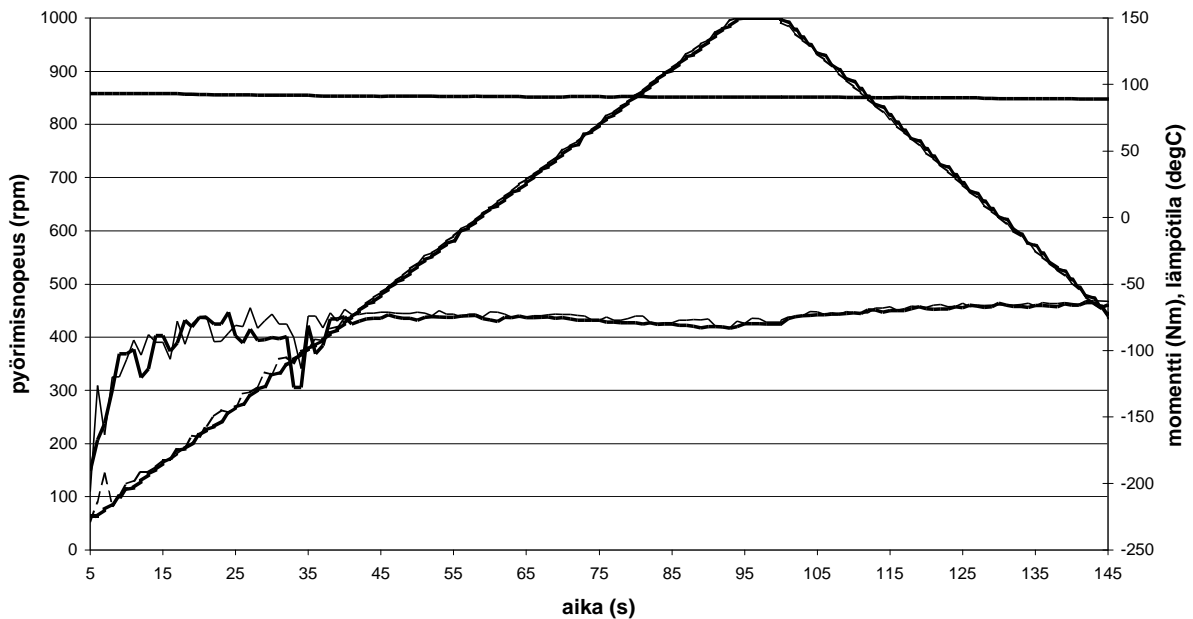
Kuvaan 3 on piirretty lämpötila, pyörintänopeus ja momenttikäyrät öljyn lämpötilan ollessa noin 25 °C, vastaavasti kuvassa 4 ovat käyrät öljyillä 1 ja 2 öljyn lämpötilalla noin 90 °C. Huoneen lämpötilassa öljy 10W40 luokan mineraaliöljy erottuu joukosta, pyöritysmomentti

on selvästi korkein. 5W30 öljyllä momentti on 5-10 Nm pienempi kuin 10W30 öljyllä. Kuumalla öljyllä (kuva 4) pyörintänopeus ei vaikuttanut momenttiin niin paljon kuin kylmällä öljyllä ja momenttia tarvittiin 40-60 Nm vähemmän kuin kylmällä öljyllä. Mitattujen öljyjen 1 ja 2 välillä ei käytännössä ollut eroa.



Kuva 3. Pyörityskoe kylmällä (n. 25 °C) öljyllä. Kokeet tehtiin pyörittämällä moottoria dynamometrin avulla nolasta tuhanteen kierrokseen ja takaisin. Pyöritysmomentit ovat jarrun tehdessä työtä negatiivisia arvoja. Paksu momenttikäyrä on mitattu öljyllä 2, sen yläpuolella oleva ohut käyrä öljyllä 1 ja alin käyrä (=suurin pyöritysmomentti) öljyllä 3.

0-1000 rpm pyörityskoe lämpimällä öljyllä



Kuva 4. Pyörityskoe lämpimällä (n. 90 °C) öljyllä. Paksu momenttikäyrä on mitattu öljyllä 2 ja ohut käyrä öljyllä 1. Käytetyllä öljyllä 3 mittausta ei tehty.

Moottorilla tehtiin myös ensisijaisesti CO₂ päästöön perustuva polttoaineen kulutusmittaus kaikkia kolmea voiteluainetta käyttäen. Mittaus tehtiin ISO8178 vakiopisteistä koostuvalla sykliillä. Kulutuserot olivat pieniä, öljyllä 2 mitattiin keskimäärin 1,6 % alhaisempi kulutus kuin kahta muuta voiteluainetta käytettäessä. Kyseisellä öljyllä kulutus oli pienin kaikissa syklin pisteissä. Huomionarvoinen seikka on myös, että öljyllä 1 mitattiin suurimmat kulutukset täyden momentin pisteissä. Vuonna 1988 julkaistussa raportissa (Nylund et. al. Ajoneuvojen kylmäkäyttö: Käynnistyminen, voitelu ja polttoaineenkulutus, VTT Tiedotteita 907) viitataan synteettisellä öljyllä mitatun vastaavaa mineraaliöljyä suuremman puristustyön pakkaslämpötiloissa ja sen oletettiin johtuvan männänrengasalueen paremmasta tiivistymisestä.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Transient-koesyklillä tehdyissä päästömittauksissa hiukkaspäästö on selvästi korkeampi kuin nykyisin käytössä olevissa vakiopisteistä koostuvissa mittauksissa.

Transient-moottoridynamometrin on todettu soveltuvan erittäin hyvin dieselmoottoareiden käytettävyyden optimointiin ja päästöjen minimointiin todellisia käyttöolosuhteita vastaavissa olosuhteissa.

6. JATKOSUUNNITELMAT

Tutkimusta on suunniteltu jatkettavaksi vuonna 2003. Tutkimus painottuu ensimmäistä vaihetta enemmän mahdollisiin keinoihin päästöjen pienentämiseksi todellisissa käyttöolosuhteissa. Tyypillisten käyttökohteiden syklit selvitetään ja päästöt näissä tyypillisissä sykleissä mitataan sekä tuloksia verrataan koesykleissä mitattuihin tuloksiin.