



VINNOVA REPORT
VR 2007:07

INDUSTRY REPORT ON EXHAUST PARTICLE MEASUREMENTS

- a work within the EMIR1 project

ARNE KANNEL - SCANIA, ANNE-MARIE RYDSTRÖM - VOLVO
& CLAES DE SERVES - AVL MTC

Title: Industry report on exhaust particle measurement - a work within the EMIR1 project
Author: Arne Kannel - Scania CV AB, Anne-Marie Rydström - Volvo Technology Corporation & Claes de Serves - AVL MTC
Series: VINNOVA Report VR 2007:07
ISBN: 978-91-85084-88-3
ISSN: 1650-3104
Published: May 2007
Publisher: VINNOVA - Swedish Governmental Agency for Innovation Systems / Verket för Innovatonsystem
VINNOVA Case No: 2001-04286

About VINNOVA

VINNOVA, the Swedish Governmental Agency for Innovation Systems, integrates research and development in technology, transport, communication and working life.

VINNOVA's mission is to *promote sustainable growth*
by funding *needs-driven research*
and developing *effective innovation systems*.

Through its activities in this field, VINNOVA aims to make a significant contribution to Sweden's development into a leading centre of economic growth.

The VINNOVA Report series includes external publications and other reports from programmes and projects that have received funding from VINNOVA.

VINNOVA's publications are published at www.VINNOVA.se

I VINNOVAs publikationsserier redovisar bland andra forskare, utredare och analytiker sina projekt. Publiceringen innebär inte att VINNOVA tar ställning till framförda åsikter, slutsatser och resultat. Undantag är publikationsserien VINNOVA Policy som återger VINNOVAs synpunkter och ställningstaganden.

VINNOVAs publikationer finns att beställa, läsa och ladda ner via www.VINNOVA.se. Tryckta utgåvor av VINNOVA Analys, Forum och Rapport säljs via Fritzes, www.fritzes.se, tel 08-690 91 90, fax 08-690 91 91 eller order.fritzes@nj.se

Industry report on exhaust particle
measurements
– a work within the EMIR1 project

by

Arne Kannel

SCANIA CV AB, Engine Laboratory
Dept NMOT, SE-151 87 Södertälje, Sweden

Anne-Marie Rydström

Volvo Technology Corporation, Dept.6700 M1.4,
SE-405 08 Göteborg, Sweden

Claes de Serves

AVL MTC, Box 223, SE-136 23 Haninge, Sweden

Abstract

The development of an analytical tool to measure particulate pollutants from combustion engines has been one of the major tasks within the EMIR1-project. The intention was to use the instrument in emission research studies and for the development of engine and exhaust after treatment systems. It was desired that the instrument should deliver a measure complementary to the regular mass based measurement of particulate matter, operating on a real-time scale. Furthermore, the instrument should be physically robust, show a high degree of analytical sensitivity and good repeatability. It should also be cost effective and easy to operate.

The instrument thus developed measures particle number concentration by sampling from the CVS-tunnel by hot dilution. It consists of a heated ejector diluter followed by one or more ejector diluters in series operated at room temperature. This set-up ensures that only non-volatile particles are measured, preventing the measurements to be affected by highly variable phenomena, such as nucleation, that are essentially impossible to control. The particle number concentration is measured by use of a Condensation Particle Counter.

This report concerns measurements using the instrument developed within the EMIR1-project. The instrument has been used at Scania, GM Powertrain Sweden, and Volvo Car Corporation. The main goal with these measurements has been to evaluate the performance of the instrument, and the usability when performing measurements on various cars and engines with sampling from both the CVS-dilution tunnel and tailpipe.

It has been found that the dilution ratio of both the heated ejector and the one following is affected by the operational temperature of the first.

In order to determine the dilution ratio of the ejector diluters, it is concluded that the calibration of these, using trace gas measurements, should be performed in a careful manner.

A high proportion of the particles measured in the size range 10-23 nm are associated with non-volatile material and are accordingly not removed by heated dilution in the EMIR1-instrument.

All the participating laboratories have performed evaluations concerning the repeatability of measurements either using manually operated vehicles or fully automated operation of vehicles and engines. Generally, it has been found that the instrument is able to detect small excursions in the operation of the examined engine or vehicle. In the automated tests the repeatability in the measurements is improved and it is thus concluded that the instrument is

a sensitive analytical tool showing good repeatability during repeated testing. Furthermore, it has been shown that the instrument is a suitable tool to detect minor defects in DPFs affecting the particle filtration performance.

Content

1	Introduction	7
1.1	The dynamic appearance of exhaust particles	7
1.2	Particle number concentration measurements	9
1.3	The EMIR1-project.....	10
2	Experimental	12
2.1	Instrumental set up.....	12
2.2	Ejector diluter	13
2.3	Condensation Particle Counter	14
2.4	Instrumental set-up and tests performed at participating laboratories.....	15
3	Results and discussion	18
3.1	Ejector diluters and the DR.....	18
3.2	CPC cut-off studies.....	19
3.3	Operational range of the EMIR-instrument	21
3.4	Repeatability of measurements	22
3.5	Equipment: handling , robustness and transport manner.....	24
3.5.1	Handling	25
3.5.2	Robustness.....	25
3.5.3	Transport	25
3.6	Further development of the EMIR-instrument	25
4	Conclusions	27
5	References	29
	Appendix A: Calculation of Cr; the corrected CPC particle number concentration	30
	Appendix B: CVS-sampling: calculation of particle number per cycle (or time period).	32
	Appendix C: RAW (tailpipe) exhaust sampling: Calculation of particle number per cycle (or time period).	34
	Annex 1 (21 pp)	
	Annex 2 (33 pp)	
	Annex 3 (24 pp)	
	Annex 4 (21 pp)	

1 Introduction

The reduction and control of particulate pollutants from combustion engines are important from both the perspective of human health as well as environmental concerns. As an effect of the increasing awareness of adverse health effects related to particulate pollutants lower particulate mass (PM) emission limit values are gradually introduced.

The EMIR1-project (EMission Research) was initiated in order to develop a real-time particle number concentration measurement procedure to generate information for engine development and exhaust studies. The method should be a complementary to PM measurements. The EMIR1-project also aimed to create a forum for the exchange of knowledge and information between participating parties (Volvo Car Corporation, Volvo Technology, Volvo Powertrain, GM Power-train Sweden, Scania, KTH, and AVL MTC) in the field of particulate pollutants and the measurements of these pollutants.

1.1 The dynamic appearance of exhaust particles

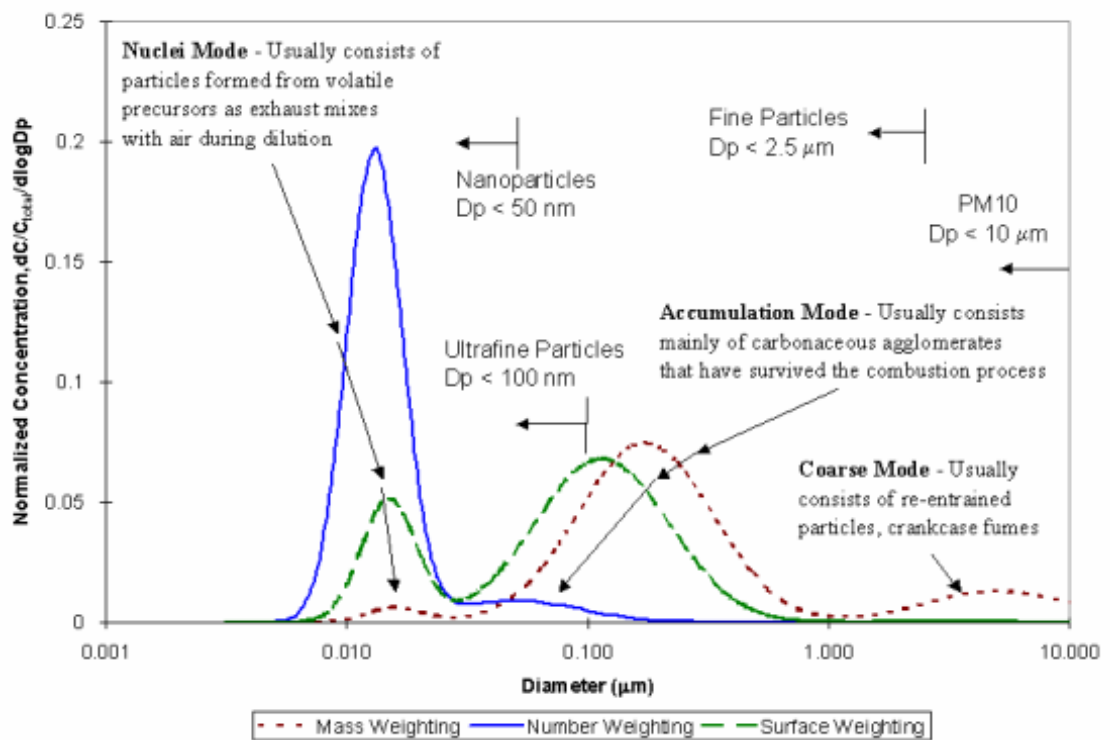
Exhaust particles are typically made up by a core of agglomerated carbonaceous spherules forming a highly branched 3-dimensional structure with different associated components such as hydrocarbons, ash, and sulphur species. Particles may thus be described by different characteristics such as mass, number concentration, size distribution, surface area, or chemical composition. However, these characteristics are affected by the environment surrounding the particles such as particle number concentration, the concentration of organic components or sulphur species, and temperature. Thus, particle appearance changes with the position of observation from the combustion chamber, the exhaust system, the laboratory dilution tunnel, and also by the measurement system.

Coagulation is one of the processes affecting the particle population in that particles collide with each other to generate fewer but larger particles. This process is strongly dependent of particle concentration. Surface growth is a process in which gas-phase molecules attach to existing particles by adsorption changing the particles size distribution. In addition, particle number concentrations may be largely altered through homogeneous nucleation in which gas-phase molecules sticks to each other to form clusters and eventually new particles. Both surface growth and nucleation are dependent on vapour pressure of the gaseous compounds and thus temperature.

As the particles are emitted from the tailpipe into ambient air, the dilution ratio (DR) changes drastically (a factor of 1000 within a few seconds), and the temperature as well as the concentration of particles and gaseous exhaust species are reduced. Consequently, the process of coagulation and nucleation is to a great extent halted. If however, the emissions occur in a normal laboratory dilution tunnel system (CVS), the DR is typically in the range from 5 to 50. Under these conditions the onset of nucleation may be rapid which drastically changes the number concentration of particles (Kittelson et al., 1998).

An idealised diesel particle distribution is shown in (Figure 1) illustrating the relations between mass, number, and surface area distribution.

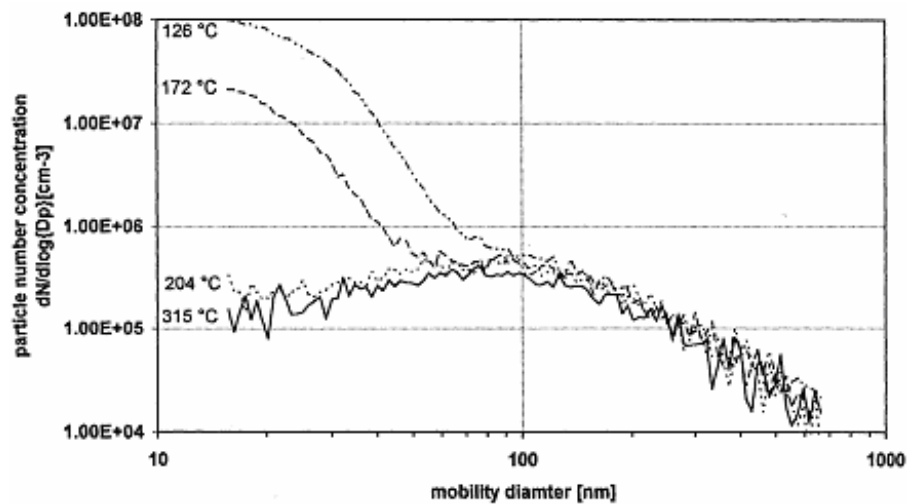
Figure 1 An idealised diesel exhaust particle distribution (Kittelson et al., 2002a).



The highest particle concentration numbers are found in the nuclei mode representing the smallest particles. However, the mass represented by this mode in relation to the mass of the aerosol particle population is low (1-20%). Most of the particulate mass is found in the accumulation mode with particle diameters between 0.1 µm and 1.0 µm. The largest particles are found in the coarse mode representing 5-20% of the particulate mass while the particle numbers are very low.

Nucleation particles are usually composed by condensed volatile material. (Matter *et al.* 1999) measured the effect of a diesel particulate filter (DPF) and observed that the number of small particles downstream the DPF may exceed the number of particles upstream the DPF at high engine loads. By use of a thermodenuder (a heated tube that vaporises condensed material subsequently trapped by an absorbent) they showed that particles smaller than 100 nm to a large extent are composed by volatile matter of which a major fraction was sulphur related.

Figure 2. Particle size distribution downstream a particle trap at different temperatures of a thermodenuder (Matter *et al.*, 1999).



Similar observations have been made by, for example, (Lüders *et al.* 1998) and (Mayer *et al.* 1998) suggesting that nucleation particles are mainly composed by volatile material as they to a great extent are removed if thermodenuders are used at sufficiently high temperature. Thus, particles from combustion engines have different states: solid, solid with volatile coating, and totally volatile particles. These states may be largely altered due to the operation of the vehicle and the conditions at which the particles are measured. Differences in particle numbers of several decades have been reported (Abdul-Khalek *et al.*, 1999). Thus, a correct handling of the volatile fraction is essential since it has been shown that volatile components may alter the measurements through condensation and nucleation processes. It may therefore be concluded that measurements of only number or mass at a certain thermodynamic state will not be readily connected to any values of either mass, surface, number, or chemistry.

1.2 Particle number concentration measurements

The legislated emission limits are gradually set at lower and lower values. Currently, both the European Union and the United States use PM, measured as filter weight increase during a test run, as the regulating

parameter. The Environmental Protection Agency (EPA) in the United States is keeping PM as the measure for the new tight emission limits for the 2007 on-road heavy-duty diesel requirement. They have imposed tighter control of the exhaust dilution and filter weighting procedures and thus lowered the detection limit of PM for the standard CVS-system. These enhancement will probably also be applied for the light duty vehicles. In the EU, there is for the Euro5 regulation a wish to lower the PM limit values such that DPF will, in practise, be mandatory. Regulators are also aiming at introducing particle number emission limit values for which there are several arguments. Firstly; scientific studies have revealed that both acute and long term effects to human health are possibly of larger relevance for fine particle size fractions rather than the coarse fraction (*Nordlinder et al., 2004*). As the nucleation mode is largely masked by larger particles in a mass measurement, a number based measurement is an attractive option in order to obtain a more health related measure. Secondly; measurement of particle numbers is considerably more sensitive as compared to gravimetric measurements and may thus be a suitable tool for low emissions measurements. Thirdly; a particle number concentration measurement may prevent the development of filters that significantly reduces PM but allows nuclei mode particles to pass.

In the work of engine development and vehicle construction there are additional needs of tools that may follow transient driving cycles in 'real-time'. Thus, in order to attain relevant information for research and legislative purposes new measurement and sampling techniques are needed. The new techniques should, ideally, be stable to thermodynamic variables such as sampling temperature, DR, and residence time in order to provide stable and reproducible data that are comparable between different laboratories. It is also important that the measured properties are relevant to human health effects. The instrumentation desired should also be user friendly to obtain relevant and stable results.

1.3 The EMIR1-project

In perspective of the above, the EMIR1-project aimed to develop an instrument for stable and reproducible real-time particle number concentration measurements performed from the CVS-tunnel. Consequently, in the measurement procedure it was necessary to suppress the influence of condensed particulate material from the measurement of solid state particles. The strategy was to reduce the vapour pressure and concentration of gas-phase condensable species and to vaporise condensed volatile material by hot dilution.

The EMIR1-project runs in parallel with the UNECE/GRPE working group Particulate Measurement Program (PMP) that started after the initiation of the EMIR1-project. The PMP has proposed an amendment to Regulation 83 Annex 4 (*GRPE-48-11, 2004*) which includes a new particulate mass measurement procedure as well as a procedure to measure particle number concentrations to be measured in parallel. The PMP particle number concentration measurements is suggested to be performed from the CVS-tunnel using hot dilution combined with an evaporation tube (a heated open tube to vaporise condensed material) and a particle number count instrument. It is thus obvious that the EMIR1 and the PMP has a common measurement approach but the two projects are also complementary to each other since the method developed in EMIR1 under no circumstances aims to be a certification tool but a simple, low-cost analytical tool to meet the needs of for example engine development and emission research.

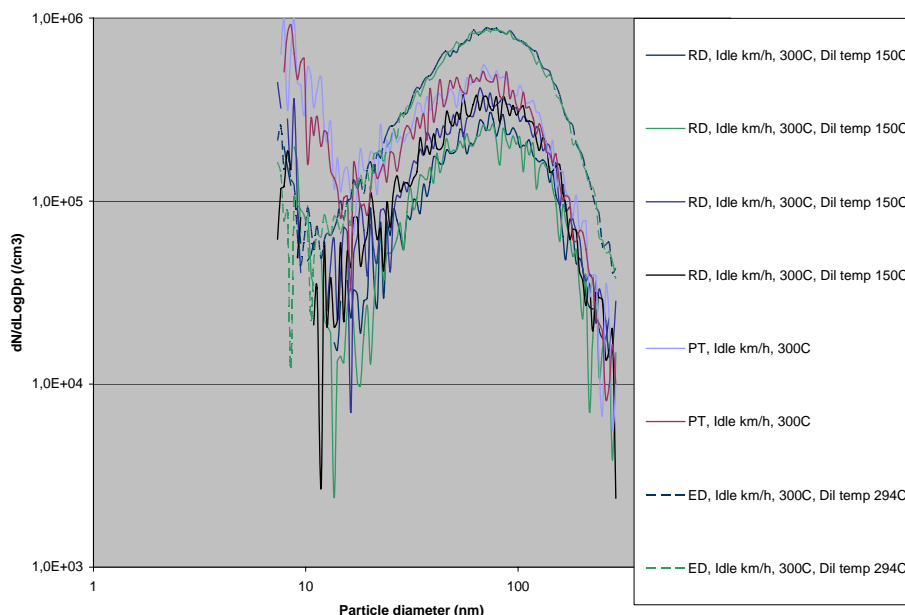
This report concerns the results generated by the three laboratories that were engaged in the EMIR-instrument exhaust emission laboratory evaluation: Scania, GM Powertrain Sweden, and Volvo Car Corporation. The evaluation was performed using the EMIR-instrument in both tailpipe and CVS-measurements. The usability as well as the performance of the instrument was evaluated.

2 Experimental

2.1 Instrumental set up

The particle dilution set up finally decided to be used in the EMIR-instrument consists of a heated ejector diluter fed with heated dilution air for the evaporation of volatile material. After the heated ejector, one or more cold ejector diluters follow to lower the particle concentration and to reduce the temperature in the diluted sample before entering the particle detector. The dilution system was chosen among three candidate systems during a session at AVL MTC earlier in this project (Annex 1). This study included one system with a heated porous tube diluter, a system with one hot and one cold ejector diluter in series, and a third system consisting of a rotating disc diluter in front of an evaporation tube. The results from this study implies more stable accumulation mode measurements for the ejector diluters as compared to the measurements using the porous diluter or the rotating disc diluter at the same particle concentrations (Figure 3). The ejector diluter is simple and robust to use, and it may operate at high temperatures (up to 500°C). Furthermore, the DR may relatively easy be determined by use of a trace gas.

Figure 3 CVS particle concentrations at idle measured with SMPS. The porous tube and ejector diluters were operated at 300°C, and the rotating disc diluter was operated at 150°C with the evaporation tube at 300°C.



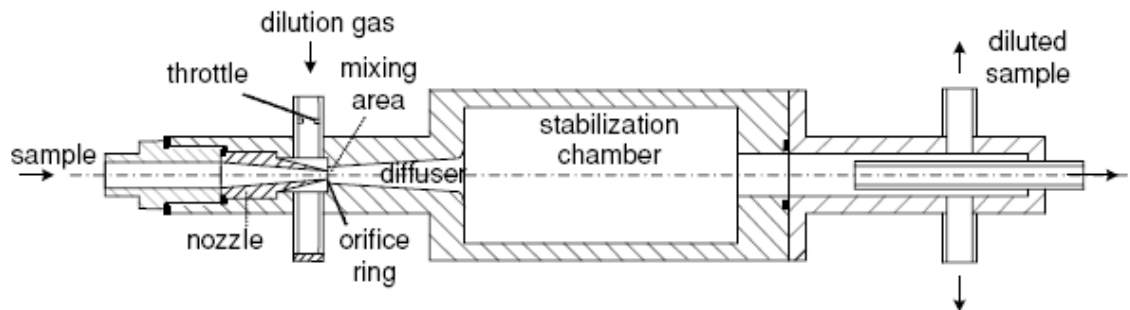
The temperature at the mixing point inside the first ejector was monitored during the measurements. The temperature of the first hot dilution step was determined during the diluter study to be set to 350°C. It was shown that at 300°C the main part of volatile fraction of the particles was evaporated. An increase of the temperature up to 450°C did not show a further evaporation of the volatiles. The temperature of 350°C was thus chosen.

2.2 Ejector diluter

Ejector diluters are well spread and used in many applications. In several studies the ejector diluter is used as a secondary diluter (*e.g. Khalek, 2000*) whereas in other studies the ejector is used as the primary and only diluter (*Pattas et al., 1998, Green and Witze, 2000*).

The ejector diluter used in this study (Dekati) is described in (Figure 4), below. The sample is pulled and diluted as dry, particle free, and heated pressurized air enters the first section of the ejector (the ejector cavity). The dilution air flows tightly around a nozzle at a high flow velocity causing a pressure drop over the nozzle and consequently the sample is pulled into the diluter via the sampling line connected to the nozzle. The sample is mixed with the dilution air in the diluter by turbulence resulting in a homogeneous dilution of gases and particles (*Burtscher, 2001*).

Figure 4. Schematic of an ejector diluter (*Giechaskiel et al., 2004*).



The sample flow rate of this type of diluter is around 6 L/min and the nominal DR of the diluter is around 1:8 (the DR can be varied in a relatively narrow range, typically 1:5 to 1:10 by changing the dilution air pressure).

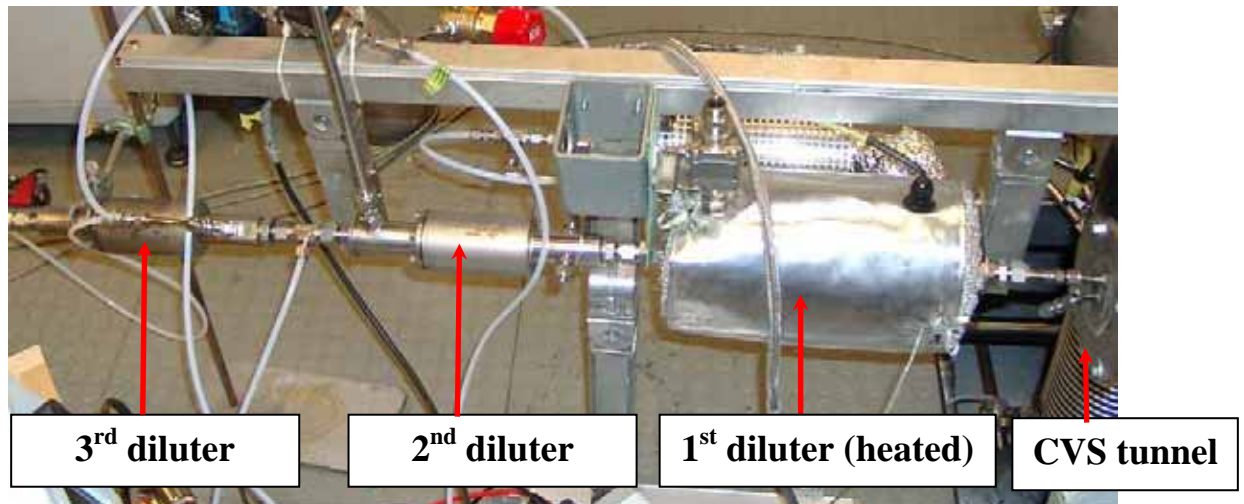
As the DR is dependent on the sample line pressure, dilution air pressure, atmospheric pressure, and the temperatures of the sample and the dilution air, control of the DR is essential by use of a suitable trace gas measured in the CVS-tunnel and after dilution.

One or more ejectors need to be used in series with the first ejector. The first diluter was heated by use of a heating mantel (Figure 5). The dilution air used for this diluter was heated to the same temperature prior to injection

into the ejector. The ejector and the dilution air temperatures were monitored.

Ejectors connected in series to the first ejector diluter were all at room temperature as was the dilution air to these ejectors.

Figure 5. Three ejectors in series connected to the CVS-tunnel.



2.3 Condensation Particle Counter

A Condensation Particle Counter (CPC) was used to determine the number concentration of particles in the diluted exhaust flow. The CPC used in this measurement set up was a model 3010 manufactured by TSI Inc (Figure 6). The measurement range of this instrument covers particle sizes from 10 nm up to 3 μm . However, particles larger than 1 μm is practically insignificant in regard to a normal vehicle particle exhaust.

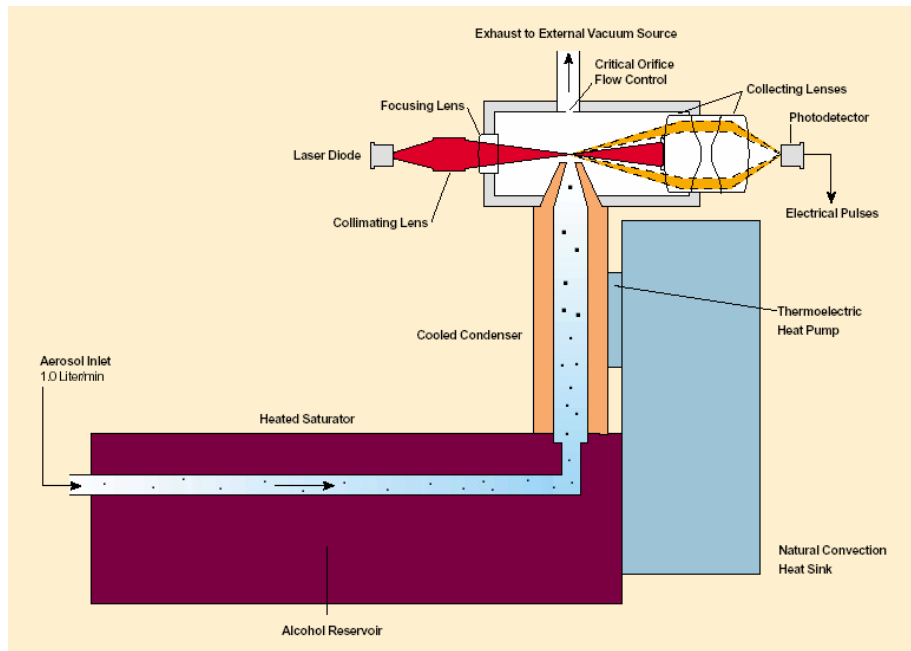
Upon entering the CPC, the sample passes through a saturator block, where n-butyl alcohol evaporates into the sample stream. The flow becomes saturated with alcohol vapor. The sample then passes into a vertical condenser tube cooled by a thermoelectric heat pump. Here, the alcohol vapor supersaturates and condenses onto virtually all particles larger than 10 nm, regardless of chemical composition. As droplets exit the condenser, they pass through a thin ribbon of laser light. Light scattered by these droplets is collected by optics and focused onto a photodetector. The photodetector converts the light signal to an electrical pulse, which is recorded as a particle count.

The lower particle size is decided by the difference in temperature between warm up and cooling. In the standard set up for the TSI 3010 the temperature difference is 17°C which corresponds to a cut point of 10 nm. The PMP project suggest a lower cut point to be set at 23 nm, which

according to the manufacturer corresponds to a difference in temperature of 9°C.

The upper concentration limit for TSI 3010 is 10000 particles per cubic centimeter.

Figure 6. Schematic principal drawing of TSI 3010 Condensation Particle Counter.



2.4 Instrumental set-up and tests performed at participating laboratories

The instrument was used at each laboratory in order to examine the stability and repeatability, and to evaluate the usability and handling of the instrument. The general set-up of the EMIR-instrument is illustrated in (Figure 7. Schematic of the instrumental set-up using trace gas measurements for the determination of DR.. Different questions were in focus at each laboratory and are summarised in **Fel! Hittar inte referenskälla.**, below.

At Volvo Car Corporation the number concentration of particles in the size range 10 to 23 nm was determined by using two CPC 3010 simultaneously after the ejector diluters. One CPC was used with its default set up with a lower cut point at 10nm and the other CPC was set to a lower cut point at 23 nm. The particle number concentrations measured by the two instruments were then used to calculate the number concentration of the size fraction of 10 to 23 nm.

The DR was determined by use of HC (e.g. propane).

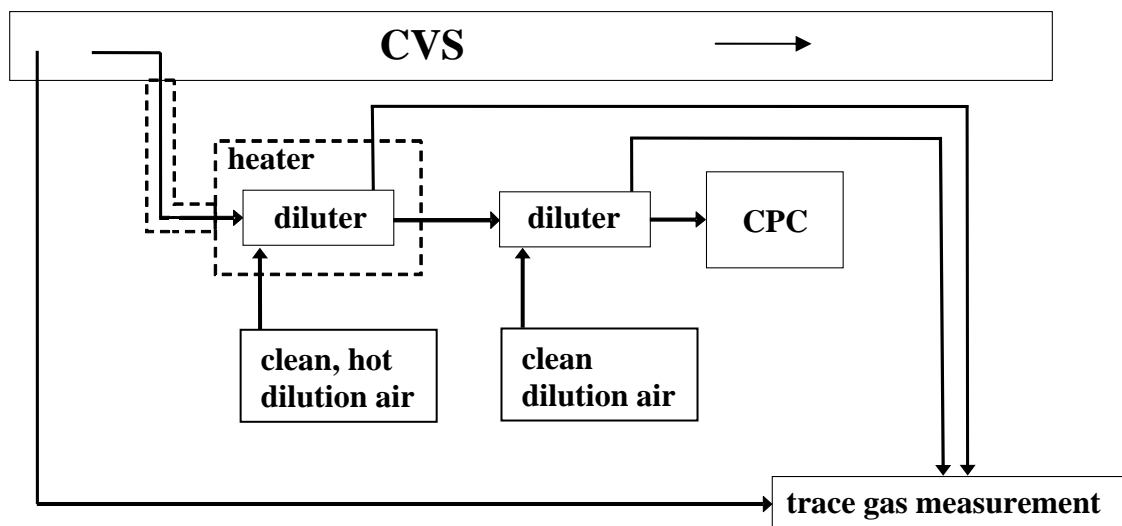
At Scania a CVS system was compared to a Mini Dilution system as the first exhaust gas dilution.

CO₂ was used to measure and control the DR, a correction from dry to wet gases was neglected due to low water content in the diluted gas to the hot diluter.

GM Powertrain Sweden examined the EMIR-instrument at both CVS and tailpipe position. At tailpipe, initial problems with condensation of water in the tubing to the heated ejector was solved by insulation and heating of the tubing. A temperature of 250°C was found to be sufficient.

The DR was determined by use of NO_x.

Figure 7. Schematic of the instrumental set-up using trace gas measurements for the determination of DR.



Fel! Hittar inte referenskälla. **Summary of the test programme performed at the participating laboratories.**

cars/engines: fuels	Studies reported	Test cell type	Sampling Position	Number of ejectors	cycle	Laboratory
7 cars: gasoline	1.particle number	chassidyn.	tailpipe	4	NEDC, FTP75	GM Powertrain Sweden
3 cars: CNG, E85	1.particle number	chassidy n.	tailpipe	4	NEDC, FTP75	GM Powertrain Sweden
1 cars: diesel	1.particle number 2.repeatability	chassidy n.	CVS	4	EUDC	GM Powertrain Sweden
3 cars w/wo DPF or w/wo catalyst: diesel	1.particle number	chassidy n.	CVS	2-4	NEDC	GM Powertrain Sweden
1 engine w DPF: diesel	1.particle number 2.CVS/mini tunnel 3.repeatability	engine - bench	CVS/ Mini tunnel	2	ESC, ETC	Scania
2 cars: gasoline	1.particle number 2.repeatability 3.CPC cut-off	chassidy n.	CVS	2-3	NEDC FTP75	Volvo Car Corporation
1 car-DPF: diesel	1.particle number 2.repeatability 3.CPC cut-off	chassidy n.	CVS	2-3	NEDC FTP75	Volvo Car Corporation
1 engine-DPF: diesel	4.soot accumulation in DPF	engine - bench	tailpipe	4	NEDC	Volvo Car Corporation

DPF, Diesel Particulate Filter
NEDC, New European Driving Cycle
ESC, European Stationary Cycle
ETC, European Transient Cycle
FTP75, Federal Test Procedure-75

3 Results and discussion

3.1 Ejector diluters and the DR

If absolute particle concentration measurements are of interest it is necessary to use correct DR data for the ejector diluters. In case of more qualitative studies the absolute concentration may not be of highest priority but stable DR is still a minimum requirement. The work presented in this report shows that the DR for the EMIR-instrument is constant if the conditions (sampling and dilution air temperature and pressure) are stable: GM Powertrain Sweden reports DR 75.3 ± 1.78 ($n=6$) for two diluters in series, Scania reports DR of 8.02 ± 0.17 ($n=13$) for the first diluter.

(*Giechaskiel et al. 2004*) shows that the DR of ejector diluters is dependent on a series of parameters including the properties of the sample (composition, pressure, and temperature), the dilution air, and the ejector waste gate pressure. These parameters need to be taken into account in order to reduce DR alterations.

Sample condition is a parameter that may change which is especially true during a transient test. Sample temperatures from a CVS-dilution tunnel normally ranges from 20°C to 50°C corresponding to an increase in DR by 8% (*Giechaskiel et al., 2004*).

Dilution air pressure is controlled by a pressure regulator and in combination with the critical orifice integrated in the ejector diluter, and as dilution air temperature is controlled, variations in DR caused by the dilution air are not likely.

Waste gate exhaust from the diluter is normally ventilated into the ambient air and as an effect of the maximum range of atmospheric low and high pressure, variations in DR may change in the range of $\pm 5\%$. If, however, the waste gate flow is restricted by for example significant lengths of tubing or downstream instrumentation, the DR of the ejector may be drastically increased (*Giechaskiel et al., 2004*).

Thus, it is obvious that the conditions of the diluters should be kept as constant as possible and that calibration of the ejectors should be performed at similar conditions as are experienced during measurements.

Calibration of the DR in the EMIR1-project was performed using offline trace gases: GM Powertrain Sweden used NO_x, Scania used CO₂, and Volvo Car Corporation used propane. A general conclusion that may be drawn from this work and the observations presented above is that the trace

gas concentration should allow DR to be measured for at minimum two diluters in series.

Using online measurement of combustion CO₂ before and after a diluter during actual engine test has the advantage of measuring dilution under actual conditions. The CO₂ concentration is measured in an analyzer after drying the sample gas, which means that a dry to wet calculation has to be made (at least for the first diluter if connected to raw exhaust gas which contains up to 11% water in gas phase). Considering the CO₂ in dilution air and measurement precision of existing CO₂-analyzers, this technique is limited to diluter outlet CO₂-concentration of about 0.1%.

Using online measurement of NO_x before and after a diluter in two heated wet analyzers (e.g. HCLD) would create the ideal condition for measuring DR during actual test condition. In that case a heated sample line is needed for the raw exhaust gas, and possibly after the first diluter, depending on the moisture of the dilution air.

Finally it should be noted that since the sampling nozzle diameter in the diluter is small (about 1 mm), build-up of deposited material or blockage may change the flow characteristics of the nozzle and thus DR. This effect should be especially important during tailpipe sampling and accordingly necessary precautions should be taken into account when such measurements are performed.

Some general recommendations may be extracted from the discussion above:

- If ejector operation temperature is changed calibration should be performed.
- Calibration trace gas concentration should allow DR to be measured for at least two ejectors in series.
- Ejector calibration should be performed at similar conditions as are experienced during measurements.
- Online CO₂ may be used for calibration.
- Caution with deposition in or blockage of the ejector nozzle at raw exhaust sampling.

3.2 CPC cut-off studies

As a comparison between the EMIR-instrument and measurements performed following the PMP-protocol, the EMIR-instrument demands a higher DR as compared to the PMP. This is an effect of the different CPC cut-off used: 10 nm for the EMIR instrument, and 23 nm for the PMP.

The Volvo Car Corporation report clearly shows that a large fraction of the particle concentration, typically around 40% in the high speed section of the cycle and about 60% in the low speed area are found in the size range 10 to 23 nm that is measured by the EMIR-instrument but not according to the PMP-protocol (Figure 8). Since the first dilution step is heated to 350°C this fraction consist of solid particles. Previous studies of the ejector diluter set up (Annex 1) shows that no renucleation occurs at this temperature (Figure 9)

The large proportion of particles with a diameter of 10 to 23 nm has another implication: The cut-off of the CPC is determined by the difference of the cold and warm parts. This temperature difference is hard to measure and control accurately which indicates that the cut-off between different instrument can vary which means that the number will differ. Thus should it be difficult to measure accurately according to the PMP-protocol.

Figure 8: Difference in particle numbers due to CPC cut-off

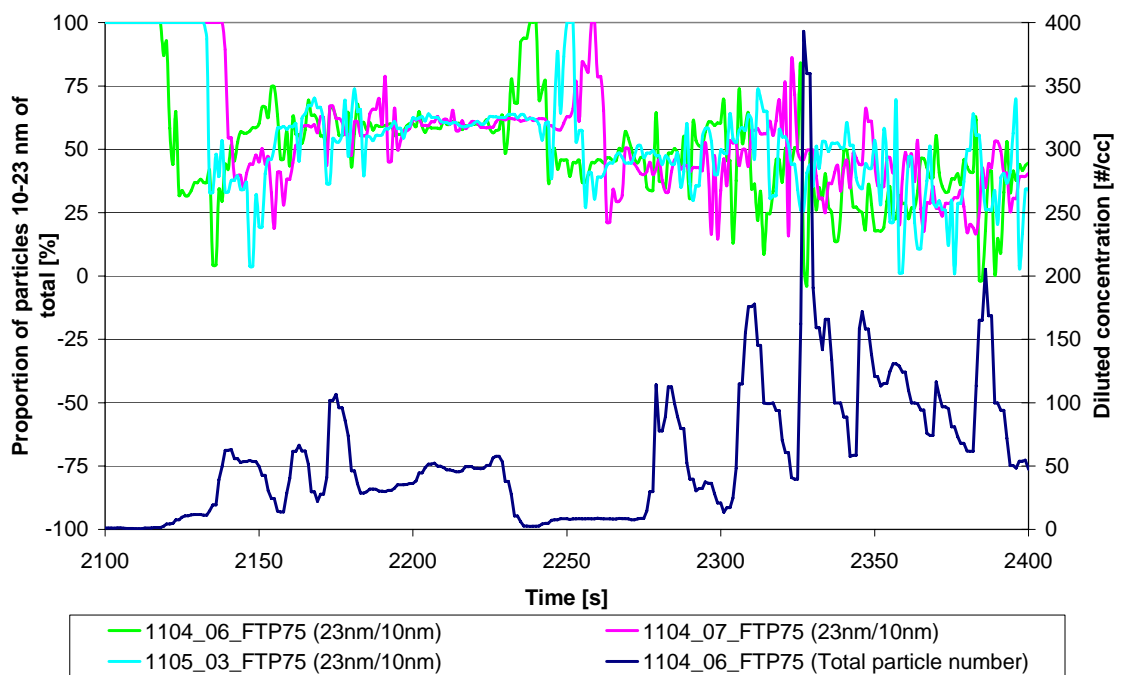
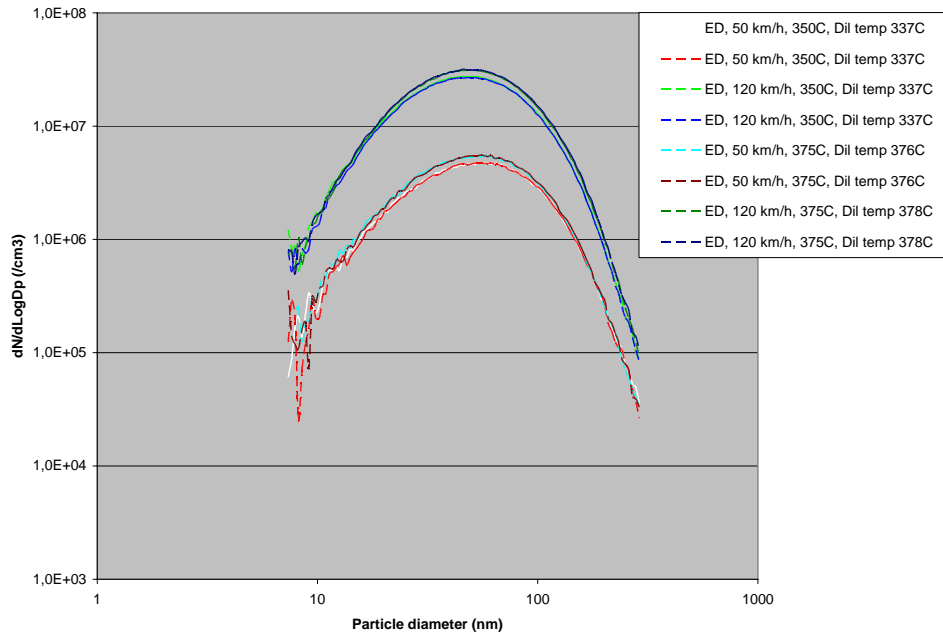


Figure 9 No renucleation occurs at 350°C and above.



3.3 Operational range of the EMIR-instrument

The measurement range of the CPC is from less than 1 particle/cm³ to 10000 particles/cm³. This range may be regarded as quite narrow for particle number concentration measurements and consequently it may constitute a limitation at some circumstances if the ambition is to use the instrument in an optimal way meanwhile not to lose any peak values due to “over range”.

Peak values, however short in time, may be very high as compared to the emissions during the remainder of the test cycles. Especially for gasoline vehicles cold start effects and high speed driving are associated with increased emissions (clearly illustrated in for example the Volvo-report). Diesel vehicles normally show much less of these effects but if the vehicle is equipped with a DPF increased cold start emissions are normally observed. In addition to this, increased particle number emissions are also observed during DPF-regeneration. Accordingly, if DPF measurements are performed, it may be recommended to use high enough DR in order not to lose data.

Volvo Car Corporation observed gradually decreasing particle number concentrations when performing measurements on DPF soot accumulation during 50 consequent cycles. The entire measurement range of the instrument was used for the first cycles with idle concentration at around 500 particles/cm³, while the last cycles shows single particle idle

concentrations of up to peak concentrations of approximately 1000 particles/cm³.

3.4 Repeatability of measurements

Repeatability of the measurements is an issue that has been discussed in all three reports. As the measurements includes an engine or a vehicle, the reported instrumental performance also includes external factors such as: performance of the vehicle or engine and its exhaust after treatment system, operation of the engine or vehicle, performance of the break or the chassis dynamometer, performance of the CVS or sampling device. Thus, the repeatability data presented in the reports enclosed does not represent an evaluation of the instrumental performance.

GM Powertrain Sweden reports particle concentration measurements below 200 particles/cm³ in the high speed part of the NEDC cycle showing good agreement between particle number concentration and individual cycle driving pattern. Cycle to cycle variation was, however, obvious and was attributed to different drivers. When using only one driver, the repeatability was significantly improved showing variations between the 5 cycles only in the 120 km/h part of the cycle. These observations clearly indicate that the cycle to cycle variation observed in the measurements is more an effect of external parameters such as vehicle performance or driving than measurement performance of the EMIR-instrument.

At Volvo Car Corporation, repeatability tests with particle concentrations in the same range as for GM Powertrain Sweden have been performed. A passenger car was used in the FTP75-cycle showing small cycle to cycle variations (10-20% at peak emissions). As for GM Powertrain Sweden, the repeatability measured is a function of both instrumental performance and external parameters. Volvo also reports DPF soot accumulation measurements performed without using a driver but fully automated thereby greatly reducing cycle to cycle variation. Strictly, this test can not be regarded as a repeatability test since the particle concentrations gradually decreases due to DPF soot accumulation thereby increasing collection efficiency. However, details from cycle to cycle are very well reproduced showing significantly better agreement as compared to the tests involving a driver. Thus, two conclusions may be drawn: the EMIR-instrument performs measurements with a high degree of repeatability, and it is a very sensitive tool able to detect small variations in vehicle or operation performance.

Scania reports an engine test bed repeatability study for a diesel engine with DPF in the ESC and the ETC cycles. Again, differences observed are

attributed to external factors including the performance of the engine or the DPF.

For the CVS setup, the mean value and standard deviation for the ESC and ETC cycles respectively were $(6.09 \pm 1.11) \cdot 10^{12}$, and $(4.85 \pm 0.61) \cdot 10^{12}$ particles/cycle.

The repeatability for the Mini tunnel was better than for the CVS with emissions for the ESC of $(4.53 \pm 0.42) \cdot 10^{12}$ and $(4.90 \pm 0.54) \cdot 10^{12}$ particles/cycle respectively. Expressing the repeatability as Coefficient of Variation (COV) the corresponding figures will be: 18% and 13% for the CVS measurements, and 9% and 11% for the MTL measurements.

Furthermore, the repeatability was also examined using stationary driving modes from the ESC cycle using a pattern of mode tests as recommended by Ricardo. The test shows that both the engine and the EMIR-instrument perform in a repeatable.

3.5 Equipment: handling , robustness and transport manner.

Figure 10 The basic setup of the measurement system with two diluters



The system components are in about sample flow order:

- A. Sampling tube. (12 mm OD 10 mm ID stainless steel tubing)
- B. Warm ejector diluter in heating jacket.
- C. Cold ejector diluter.
- D. Heater for dilution air.
- E. Regulator for the dilution air heater.
- F. HEPA filter for the dilution air.
- G. Connection for trace gas measurement (6 mm Teflon tubing)
- H. Regulator for the heating jacket
- I. Common tubing for excess air outlet
- J. Tubing (12 mm) of black electrically conductive polymer to the CPC.

- K. CPC 3010
- L. Cable for warm mixing point thermocouple.
- M. Vacuum pump with vacuum gauge.
- N. Shop air pressure regulator with primary air filters.

3.5.1 Handling

Generally, the equipment is to be regarded as a prototype which needs more development. From the user side, it is desirable to have all components mounted in one box/module with connectors to sample line, power, shop air and vent gas.

The basic setup with two diluters can be placed on two carts with adjustable heights (Figure 10). This setup is rather flexible and can be handled in test cells and control rooms. If more than two diluters are needed, the setup will be more space demanding.

When measuring on undiluted tailpipe exhaust, it is important to use heated sample lines to avoid problems with water condensing before the first dilutor.

Measuring dilution ratios with gas analyzers makes the total handling procedure rather complicated, and demands personnel used to advanced emission measurements.

3.5.2 Robustness

Once the equipment is mounted, connected to sample point and running, it can continue working for one week (five workdays) without refill of n-butyl alcohol. This makes it a “robust” instrument setup, though the mechanical robustness needs to be improved.

3.5.3 Transport

The equipment on the carts in Figure 11 can be disassembled and transported in one or two regular luggage cases.

One complication is that the CPC, containing liquid, must be transported standing up in order to avoid wetting the optical particle counter.

3.6 Further development of the EMIR-instrument

An accurate and stable procedure to determine the DR has to be developed. If a trace gas is used, it is important to determine the DR from measurements performed under similar operational conditions as prevails during the testing. It is thus important not to change pressure, temperature, or flow conditions in the actual measure set-up. During the measurements

within EMIR1, three different trace gases have been used; propane, NO_x, and CO₂. It would have been an advantage to log the trace gas concentration during the measurement and especially so during tailpipe measurements due to changes in temperature and pressure.

The normal sampling rate in a modern engine test cell is often 5 Hz. During these measurements the CPC 3010 was operated at 1 Hz. The instrument can be operated at pulse mode thereby increasing the sample rate.

The fixed DR for the dilutors is presently regarded as a limitation in the usability of the system. However, the DR of the ejectors may be changed by changing the dilution air pressure. This option has not been explored further in the present work but should be regarded for future use of the system.

4 Conclusions

The EMIR-instrument has been used and examined for usability, repeatability, and emission studies at three laboratories: GM Powertrain Sweden, Volvo Car Corporation, and Scania.

Some general remarks, conclusions, and recommendations are listed below:

- The instrument is a low-cost instrument. It is easy to handle, robust and operates without special attention over longer series of tests.
- The instrument is able to detect small excursions in the operation of the vehicle or the engine and shows a good repeatability during repeated testing.
- It has been found that the instrument is a suitable tool to detect minor defects in DPF performance.
- Tailpipe sampling is associated with practical problems:
 - Condensation may occur in the probe or tubing up-stream the heated ejector.
 - On-line calibration recommended since pressure effects may alter DR.
 - Deposition in or blockage of the ejector nozzle may occur and affects the DR.
 - High concentrations require high DR (i.e. many ejectors in series).
- Calibration of the ejector diluters requires use of a reference gas (e.g. CO₂ or NO_x) measured prior and after dilution. The calibration has to be performed with special care since the diluters are sensitive to changes in temperature and pressures.
 - If ejector operation temperature is changed calibration should be performed.
 - Calibration should be performed at test conditions.
- High proportions of the total particle concentration are found in particle sizes from 10 to 23 nm at idle mode. This implies that also nucleation mode particles are associated with non-evaporative material.

- The narrow measurement range of the CPC may be regarded as a limiting factor in order to operate the instrument in an optimal way. High DR may be needed in order not to lose any data at high emission events such as for example cold start or high speed driving. During the remainder of the cycle, however, the measured concentrations can be very low.
Bypassing one or more diluters at low emission parts of the test cycle could be a way to increase the ratio signal/background or signal/noise.
- At low exhaust particle levels, the influence of background particle concentration must be considered. The background should be measured with CVS running but the engine stopped. When running an engine with particle filter, the low particle exhaust level may result in background cycle integral becoming 30% or more of total cycle integral value.

5 References

- Abdul-Khalek I., Kittelson D., and Brear F., The influence of dilution conditions and diesel exhaust particle size distribution measurements, SAE 1999-01-1142, 1999.
- Burtscher H., Literature Study on Tailpipe Particulate Emission Measurement for Diesel Engines; Done for the Particle Measurement Programme (PMP) for BUWAL/GRPE, March 2001.
- GRPE-48-11 (Informal document No.) Proposal for A Draft Amendment To The 05 Series of Amendments to Regulation No.83 (Emissions of M1 and N1 categories of vehicles), Transmitted by The Chairman of the Particle Measurement Programme Group in conjunction with the experts from Germany, Sweden, Switzerland and the UK (2004).
- Giechaskiel B., Ntziachristos L., and Samaras Z., Calibration and modelling of ejector dilutors for automotive exhaust sampling, Meas. Sci. Technol., 15, 2199-2206, 2004.
- Khalek I.A., Characterization of particle size distribution of a heavy-duty diesel engine during FTP transient cycle using ELPI, SAE 2000-01-2001, 2000.
- Kittelson D., McMurry P., Park K., Sakurai H., Tobias H., and Ziemann P., Chemical and Physical Characteristics Of Diesel Aerosol, Cambridge Particle Conference, 23 April 2002, 2002a.
- Kittelson D. B., Engines and nanoparticles: a review, Journal of Aerosol Science, Vol. 29, pp. 575-588, 1998.
- Lüders H., Krüger M., Stommel P., and Lüers B., The role of sampling conditions in particle size measurements, SAE Technical Paper Series 981374, 1998.
- Matter U., Siegmann H.-C., and Burtscher H., Dynamic field measurements of submicron particles from diesel engines; Environmental Science and Technology; Vol. 33; No. 11; pp. 1946-1952, 1999.
- Nussbaumer T. Aerosols from biomass combustion, International Seminar at 27 June 2001 in Zurich by IEA Bioenergy Task 32 and Swiss Federal Office of energy, Verenum, Zurich, 2001.

Appendix A: Calculation of Cr; the corrected CPC particle number concentration

Instrument producer TSI specifies 1.0 L/min $\pm 10\%$ sample aerosol flowrate into the CPC 3010. The flow rate is controlled by a critical flow orifice. (www.tsi.com/documents/3010.pdf)

Variation in flow rate and output can be caused by different atmospheric pressures, assuming the orifice flow is critical (i.e. suction vacuum is low enough).

Output variation caused by different sampling temperatures is neglected here since CPC sample conditions are normally constant in regard to temperature.

This aerosol flow rate through the optical counter is producing a count rate of particles. A higher flow rate of a given aerosol will result in a higher count rate and also a higher number concentration output, as calculated by the instrument software.

The instrument software uses flow rate of $Q_{ref} = 1.0$ L/min at reference condition T_r and P_r .

It is here assumed that $T_r = 293$ (K) and $P_r = 1013$ (mbar).

Measurement of actual flow rate by external flow meter in series and calculate to reference conditions is necessary to get reliable and reproducible results.

The correction factor for the flow rate into CPC 3010 and thus the particle concentration is then:

$$K_{cpc} = Q_{ref}/Q_{ar} = 1.00/Q_{ar}$$

where

$$Q_{ar} = Q_a * (P_a/P_r) * (T_r/T_a) \quad (\text{L/min}) \text{ according to the ideal gas law.}$$

Variations of about -15% to $+7\%$ in output relative to normal condition can be caused by extreme atmospheric pressure and temperature variations.

Q_a = sample flow rate (L/min) at actual air pressure P_a (mbar) and temperature T_a (K).

The corrected particle number concentration per reference cc = Cr is calculated as:

$Cr = Ca * Kcpc$ (# / cc) at Pr and Tr. Ca is the actual instrument output value (# / cc).

Appendix B: CVS-sampling: calculation of particle number per cycle (or time period).

Definition: $N_{\text{cycle_CVS}}$ = number of exhaust particles per cycle (not weighted) (#)

Gas from the CVS is led through a secondary diluter and to the EMIR-instrument.

Measured values are saved with constant time interval dt seconds.

The DRs are based on molar flow dilution: $DR = n_{\text{diluted}}/n_{\text{undiluted}}$, which equals to volume flow dilution when the volume flow is evaluated at same P and T.

Net exhaust particle number flow in the CVS flow is:

$$N_{\text{t_CVS}} = (C_r - C_{\text{rbkg}}) * DR_{\text{tot}} * V_{\text{mix}} * 1000000 \quad (\# / \text{s})$$

where

C_r = number concentration of particles measured by CPC 3010, (#/cm³)

Corrected for CPC-flow, pressure and temperature in Appendix A.

C_{rbkg} = number concentration of background particles (#/cm³)

Corrected for CPC-flow, pressure and temperature in Appendix A.

DR_{tot} = total DR between CVS tunnel and CPC.

V_{mix} = CVS-flow in m³/s at P_r och T_r

Integration (as a sum) over the whole cycle gives the basic formula:

$$N_{\text{cycle_CVS}} = \text{SUM}((C_r - C_{\text{rbkg}}) * DR_{\text{tot}} * V_{\text{mix}} * 1000000 * dt) \quad (\#)$$

..... (B1)

Extracting the constant values from the sum gives:

$$N_{\text{cycle_CVS}} = DR_{\text{tot}} * V_{\text{mix}} * 1000000 * dt * \text{SUM}(C_r - C_{\text{rbkg}}) \quad (\#)$$

..... (B2)

and:

$$\text{Ncycle_CVS} = \text{DR}_{\text{tot}} * \text{V}_{\text{mix}} * 1000000 * \text{dt} * (\text{SUM}(\text{Cr}) - \text{SUM}(\text{Crbkg}))$$

(#) (B3)

So cycle values with or without background correction easily can be calculated.

Ncycle_CVS can alternatively be calculated from number concentration averages as:

$$\text{Ncycle_CVS} = \text{DR}_{\text{tot}} * \text{V}_{\text{mix}} * 1000000 * \text{TIME} * (\text{Cr}_{\text{avg}} - \text{Crbkg}_{\text{avg}})$$

(#) (B4)

where Cravg and Crbkgavg are average values during the cycle.

TIME is the total cycle time in seconds.

Appendix C: RAW (tailpipe) exhaust sampling: Calculation of particle number per cycle (or time period).

$N_{\text{cycle_raw}}$ = number of exhaust particles per cycle (not weighted) (#)

Raw exhaust gas is led through 2- 4 diluters into the EMIR-instrument.

The instantaneous net exhaust particle number flow in the raw exhaust flow is:

$$N_{\text{traw}} = (C_r - C_{\text{rbkg}}) * DR_{\text{tot}} * V_{\text{rexh}} * 1000 \quad (\#/s)$$

C_r and C_{rbkg} are defined as in Appendix A

DR_{tot} = total DR between raw gas and CPC.

V_{rexh} = exhaust gas flow rate (dm^3/s) at P_r och T_r (water in gas phase).

Integration (sum) over one cycle (transient or stationary) gives the basic formula:

$$N_{\text{cycle_raw}} = \text{SUM}((C_r - C_{\text{rbkg}}) * DR_{\text{tot}} * V_{\text{rexh}} * 1000 * dt) \quad (\#) \quad \dots(C1)$$

Transient cycles:

Here it is important to synchronize the C_r , DR_{tot} and V_{rexh} dataer to get a correct cycle sum.

It is complicated to take in account variation in DR_{tot} . One solution may be to map the P and T for the sample, and calculate an average DR for the first (warm) diluter. The DR for the following cold diluter(s) may be assumed constant. Alternatively the CO_2 content before and after the first diluter is logged and synchronized with C_r and V_{rexh} data, DR_{tot} calculated and put into formula (C1).

$$N_{\text{cycle_raw_TC}} = \text{SUM}((C_r - C_{\text{rbkg}}) * DR_{\text{tot}} * V_{\text{rexh}} * 1000 * dt) \quad (\#)$$

Cycles with stationary steps (or periods):

Here the synchronization is not as demanding as above. The DR_{tot} is constant during each step, but may vary between steps because of different sample P and T. Online measurement of DR (tracing CO_2) for the first

(warm) diluter will increase the measurement precision. The DR for the following cold diluter(s) may be assumed constant.

Evaluation in this case may be done by basic formula (C1) above or formula (C2) or (C3) below.

When DR_{tot} and V_{rexh} is constant but different during each stationary step (or period) :

$$N_{\text{cycle_raw_SC}} = \text{SUM}(i=1 \text{ to } n)[DR_{\text{tot}i} * V_{\text{rexhi}} * 1000 * dt * \text{SUM}((Cr - Cr_{\text{bkg}}))] \quad (\#) \quad \text{..(C2)}$$

or based on average Cr-values for each step i:

$$N_{\text{cycle_raw_SC}} = \text{SUM}(i=1 \text{ to } n)[DR_{\text{tot}i} * V_{\text{rexhi}} * 1000 * t(i) * (Cr_{\text{avg}i} - Cr_{\text{bkgavg}i})] \quad \text{..(C3)}$$

Where n = number of steps in the stationary cycle, i = step number.

t(i) = time in each step (s) Cr_{avg}i = average Cr for step i.

A work within the EMIR1-project

Three different instrumental systems for hot dilution of particulate pollutants from combustion engines

May 2005

Authors in alphabetical order

Timothy Benham

Volvo Technology Corporation, Dept.6700 M1.4,
SE-405 08 Göteborg, Sweden.

Olle Berg

Volvo Car Corporation, Powertrain Laboratories,
Emission Engineering, Dept 97864, PV16A, SE-405 31 Göteborg, Sweden.

Anne-Marie Rydström

Volvo Technology Corporation, Dept.6700 M1.4,
SE-405 08 Göteborg, Sweden.

Claes de Serves

AVL MTC, Box 223, SE-136 23 Haninge, Sweden.



– a project partly financed by the Swedish government through



ABSTRACT

The present study includes evaluation of different dilution devices for sampling and hot dilution of particulate pollutants from combustion engines. A diesel passenger car was operated at idle, 50 km/h, and 120 km/h steady state modes, and in the NEDC transient cycle. The three diluters examined include: the rotating disc diluter in combination with an evaporation tube, a porous diluter and ejector diluter. Sampling was performed from the CVS-tunnel and dilution performed at temperatures ranging from room temperature up to 450°C.

All diluters followed the NEDC very well. Only the idle mode produced nucleation mode particles showing volatile characteristics. The ejector diluter and the rotating disc diluter removed the nucleation particles as gradually higher dilution temperatures were applied. The Porous diluter did not show the same potential for particle removal as compared to the other two diluters, possibly an effect of differences in residence time in the heated section of the different diluters. No effect to the particle size distribution was observed for changes in dilution ratios in the range 170 to 4000 for any of the three diluters.

Table of contents

1	INTRODUCTION	4
2	EXPERIMENTAL	5
2.1	Porous tube diluter	5
2.2	Ejector diluter	6
2.3	Rotating disc diluter and Evaporation tube	7
2.4	Sample residence time in diluter or evaporation tube	8
2.5	Vehicle and fuel	8
2.6	Chassis dynamometer	9
2.7	The CVS	9
2.8	Electrical Low Pressure Impactor	9
3	RESULTS AND DISCUSSION	9
3.1	ELPI measurements - steady state operation	9
3.2	ELPI measurements - the NEDC cycle	10
3.3	Performance of the different diluters	11
3.3.1	The rotating disc diluter in steady-state cycles	11
3.3.2	The porous tube diluter in steady-state cycles	13
3.3.3	The ejector diluter in steady-state cycles	14
3.4	Comparison of the diluters	16
3.5	Different diluters in the NEDC	17
4	SUMMARY AND CONCLUSIONS	18
5	REFERENCES	20
	Appendix A and B	21

1 INTRODUCTION

Measurement and emission studies of particulate pollutants from combustion engines are important from different perspectives. The main driver is the increasing awareness concerning particles and health effects. For this reason, lower emission limit values are gradually introduced for particulate pollutants and ongoing discussions are also aiming for the introduction of new criteria to be used for emission limit values (i.e. suggested introduction of number based particle measurements in parallel to the present mass criteria). Measurements of particle emissions are also of value for engine development, vehicle performance, fuel quality studies etc.

The regulations for particulate emissions are presently based upon measurements of particulate mass (PM). However, there are good reasons also for other measures besides PM. Firstly; scientific studies have revealed that both acute and long term effects to human health are possibly of larger relevance for fine particle size fractions rather than the coarse fraction (Nordlinder et al., 2004). As the fine particle mode (<100 nm) is largely masked by larger particles in a mass measurement, a number based measurement is an attractive option in order to obtain a more health related measure. Secondly, measurement of particle numbers is considerably more sensitive as compared to gravimetric measurements and may thus be a suitable tool for low emissions measurement. However, practical problems exist for particle number measurements: it is well known that secondary particle formation through nucleation and coagulation processes may affect the aerosol during sampling (e.g. Abdul-Khalek et al., 1999).

In this perspective, the EMIR1 project was initiated in year 2000 with the aim to develop an instrument for particle number measurements. The instrumentation should be capable of performing measurements from the CVS-tunnel in a stable and reproducible way. It is thus necessary to suppress measurements of secondary particles formed in the CVS-tunnel. As secondary particles are mainly formed by condensed material one strategy is to use hot dilution, thermodenuders, or evaporation tubes in order to remove the condensed material from the particulate phase by heating. Another option is to introduce a lower particle size cut-off for the measurements since these particles are typically found in particle sizes smaller than 30 nm.

The EMIR1-project runs in parallel with the ECE-GRPE working group PMP-program (Particulate Measurement Program) that started after the initiation of the EMIR1-project. The PMP aims to develop a new particle number based certification method for motor vehicles, a method that shall be used in parallel with the gravimetric filter measurement. The PMP-method is not yet finalised but, as it stands today, sampling is suggested to be performed from the CVS-tunnel using hot dilution combined with a heated evaporation tube and a particle number count instrument with a defined lower particle size cut-off. It is thus obvious that the EMIR1 and the PMP has common aims but the two projects are also complementary to each other since the EMIR1 under no circumstances aims to be a certification tool but aims to develop a simple, low-cost analytical tool to meet the needs of for example engine development and emission research.

In order to decide the instrumental set-up to be used in the EMIR1, different methods for hot dilution, with or without the use of an evaporation tube was studied in the

present work. The dilution devices that were selected for these studies included a porous tube diluter, ejector diluters, and a rotating disc diluter. Sampling from the CVS-tunnel was performed and the aerosol that was studied was generated from a diesel car operated at different steady-state modes and in the NEDC cycle.

2 EXPERIMENTAL

In this project, three different dilution and sampling systems were examined. These includes: the porous tube diluter, ejector diluter, and the rotating disc diluter. In addition, an evaporation tube was also used and examined. The diluters were used in different instrumental configurations with the overall description described in Figure 1. In all configurations an SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) was used to measure particle concentration and size distributions. In transient test measurements, only a CPC (TSI3010) was used.

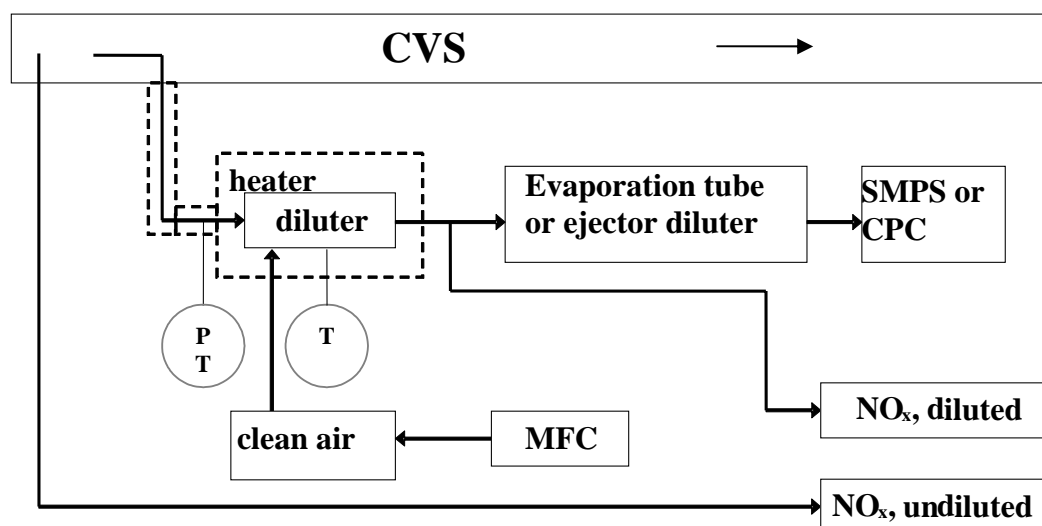


Figure 1. Schematic of the instrumental set-up.

2.1 Porous tube diluter

An in-house porous diluter was used during the measurements. The porous tube was built and delivered by Metallfilter AB. The total length of the diluter was 25 cm with an inner diameter of 6.4 mm. Dry, particle free, and heated dilution air was added through the wall of a 15 cm porous metal filter with a porosity of $2\mu\text{m}$. The dilution air flow rate was controlled by a mass flow controller (MFC). The diluter was spiral-wounded with a heating coil in order to control the diluter temperature. The diluter was examined for temperatures ranging from 150°C to 450°C .

The dilution ratio (DR) was controlled by use of simultaneous measurements of NO_x inside the CVS-tunnel and after dilution. In the set-up used in this study, the diluter was followed by an additional ejector diluter (described below) operated at room temperature in order to reduce the temperature prior to measurement. The diluter was examined for a total DR (including the ejector diluter) in the range 400 to 4000.

2.2 Ejector diluter

The ejector diluter used in this study (Dekati) is described in Figure 2, below. The sample is pulled and diluted as dry, particle free, and heated pressurized air enters the first section of the ejector (the ejector cavity). The dilution air flows tightly around a nozzle at a high flow velocity causing a pressure drop over the nozzle and consequently the sample is pulled into the diluter via the sampling line connected to the nozzle. The sample is mixed with the dilution air in the diluter by turbulence resulting in a homogeneous dilution of gases and particles (Burtscher, 2001).

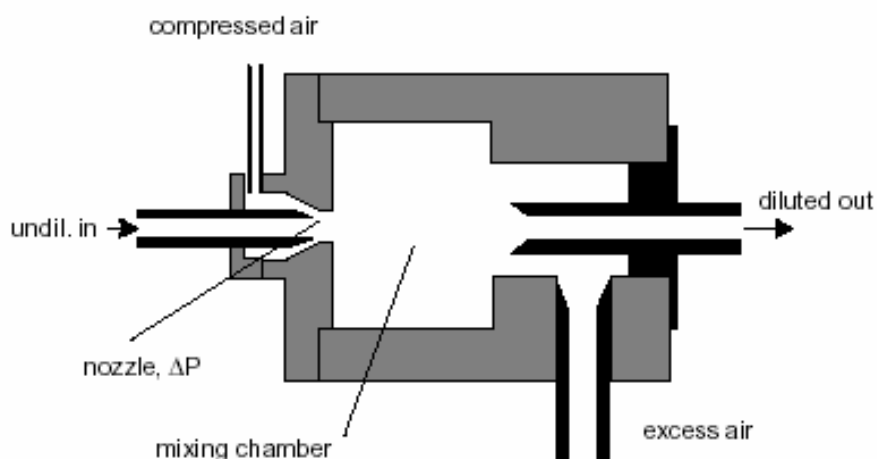


Figure 2. Schematic of an ejector diluter (Nussbaumer, 2001).

The sample flow rate of this diluter was around 6 L/min and the nominal dilution ratio of the diluter was 1:8 (the DR can be varied in a relatively narrow range, typically 1:5 to 1:10 by changing the dilution air pressure). Higher dilution ratios can be obtained by cascading ejectors.

As the DR is dependent on the sample line pressure, dilution air pressure, atmospheric pressure, and the temperatures of the sample and the dilution air, control of the DR is essential. In this study, the DR was controlled by use of NO_x measured in the CVS-tunnel and after dilution. The dilution system was examined for a total DR in the range 170 to 4000.

In this study, two or more ejectors were used in series with the first ejector heated in the range 150°C to 450°C by use of a heating mantle (Figure 3). The dilution air used for this diluter was heated to the same temperature prior to injection into the ejector. The ejector and the dilution air temperatures were monitored. Ejectors connected in series to the first ejector diluter were all at room temperature as was the dilution air to these ejectors.

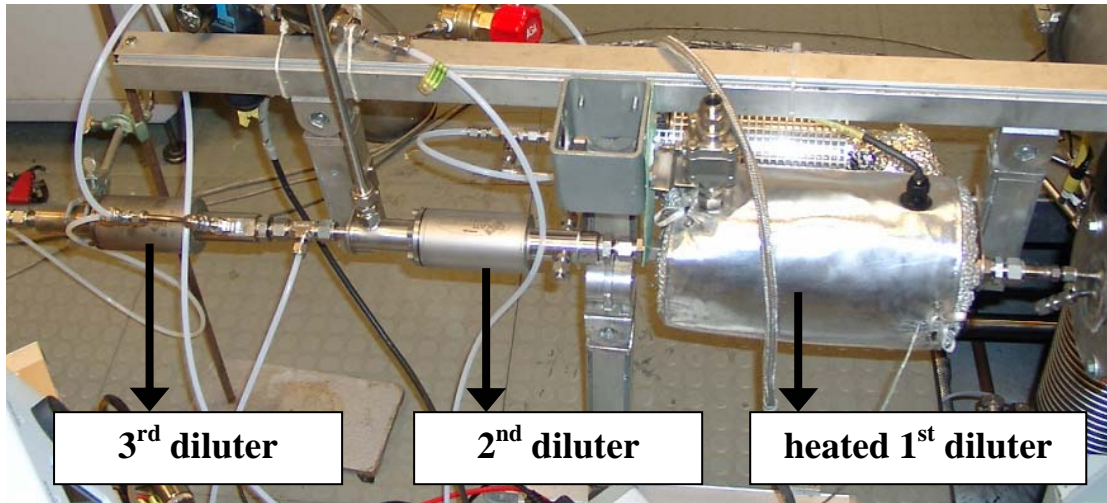


Figure 3. The ejector system mounted to the CVS-tunnel.

Ejector diluters are well spread and used in many applications. In many studies the ejector diluter is used as a secondary diluter, among others in the study by Khalek (2000). In other studies the ejector is used as primary, and only, diluter (Pattas *et al.*, 1998, Green and Witze, 2000).

2.3 Rotating disc diluter and Evaporation tube

The rotating disc diluter (RD) used was a MD19 (Matter Engineering). The dilution air was HEPA-filtered air. The long silicone tubing normally used for the RD was replaced by a short length of insulated stainless steel tubing connecting the RD to the evaporation tube (ET) (Figure 4). The diluter was used in combination with an ET since the temperature of the RD is at 150°C maximum.

The ET consists of a 50 cm stainless steel tubing with an inner diameter of 4 mm that was electrically heated and insulated. The ET was operated at temperatures in the range 150°C to 400°C. In order to reduce the temperature for the CPC mounted downstream of the ET, a length of stainless steel tubing (30 cm, inner diameter 4 mm) was connected to the ET for cooling. As the flow rate of the CPC is 1 L/min, the temperature profile of the ET, and the temperature after the tube for cooling, has been examined at this flow rate. The characteristic of this profile is presented in Appendix A.

The dilution ratio (DR) was controlled by use of simultaneous measurements of NO_x inside the CVS-tunnel and after dilution. In the set-up used in this study, the ET was followed by an additional ejector diluter operated at room temperature in order to reduce the temperature prior to measurement. The diluter was examined for a total DR (including the ejector diluter) in the range 300 to 3000.

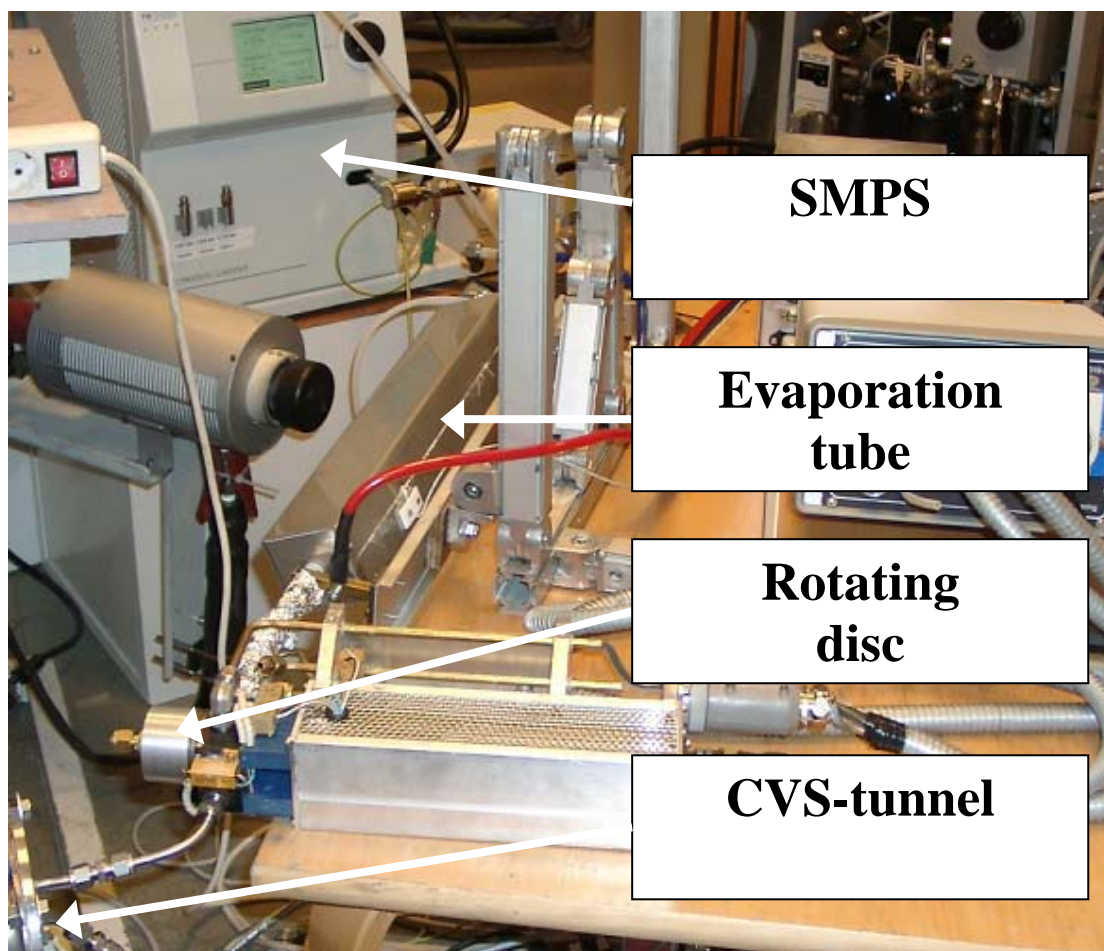


Figure 4. The rotating disc system mounted to the CVS-tunnel.

2.4 Sample residence time in diluter or evaporation tube

The respective residence times (R_t) are estimated for each of the hot dilution system examined (Table 1).

Table 1. Sample residence time within the respective hot diluters or evaporation tube (calculated by the instrumental volume and flow rate).

Dilution system	Residence time (s)	Flow rate (L/min)
Porous diluter	0.01	50
Ejector diluter	0.25	36
Rotating disc / Evaporation tube	0.09 (in ET)	3.2

2.5 Vehicle and fuel

The measurements were performed using a standard production Volvo V70 MY01. The vehicle is certified against the Euro 3 emission limit. The vehicle was run on Swedish MK1 diesel fuel.

2.6 Chassis dynamometer

The car was tested on an electric Clayton DC500 twin 500 mm diameter roller chassis dynamometer. The dynamometer setting was applied according to the regulation and the vehicle type approval data.

2.7 The CVS

A Constant Volume Sampler (CVS) (Horiba, CVS-9300T) is used in the study. The CVS-tunnel has a total length of 3150 mm with an inner diameter of 250 mm and is connected to the tailpipe via a 5 m section of 110 mm diameter insulated stainless steel transfer tube. The transfer tube is connected to the tailpipe with a 30 cm section of flexible stainless steel tubing. At a distance of 30 cm from the tailpipe filtered and cleaned test cell air is introduced to the transfer tube into the exhaust stream. The CVS-tunnel flow rate is controlled by use of a 9 m³/min critical venturi.

2.8 Electrical Low Pressure Impactor

In the CVS-tunnel, 1 Hz particle number and size-distribution measurements were performed by use of an Electrical Low-Pressure Impactor (ELPI) (Dekati). The impactor was upgraded with a filter stage with a particle size resolution of 7 nm to 6 µm. The ELPI was used with a secondary ejector dilutor unit (Dekati).

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 ELPI measurements - steady state operation

The CVS particle concentration and size distribution was measured by ELPI and the measurements for the three different steady-state driving modes are presented in Figure 5. As expected, the highest CVS concentration is seen for the 120 km/h driving mode while the lowest is found for the idle mode. The average total particle concentrations for the three modes respectively are: 120 km/h 7.7×10^7 particles/cm³, 50 km/h 6.7×10^6 particles/cm³, and at idle 1.1×10^6 particles/cm³. However, apart from the different particle concentrations measured all three modes shows very similar size distribution with a peak at around 30 nm.

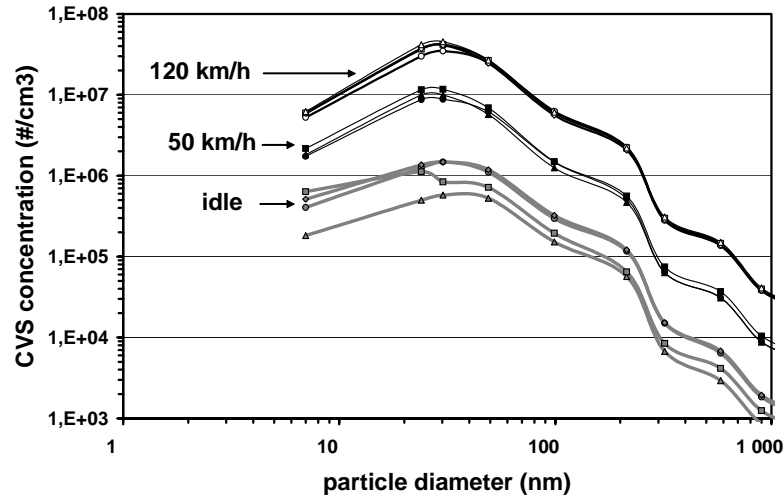


Figure 5. CVS particle concentration as measured by ELPI for steady-state driving modes.

3.2 ELPI measurements - the NEDC cycle

ELPI measurements were performed in the NEDC-cycle (Figure 6). The emission pattern shows the typical characteristics of a diesel car in the absence of increased cold start emissions. The resulting NEDC emissions are in the range of 10^{14} particles/km, in good agreement with measured emissions from other diesel passenger cars. In view of these observations it is also reasonable to assume that the particulate emission from this vehicle poses other characteristics of diesel particle emissions such as a relatively low fraction of volatile material.

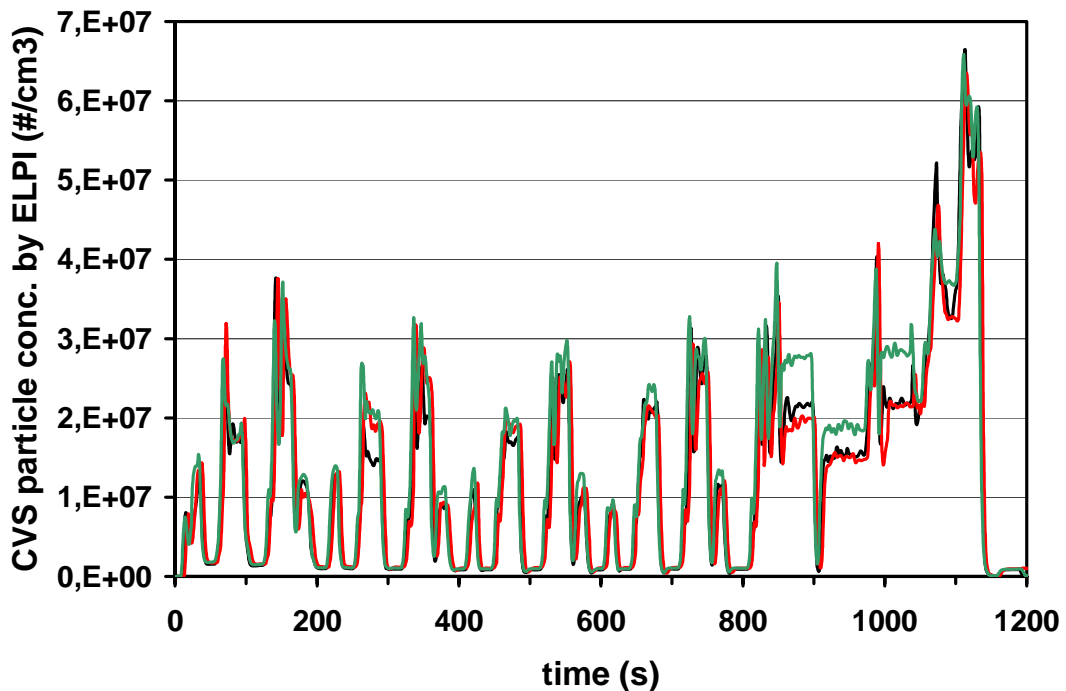


Figure 6. CVS total particle concentrations in the NEDC as measured by ELPI (three replicate measurements).

3.3 Performance of the different diluters

In the following section, the performance of different diluters is examined in both steady-state operation and in the NEDC. The diluters examined includes: the rotating disc, the ejector diluter, and the porous diluter. Since no alterations in particle size-distribution was observed for different dilution ratios, the following discussion is held with the focus to temperature effects.

3.3.1 The rotating disc diluter in steady-state cycles

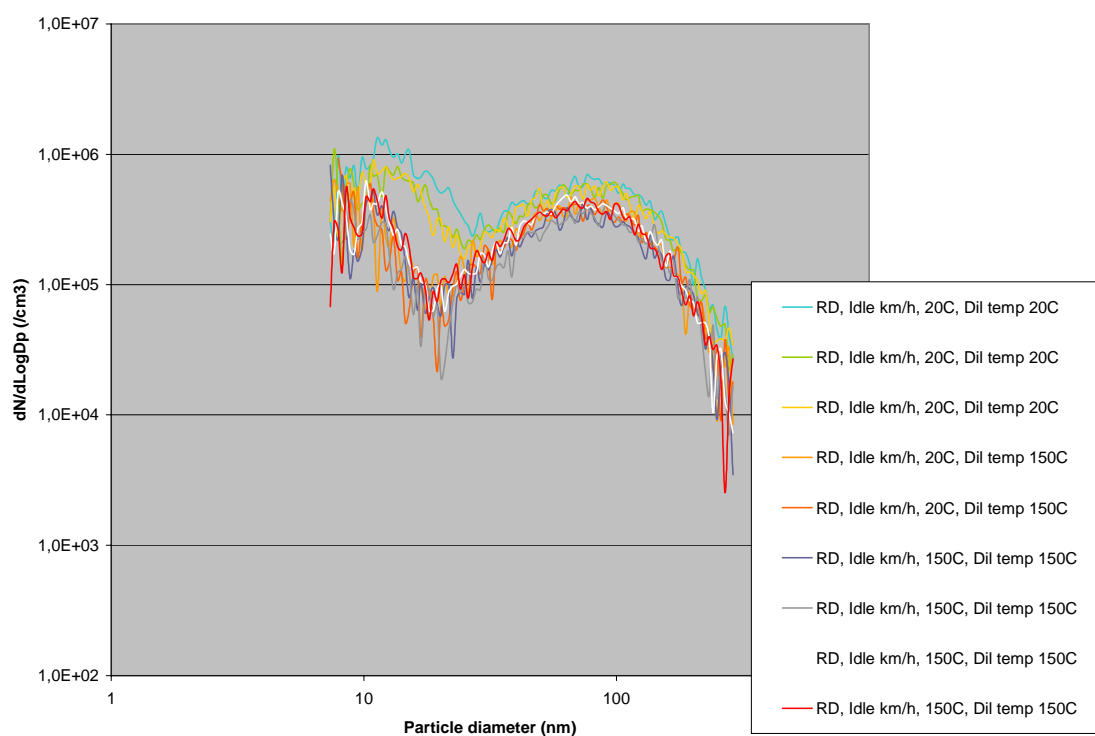


Figure 7. Idle particle concentrations in the CVS measured with SMPS using the rotating disc diluter at room temperature and at 150°C (“Dil temp”). The temperature of the ET is used at the same temperatures.

Heating to 150°C does not influence the accumulation mode significantly. The small difference could be explained by either number-losses in the rotating disc diluter or by changes in the dilution factor or changes in car emissions. It is only particles with a diameter less than 20 nm that are affected by heating irrespective of diluter or evaporation tube.

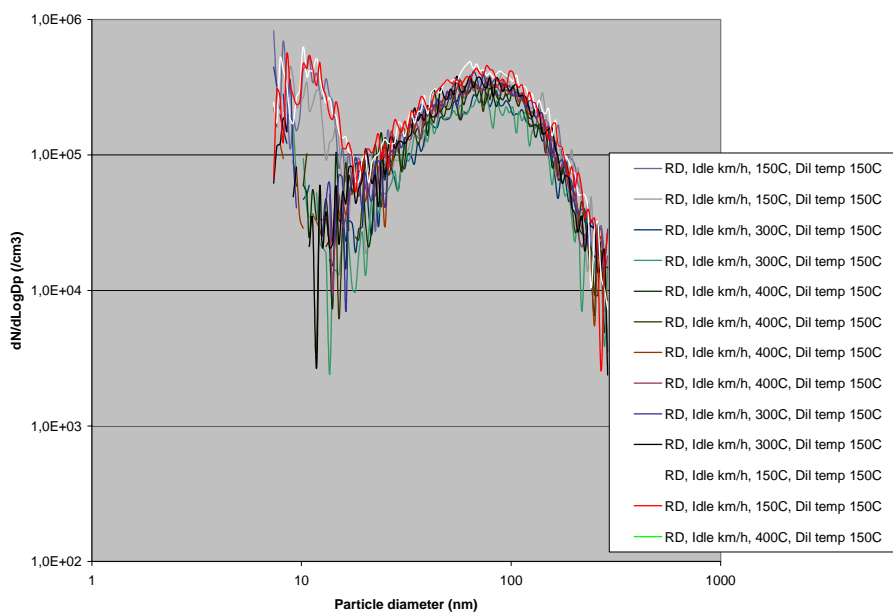


Figure 8. Idle particle concentrations in the CVS measured with SMPS using the rotating disc diluter at 150°C (“Dil temp”). The temperature of the ET is operated at temperatures between 150°C and 400°C.

Heating from 150°C to 400°C does not influence the accumulation mode significantly. This shows that there are no significant temperature dependent losses in the ET. It is only particles with a diameter less than 20 nm that are affected by heating. The particles below 20 nm are further reduced by heating to higher temperature than 150°C.

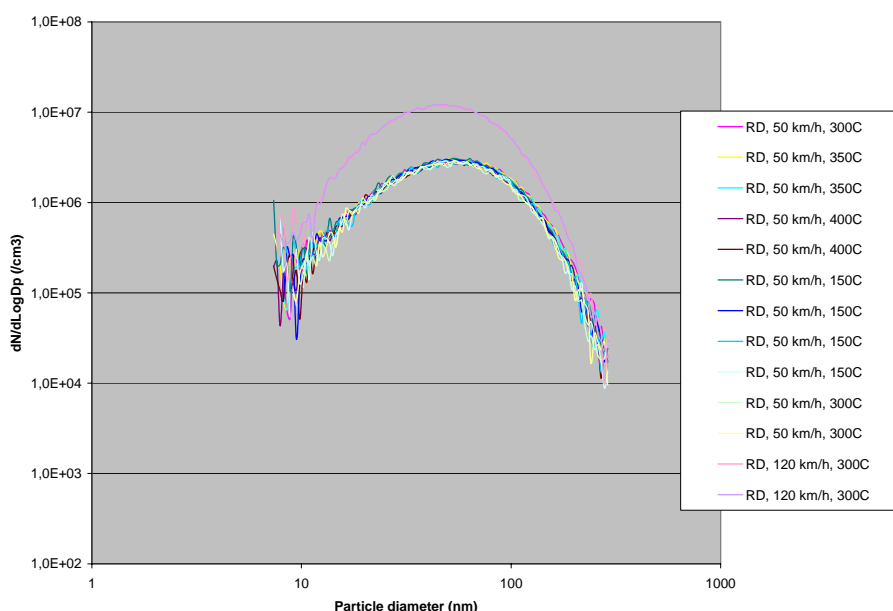


Figure 9. Particle concentrations in the CVS at 50 km/h and 120 km/h measured with SMPS using the rotating disc diluter at 150°C. The temperature of the ET is operated between 150°C and 400°C.

The nucleation mode peak that was observed in the idle mode is not observed in the 50 km/h and in the 120 km/h steady-states. This difference is obviously driving mode related and is likely explained by a higher fraction of volatile material in the idle mode, possibly an effect of the light-off temperature of the oxidation catalyst not removing condensable species in the idle mode.

The CVS particle concentration at 120 km/h is higher than at 50 km/h as a result of both higher emissions and lower CVS dilution ratio at the higher speed. No effect is observed for the different ET temperatures for the 50 km/h and 120 km/h driving modes.

3.3.2 The porous tube diluter in steady-state cycles

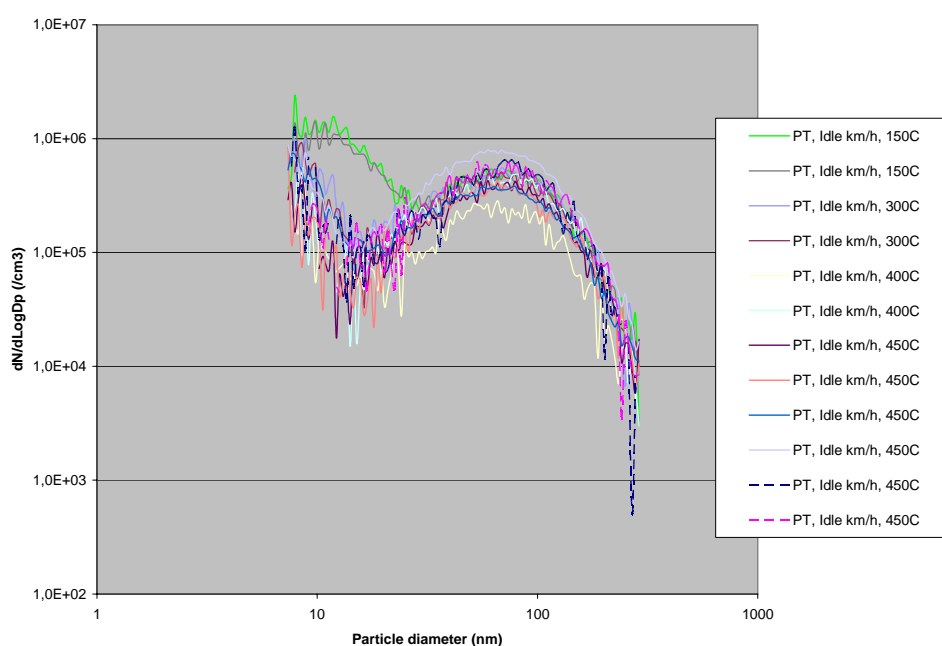


Figure 10. Idle particle concentrations in the CVS measured with SMPS using the porous tube diluter at temperatures between 150°C and 450°C.

At idle, there is a clear difference for particles smaller than 20 nm diameter between diluter temperature 150°C and for temperatures 300°C or higher. These nucleation mode particles are removed at the higher temperatures and thus resemble the observations from the rotating disc. The accumulation mode particles are, however, largely unaffected by the different temperatures. Two scans at higher than 400°C shows higher respectively lower accumulation mode particle concentrations. This is probably due to difficulties to accurately determine the DR using NO_x concentrations and flow ratios. The ELPI shows no difference in CVS particle concentrations between the different tests.

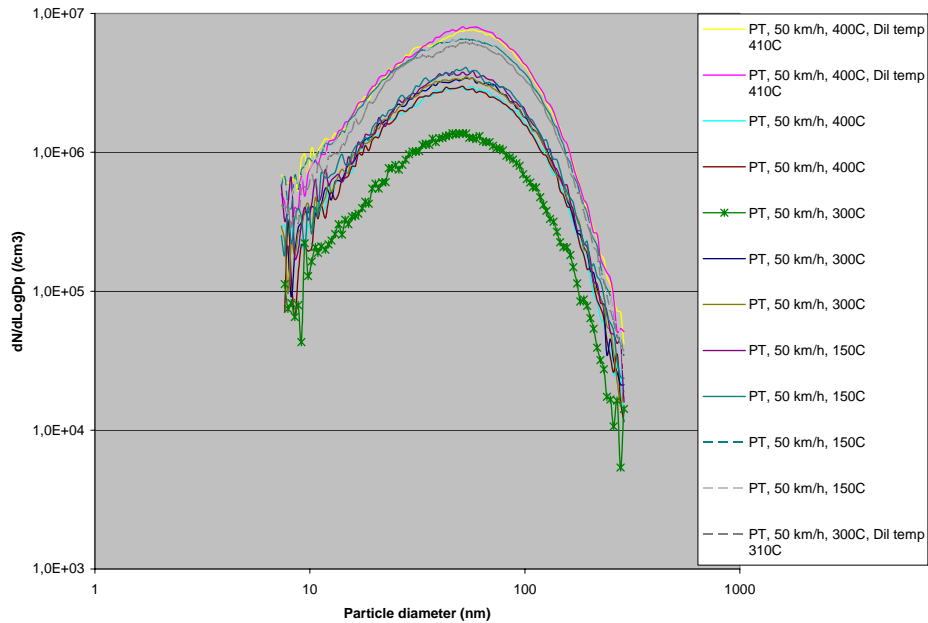


Figure 11. Particle concentrations in the CVS at 50 km/h measured with SMPS using the porous tube diluter at temperatures between 150°C and 400°C.

The nucleation mode peak for particles smaller than 20 nm observed at idle is not observed in the 50 km/h driving mode. Heating from 150°C to 400°C does not influence the shape of the accumulation mode significantly. The differences in concentrations observed are again attributed to difficulties to accurately determine the DR using NO_x concentrations and flow ratios.

3.3.3 The ejector diluter in steady-state cycles

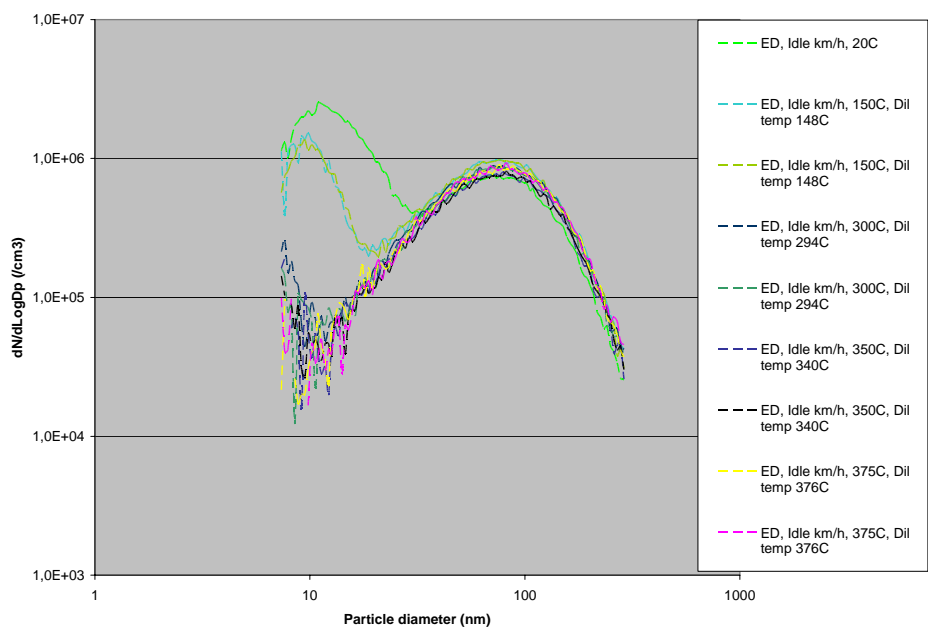


Figure 12. Idle particle concentrations in the CVS measured with SMPS using the ejector diluter at temperatures between 20°C and 380°C (the “Dil temp” is the measured value).

The nucleation mode peak (<20 nm diameter) is apparent at ejector temperature 20°C and 150°C. Increased heating gradually suppress the nucleation peak until stable levels are reached at temperatures 300°C or higher. In contrast, the accumulation mode peak is not significantly altered by the different temperatures.

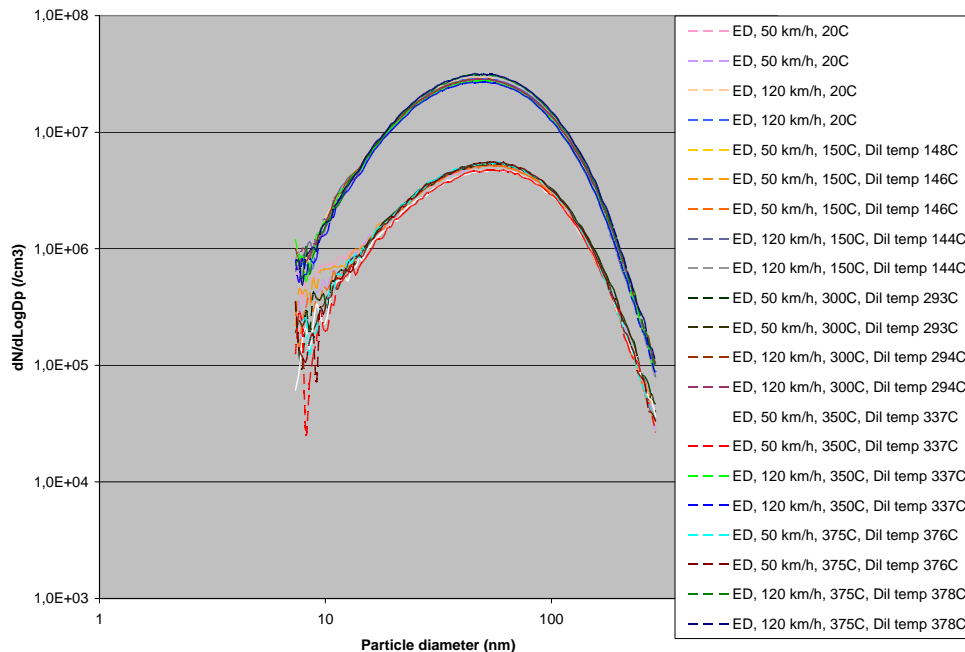


Figure 13. Particle concentrations in the CVS measured with SMPS at 50 km/h and at 120 km/h using the ejector diluter at temperatures between 20°C and 380°C (the “Dil temp” is the measured value).

The measurements show stable concentrations at two different levels for 50 km/h and 120 km/h driving modes respectively. Higher concentrations are observed for 120 km/h as an effect of both higher particle emissions and lower dilution ration in the CVS. The accumulation mode is unaffected by the different dilution temperatures used. There is no nucleation mode peak observed at these driving modes and consequently there is no obvious effect by increased dilution temperature. At 50 km/h for temperatures below 150°C, there is however a tendency towards a small peak at between 10 and 20 nm particle diameter that is suppressed at higher dilution temperatures.

3.4 Comparison of the diluters

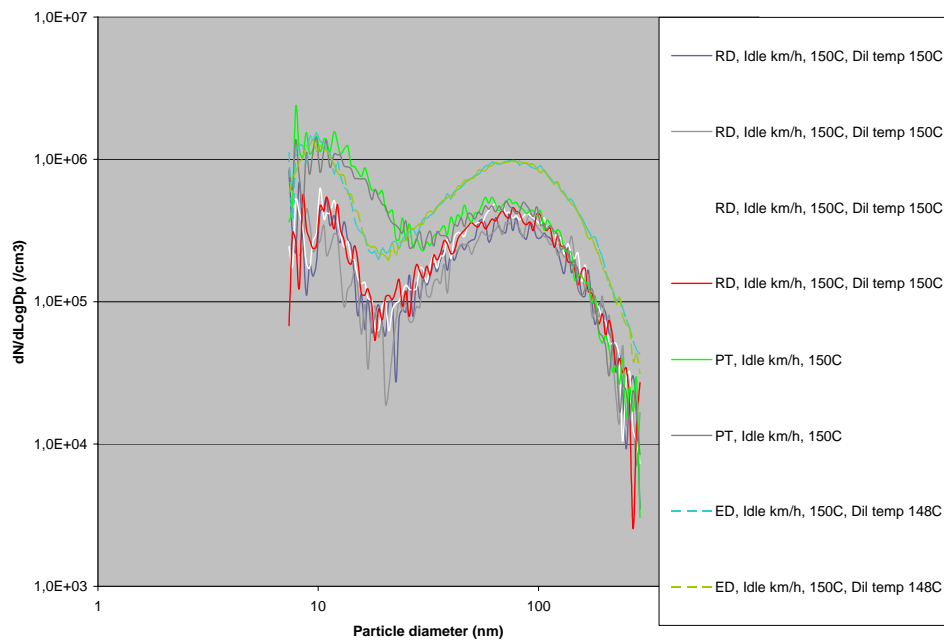


Figure 14. Idle particle concentrations in the CVS measured with SMPS for the three diluters at 150°C. The RD is operated with the ET at 150°C.

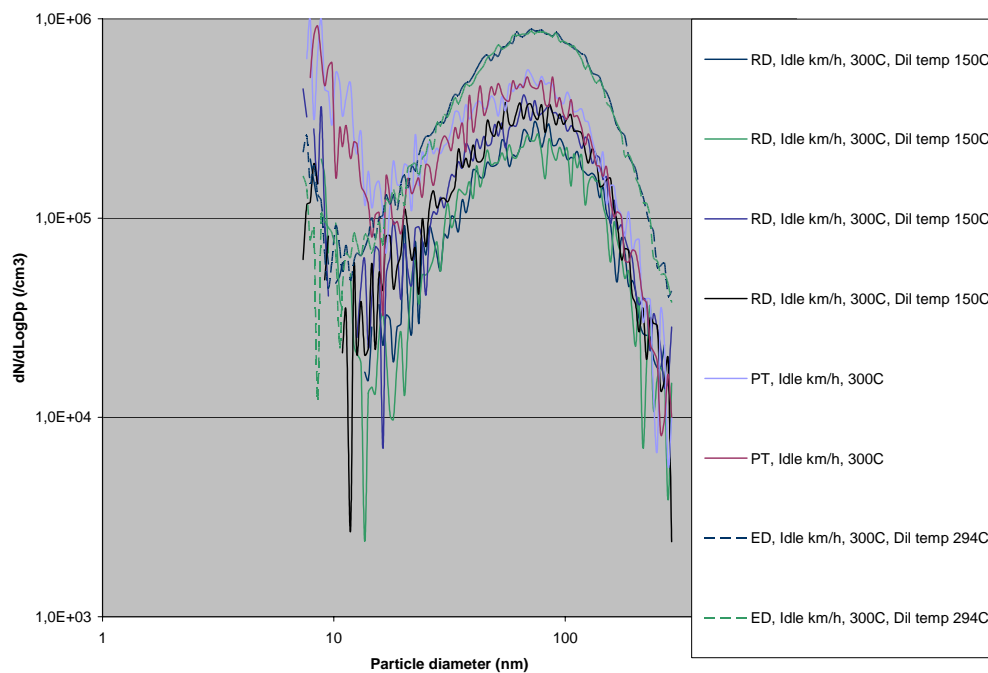


Figure 15. Idle particle concentrations in the CVS measured with SMPS for the three diluters at 300°C. The RD is operated at 150°C with the ET at 300°C.

Porous tube diluter: The nucleation mode peak is not fully suppressed at 300°C for the PT. This is most likely an effect of the short residence time as compared to the residence times for the other two dilution systems. The residence time total in the PT should be increased in a future version of the dilution system.

Ejector diluter: The ejector dilution system shows a nucleation mode peak at 150°C that is fully suppressed at 300°C. The size distribution curve is very smooth as compared for the two other systems. A drawback of this dilution system is that several ejector diluters have to be used in series in order to obtain high enough DR.

Rotating disc diluter: The nucleation peak is suppressed as the ET is used at 300°C. The size distribution curve is not as smooth as observed for the ejector diluters. Dilution ratios from NO_x measurements differ from those stated by Matter Engineering. The reason for this could be the removal of the long tube from the rotating cavities to our ET. This long tube will induce particle losses that are compensated for in the original calibration.

3.5 Different diluters in the NEDC

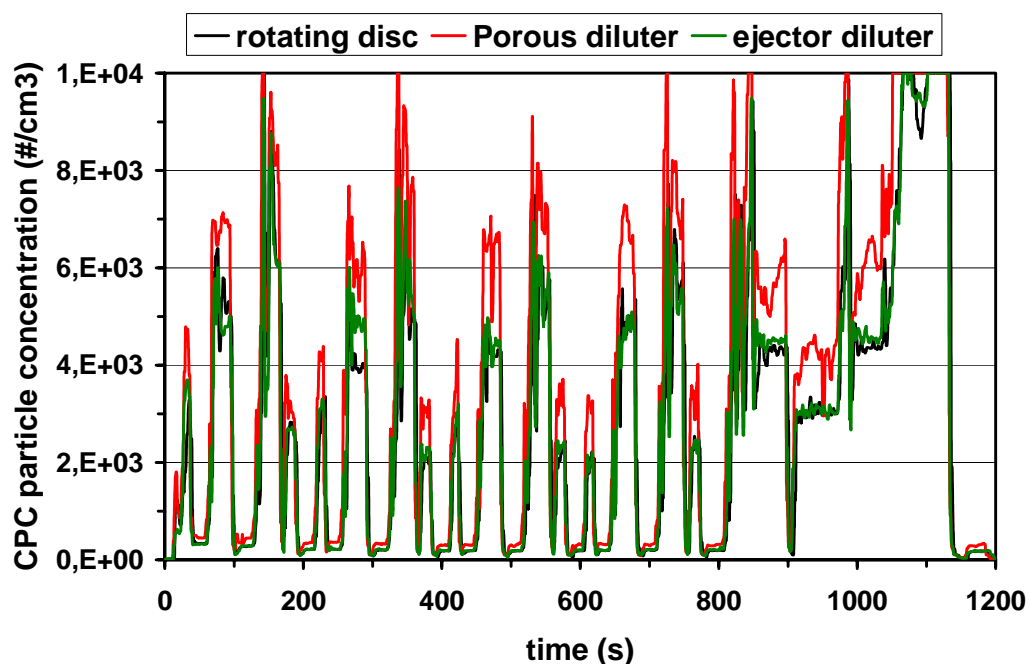


Figure 16. CPC particle concentration measured in the NEDC for the three diluters.

In Figure 16, three NEDC cycles, one per dilution system, are presented. The DR is adjusted in order to keep the CPC concentration below 10000 #/cm³. In the last seconds of the EUDC, data are however lost since the particle concentration exceeds the measurement range of the CPC.

It appears that all three dilution systems follow the NEDC very well.

4 SUMMARY AND CONCLUSIONS

Three different dilution devices to be used for particle measurements with sampling from the CVS-dilution tunnel were examined in this exercise. The aim was to choose a stable and robust dilution system to be used in the EMIR-instrument and in the future work of the EMIR1 project. The hot dilution used should ideally produce stable particle concentration levels and suppress volatile nucleation mode particles as these would otherwise jeopardise the possibility to produce repeatable particle number measurements. The diluters examined include a porous tube diluter, an ejector diluter, and a rotating disc diluter. The rotating disc diluter was operated in combination with an evaporation tube. The diluters were examined for different dilution temperatures ranging from room temperature up to 450°C. Particles sampled were generated by a diesel passenger car operated at idle, 50 km/h, and at 120 km/h.

As a general observation, the steady-state driving modes generated stable accumulation mode size distributions, more or less unaffected by the diluters and the different temperatures applied. The only driving mode to generate nucleation mode particles (particle diameters <20 nm) was the idle mode. In this mode, large and different effects were observed for the different diluters and temperatures used. However, no effects in the size-distribution was observed for the different dilution ratios used.

The rotating disc/evaporation tube system and the ejector diluter both showed suppression of the nucleation mode particles to reach stable levels at dilution temperatures of 300°C or above. The Porous tube diluter did not produce stable nucleation mode particle levels at these or even higher temperatures. This is most likely an effect of the much shorter residence time within the heated porous tube diluter as compared for the two other dilution systems. The respective residence times are: porous tube diluter 0.01 s, the ejector diluter 0.25 s, and the evaporation tube 0.09 s. It is assumed that an increased residence time for the porous diluter most likely would produce stable nucleation mode particle levels. This is however, an instrumental development work that is not within the frames of the EMIR1 project due to lack of time and funding and accordingly the porous tube diluter in the present version is not ready to be used as an EMIR1 dilution device.

For the remaining two dilution systems a number of observations and experiences may be stated:

The ejector diluter

- The diluter is simple and robust to use
- Easy to control the dilution ratio using NO_x or CO₂.
- Large operational temperature range, up to 500°C
- The results in this study implies more stable accumulation mode measurements as compared to the measurements using the porous diluter or the rotating disc diluter at the same particle concentrations.

The rotating disc diluter

- Easy to adjust different dilution ratios
- Discrepancy between measured dilution ratios using NO_x and calibration data from the manufacturer.
- Essential to combine the diluter with an evaporation tube since the residence time in the heated diluter is short and the operational temperature range of the rotating disc (150°C) is not sufficient in order to suppress volatile nucleation mode particles.
- The commercially available version needs modification in order to remove the silicone tubing transport lines for the diluted sample in order to reduce the particle losses or other effects.
- Peristaltic pump tubing to generate the sample flow to through the diluter need regular checking or replacement to a more stable technique.
- The rotating disc is a mechanical device and accordingly wear and the possibility of leaks has to be taken into consideration.

For the above reasons, it was decided to use the ejector diluter in the EMIR-system. An additional argument to select the ejector diluter is that the rotating disc/evaporation tube system is the choice of the PMP-programme and is more or less proscribed in the proposed legislative text (GRPE-PMP, 2004). Therefore, it is predicted that the rotating disc diluter will be fully evaluated. However, alternative methods to accurately sample and dilute particles are available and thus the work within EMIR is complementary to the PMP-programme.

5 REFERENCES

Abdul-Khalek I., Kittelson D., and Brear F., The influence of dilution conditions on diesel exhaust particle size distribution measurements, SAE 1999-01-1142, 1999.

GRPE-PMP-13-3 working paper, Amendment to 4, 13th PMP meeting, Geneva, 1 June 2004, 2004.

Burtscher, H., Literature study on tailpipe Particulate emission measurement for diesel engines; Done for the Particle Measurement Programme (PMP) for BUWAL/GRPE, March 2001.

Nordlinder R., de Serves C., Ljungström E., and Sanderson E., Exhaust particles and health effects: EMIR2, VINNOVA-report, 2004.

Khalek I.A., Characterization of particle size distribution of a heavy-duty diesel engine during FTP transient cycle using ELPI, SAE 2000-01-2001, 2000.

Pattas K., Kyriakis N., Samaras Z., Pistikopoulos P., Ntziachristos., Effect of DPF on particulate size distribution using an electrical low pressure impactor. SAE Technical Paper 980544, 1998.

Green R.M. and Witze P.O., Laser-induced incandescence and elastic-scattering measurements of particulate-matter volume fraction changes during passage through a dilution tunnel, Proc. of the 10th International Symposium on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics, Lisbon, July 2000.

Nussbaumer T. Aerosols from biomass combustion, International Seminar at 27 June 2001 in Zurich by IEA Bioenergy Task 32 and Swiss Federal Office of energy, Verenum, Zurich, 2001.

Appendix A

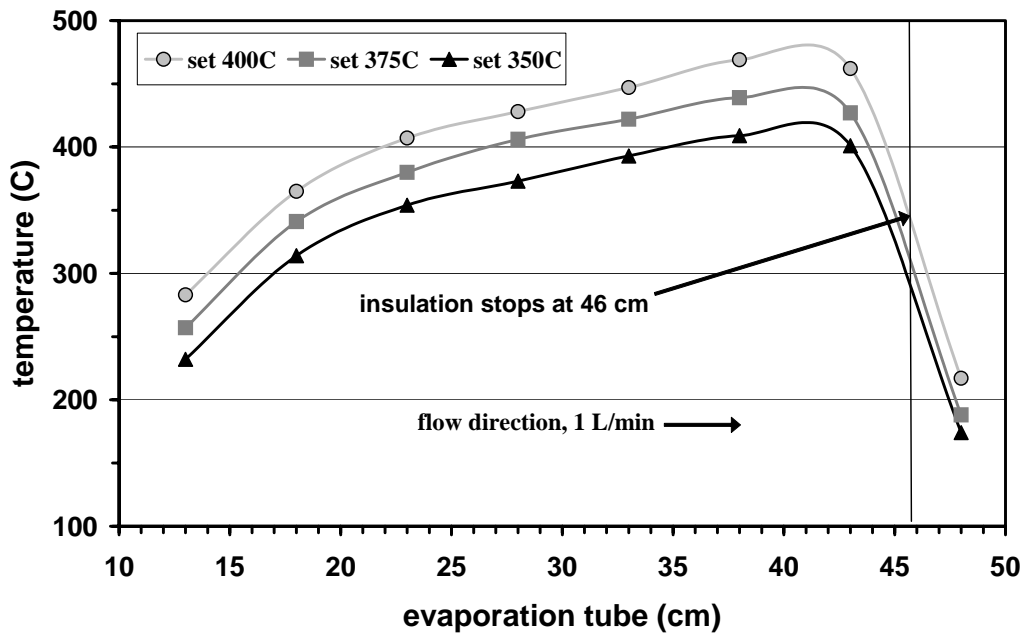


Figure 17. Temperature profile inside the evaporation tube at 1 L/min flow rate.

Appendix B

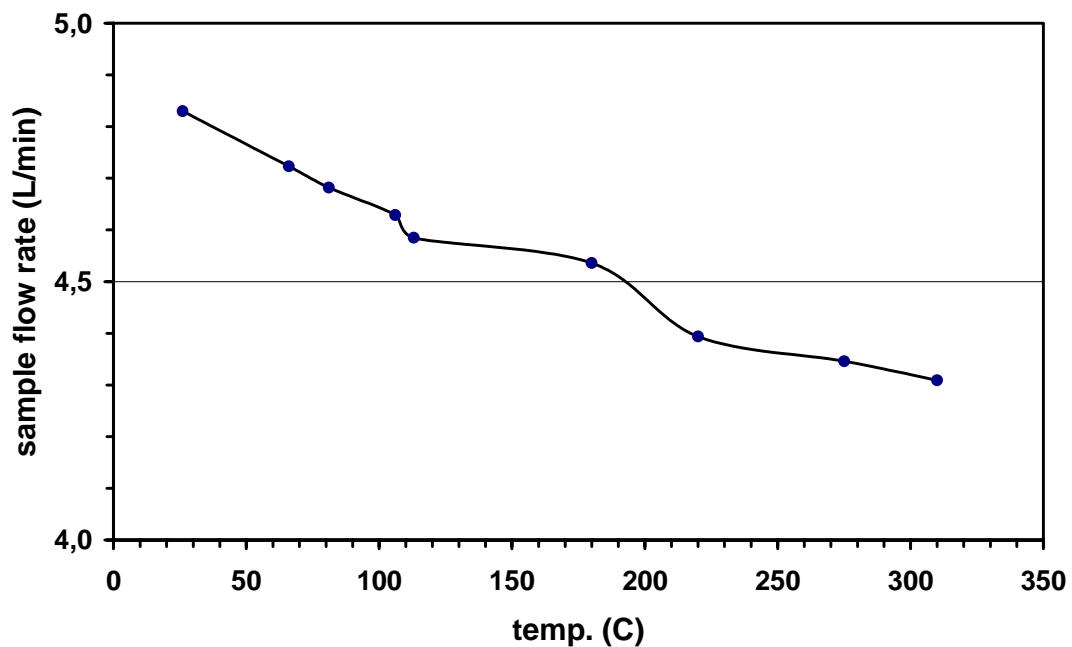


Figure 18. Sample flow rate as a function of ejector diluter temperature.



GM Powertrain SwedenGodkänd/Approved by
FLT Lennart HörbergTelefax
0520-86766Lagringsdata/File
FL05018401Reg nr/Reg no
FL050184Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn NymanTelefon/Phone
0520-483964Datum/Date
2005-09-27Utgåva/Issue
1Sida/Page
1 (33)

Fördelning/To

För kännedom/For information

Annex 2

Mätning av partikelantal i avgaser från förbränningsmotorer i bil

FLTA Björn Nyman
GMPT-Sweden
Lab & Workshop Support



GM Powertrain SwedenGodkänd/Approved by
FLT Lennart HörbergTelefax
0520-86766Lagringsdata/File
FL05018401Reg nr/Reg no
FL050184Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn NymanTelefon/Phone
0520-483964Datum/Date
2005-09-27Utgåva/Issue
1Sida/Page
2 (33)

Mätning av partiklar i avgaser från bensin och dieslbilar.**Abstract**

In this study measurements of particle number have been made in the exhaust from diesel and gasoline vehicles. The first part of the study focus on repeatability during the last phase in a European test cycle for emission legislation tests on chassis dynamometer. The second part of the study focus on particle sampling direct from tail pipe during tests on chassis dynamometer as well as particulate sampling from dilution tunnel.

The instrument used to do this measurements have been developed within the EMIR-project which is a part of the Swedish Government initiative "Green Car" and is similar to the system developed by the Particle Measurement System (PMP) initiated by UNECE/GRPE. The newly developed instrument shows easy to handle and is highly repeatable but further development needs to be done in determination of dilution factor, sample probe for direct tail pipe measurements and preheating to avoid condensation in front of the first diluter.

**GM Powertrain Sweden**Godkänd/Approved by
FLT Lennart HörbergTelefax
0520-86766Lagringsdata/File
FL05018401Reg nr/Reg no
FL050184Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn NymanTelefon/Phone
0520-483964Datum/Date
2005-09-27Utgåva/Issue
1Sida/Page
3 (33)

Mätning av partikelantal i avgaser från förbränningsmotorer i bil.....	1
Mätning av partiklar i avgaser från bensen och dieselmotorer.....	2
Abstract.....	2
1. Inledning.....	5
1.1 Partikelemissioner och mätning av antal partiklar.....	5
Bild 1: Översikt av PMP-systemet.....	5
Bild 2: Storleksfördelning vid olika temperaturer.....	6
Bild 3: Varm spädning som princip för att reducera små partiklar.....	6
1.2 EMIR.....	7
2 Mätupställning.....	7
2.1 EMIR-systemet.....	7
2.1.1 Komplet upställning emissions lab 3.....	7
Bild 4: Översikt på EMIR-systemet.....	7
2.1.2 Spädare.....	9
Bild 5: Ejektor spädare från Dekati.....	9
2.1.3 Partikelräknare.....	10
Bild 6: Principskiss partikelräknare.....	10
2.2 Uppställning i emissionsprovcell 3.....	10
2.2.1 Mätning av spädfaktorer.....	10
Bild 7: Uppställning för mätning spädfaktorer, Avg-lab 3.....	11
Bild 8: Dekati spädare.....	12
Tabell 2: Konstanter och parametrar för flödesberäkning.....	13
Bild 9: Avtagande massflöde vid stigande temperatur.....	14
2.2.2 Uppställning för repeterbarhets studier.....	14
Bild 12: EMIR-systemet, 4 spädare.....	15
2.2.3 Repeterbarhetsprov.....	15
Bild 13: Resultats variationer.....	16
2.2.4 Resultat repeterbarhet.....	16
Bild 14: Resultat kör cykel vs CPC och Teom.....	17
3 Direkt mätning från avgasrör, Avg-lab 4.....	17
3.1 Uppställning Avg-lab 4.....	17
3.1.1 Mätstos med sond för direkt mätning från avgasrör.....	17
Bild 15: Stos med sond för direkt mätning från avgasrör.....	18
Bild 16: EMIR-system med värmd ledning från avgasrör.....	18
3.1.2 Mätning av spädfaktorer vid direkt mätning i provcell4.....	19
4 Bedömning av EMIR-systemets hanterbarhet och stabilitet.....	19
4.1 Hanterbarhet.....	19
4.1.1 Stabilitet 2.2.4.....	20
5 EMIR-systemets svaga punkter.....	20
5.1 Spädfaktorer.....	20
5.1.1 CPC.....	20
5.1.2 Noteringar från prov och oförklarliga händelser.....	21
6 Resultat.....	21
6.1 Resultat från partikelmätning med CPC på bensenmotorer, sammanfattning.....	22
6.1.1 Provförande.....	22
6.1.2 Utvärdering.....	22

**GM Powertrain Sweden**Godkänd/Approved by
FLT Lennart HörbergTelefax
0520-86766Lagringsdata/File
FL05018401Reg nr/Reg no
FL050184Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn NymanTelefon/Phone
0520-483964Datum/Date
2005-09-27Utgåva/Issue
1Sida/Page
4 (33)

6.1.3 Resultat	22
6.1.4 Bilagor.....	22
6.2 Partikelmätning EMIR 1 på dieselmotorer	29
6.2.1 Bakgrund.....	29
6.2.2 Provförande.....	29
6.2.3 Provobjekt	29
6.2.4 Resultat, sammanfattning.....	29
6.2.5 Bilagor.....	29

GM Powertrain Sweden

 Godkänd/Approved by
 FLT Lennart Hörberg

 Telefax
 0520-86766

 Lagringsdata/File
 FL05018401

 Reg nr/Reg no
 FL050184

 Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
 A6-1 FLTA Björn Nyman

 Telefon/Phone
 0520-483964

 Datum/Date
 2005-09-27

 Utgåva/Issue
 1

 Sida/Page
 5 (33)

1. Inledning

1.1 Partikelemissioner och mätning av antal partiklar

Gasformiga emissioner från fordon har stått i fokus vid debatter under många år. På senare år har flera rapporter kommit som visar att partiklar kan påverka hälsan och klimatet. Det finns även farhågor om att mindre partiklar troligen är farligare än större. Just nu är regleringen av partikelnivåer i avgaser mest i fokus, framför allt i Europa som har en stor andel dieselfordon. Tekniken med dieselpartikelfilter (DPF) har gjort det möjligt att reducera nivåerna drastiskt samtidigt som kunskapen om partiklars hälsovådliga egenskaper ökat medför att man kan förvänta sig radikalt minskade nivåer i kommande lagförslag.

Allt efter som nivåerna sjunker så ifrågasätts dagens mätmetod allt mer. Idag mäts partikelmassa genom att bilens avgaser späds i en s.k. Constant Volume Sampler (CVS) under det att bilen körs i en fördefinierad körcykel. Ett delflöde av det spädda flödet sugas genom ett filter som vägs före och efter provet. Allt eftersom nivåerna går ner så får man mindre och mindre på filtren vilket ställer stora krav på våg utrustning och konditionering av filtren före och efter provet. Förutom farhågorna att om mindre partiklar är mer farliga än större så finns det även vissa rapporter som visar att antalet är ett bättre mått på farlighet än den samlade massan då den ofta domineras av de största partiklarna.

Därför har UNECE startat en arbetsgrupp kallad Particle Measurement Program (PMP) under subgruppen GRPE. I den första delen av arbetet kartlades olika instrument och metoder för att hitta lämpliga kandidater för ny lagstadgad certifieringsmetod. Resultatet blev att man föreslog två metoder, dels en uppgradering av av befintlig CVS metod och dels räkning av partiklar. Den senare metoden går ut på att man tar ut ett delflöde ur CVS tunneln, se bild nedan, som leds via en cyklon, (PCF) och därefter späds med varm luft (D1, 150 °C) för att sen värma de utspädda gaserna till 400 °C (ET) och sedan späda ytterligare (D2). Till slut räknar man totala antalet partiklar som har diameter större än 23 nanometer (nm) med partikelräknare.

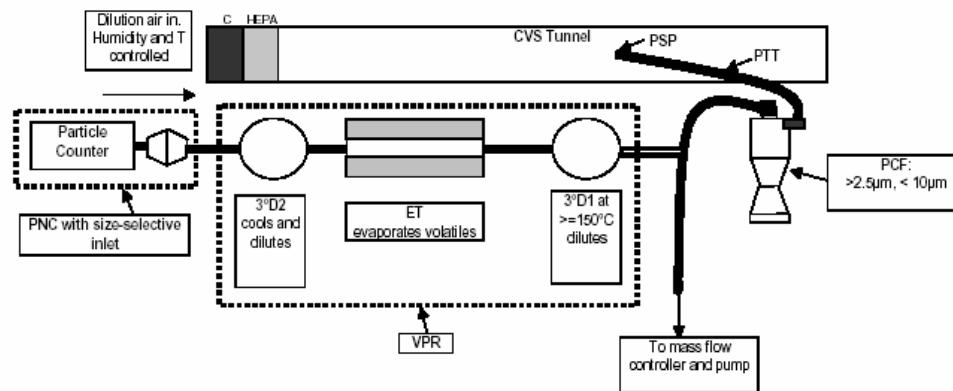


Bild 1: Översikt av PMP-systemet

GM Powertrain Sweden

 Godkänd/Approved by
FLT Lennart Hörberg

 Telefax
0520-86766

 Lagringsdata/File
FL05018401

 Reg nr/Reg no
FL050184

 Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn Nyman

 Telefon/Phone
0520-483964

 Datum/Date
2005-09-27

 Utgåva/Issue
1

 Sida/Page
6 (33)

Vid nedkylning och kall spädning av avgaser så kan det nybildas partiklar. De här partiklarna är mycket små, typiskt mindre än 30 nm, och de skapas av kondenserande gaser av t.ex. tunga kolväten. Den här nukleeringsprocessen är oerhört snabb och variabel. Små förändringar i tryck eller temperatur kan få antalet att ändras med flera tiopotenser eller mer. Ovan nämnda metod tar sikte på det här genom att ånga eller torka bort alla flyktiga/kondenserbara kolväten med varm spädning. I bilden nedan kan man se hur storleksfördelningen ändras efter uppvärmning till olika temperaturer. Observera att antalet små partiklar går ner med nära faktor tusen.

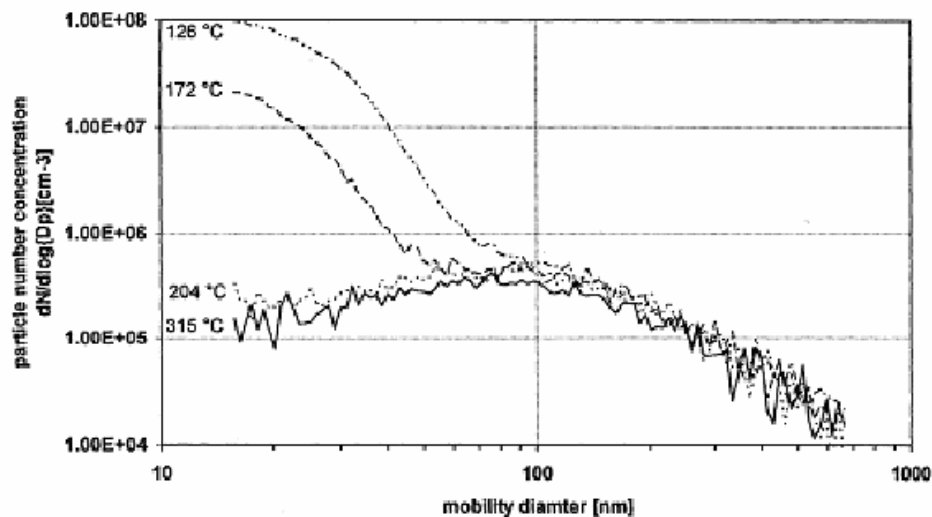


Bild 2: Storleksfördelning vid olika temperaturer

På bilden nedan kan man se förloppet på ett mer schematiskt sätt. Under förbränningen i motorns cylindrar bildas små kolpartiklar som är kanske ett tiotal nanometer i storlek. De här partiklarna slås ihop till kedjeliknande partiklar. När sedan avgaserna kyles i avgasröret och under spädningen i CVS tunneln så kondenserar kolväten på de här kol- eller sotpartiklarna och det kan även bildas nya partiklar direkt från kondenserade eller nukleerande kolväten. Den varma spädningen ångar bort de här kolväten samtidigt som utspädningen ökar vilket förhindrar återkondensation. På så sätt ser man i princip enbart sotpartiklar.

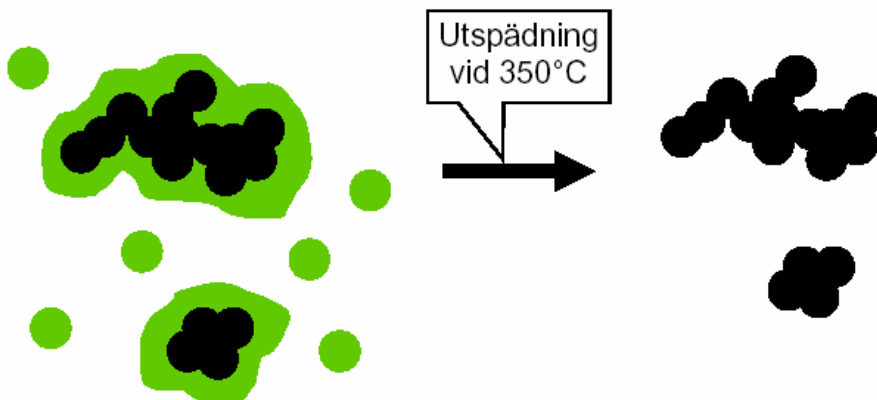


Bild 3: Varm spädning som princip för att reducera små partiklar

GM Powertrain Sweden

 Godkänd/Approved by
 FLT Lennart Hörberg

 Telefax
 0520-86766

 Lagringsdata/File
 FL05018401

 Reg nr/Reg no
 FL050184

 Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
 A6-1 FLTA Björn Nyman

 Telefon/Phone
 0520-483964

 Datum/Date
 2005-09-27

 Utgåva/Issue
 1

 Sida/Page
 7 (33)

1.2 EMIR

EMIR-projektet (Emission Research) är ett projekt finansierat genom Vinnova inom ramen för de statliga pengarna inom Grön Bil. Projektet är delat i två delar, EMIR-1 och EMIR-2. EMIR-1 syftar bl.a till att höja kompetensen inom området partikelmätning och bidra till att en relevant mätmetod för avgasrelaterade partiklar tas fram. EMIR-2 syftar till att löpande bevaka den vetenskapliga forskningen inom området partikelemissioner och hälsorisker samt förse fordonsindustrin och tekniska forskare med relevant och tillämbart kunskap.

Inom EMIR-1:s industriprogram ingår att ta fram en ny mätmetod för avgaspartiklar. Ovan nämnda PMP startade efter EMIR-projektet men det har givetvis blivit väldigt styrande eftersom debatten och den eventuella konsekvensen av PMP:s arbete är stor för alla fordons- och motortillverkare. De föreslagna "EMIR-systemet" liknar PMP:s metod men den är inte identisk. Själva konfigurationen av systemet valdes ur tre olika förslag som provkördes på en Volvo V70 hos AVLMTTC i april 2004 under faser "Grundläggande studier".

I den här rapporten presenteras resultatet från mätningar som är utförda hos Saab Automobile Powertrain AB under tiden 2005-02-02 - 2005-07-15. Mätningarna är gjorda med "EMIR-systemet" på komplett bil i emissionsprovcell.

2 Mätupställning

2.1 EMIR-systemet

2.1.1 Kompletta uppställning emissions lab 3

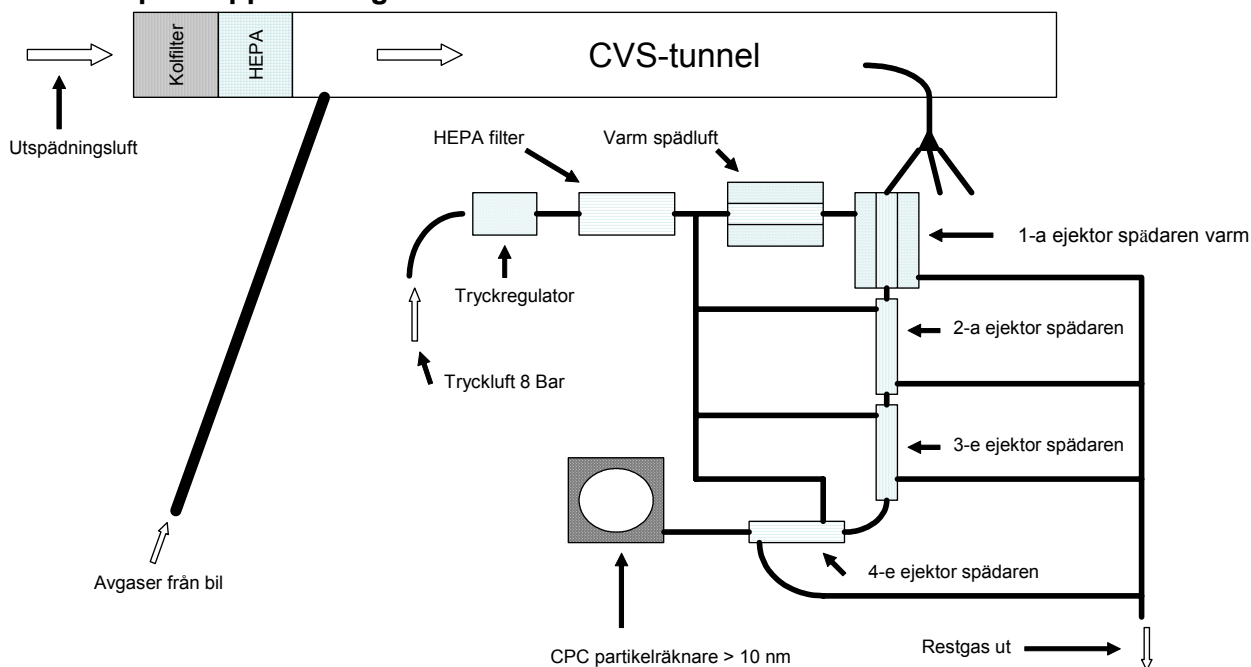


Bild 4: Översikt på EMIR-systemet



GM Powertrain SwedenGodkänd/Approved by
FLT Lennart HörbergTelefax
0520-86766Lagringsdata/File
FL05018401Reg nr/Reg no
FL050184Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn NymanTelefon/Phone
0520-483964Datum/Date
2005-09-27Utgåva/Issue
1Sida/Page
8 (33)

Komplett utrustning består av följande komponenter

1. Provet tas från CVS tunneln i emissionsprovcell för hel bil. Den första varma ejektor spädaren, 350°C, ansluts till en av de tre anslutningarna till partikelfilterhållare. Temperaturen regleras av en egen enhet och mäts och loggas kontinuerligt under proven.
2. Efter den värmda spädaren kopplades en till tre kalla ejektorspädare. Antal spädare bestäms av den slutliga koncentrationen i partikelräknaren. Koncentrationen i partikelräknaren kan inte mäta fler än 10 000 partiklar/cm³.
3. Tryckluften som försörjer spädarna var 8 Bar från standarduttag vilket innebar att den var torkad och fri från olja. Trycket reglerades ner till 2 Bar innan flödet nådde HEPA filtret som tog bort alla partiklar.

GM Powertrain Sweden

 Godkänd/Approved by
 FLT Lennart Hörberg

 Telefax
 0520-86766

 Lagringsdata/File
 FL05018401

 Reg nr/Reg no
 FL050184

 Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
 A6-1 FLTA Björn Nyman

 Telefon/Phone
 0520-483964

 Datum/Date
 2005-09-27

 Utgåva/Issue
 1

 Sida/Page
 9 (33)

2.1.2 Spädare

Själva spädningen sker med hjälp av ejektorspädare från Dekati. Funktionen är på följande sätt: 2 Bars tryckluft trycks in (kritisk strömning) runt röret med de utspädda avgaserna och vidare genom en dysa vid utloppet av röret. På detta sätt skapas ett undertryck som suger in avgaser i spädaren. Avgaserna späds vid dysan och i efterföljande blandningskammare. De utspädda gaserna fördelas därefter till restgas mot utloppet och mot ytterligare spädare eller partikelräknare.

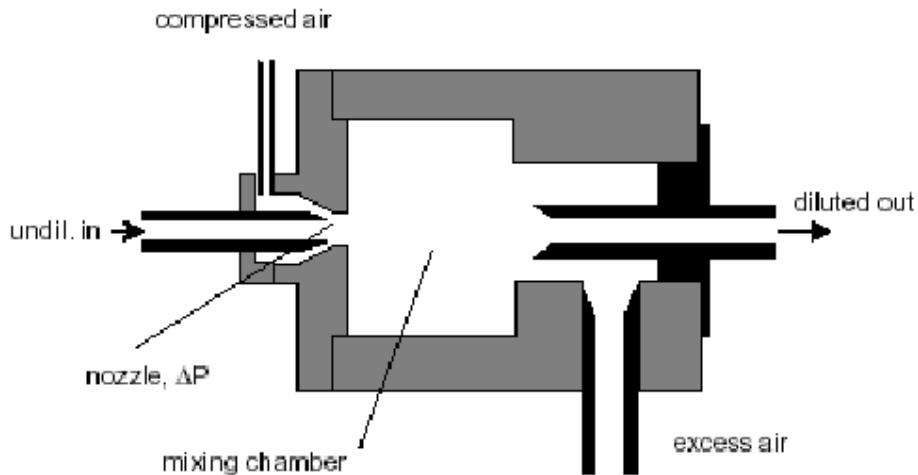


Bild 5: Ejektor spädare från Dekati

GM Powertrain Sweden

 Godkänd/Approved by
 FLT Lennart Hörberg

 Telefax
 0520-86766

 Lagringsdata/File
 FL05018401

 Reg nr/Reg no
 FL050184

 Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
 A6-1 FLTA Björn Nyman

 Telefon/Phone
 0520-483964

 Datum/Date
 2005-09-27

 Utgåva/Issue
 1

 Sida/Page
 10 (33)

2.1.3 Partikelräknare

Partikelräknare med beteckning 3010, tillverkad av TSI Inc, användes under proven. På engelska kallas dessa partikelräknare "Condensation Particle Counter", förkortat till CPC vilket är den benämning man använder i dagligt tal. Mät principen för partikelräknaren är att luft med partiklar leds in över en värmad reservoar av Butanol. Butanolångorna blandas med luftflödet och transporteras vidare, burna av partiklar. I en kondensor kondenserar sedan Butanolen på partiklarna till droppar, någon till några mikrometer stora. Dessa droppar är tillräckligt stora för att enkelt detekteras med hjälp av laserljus, se bild nedan.

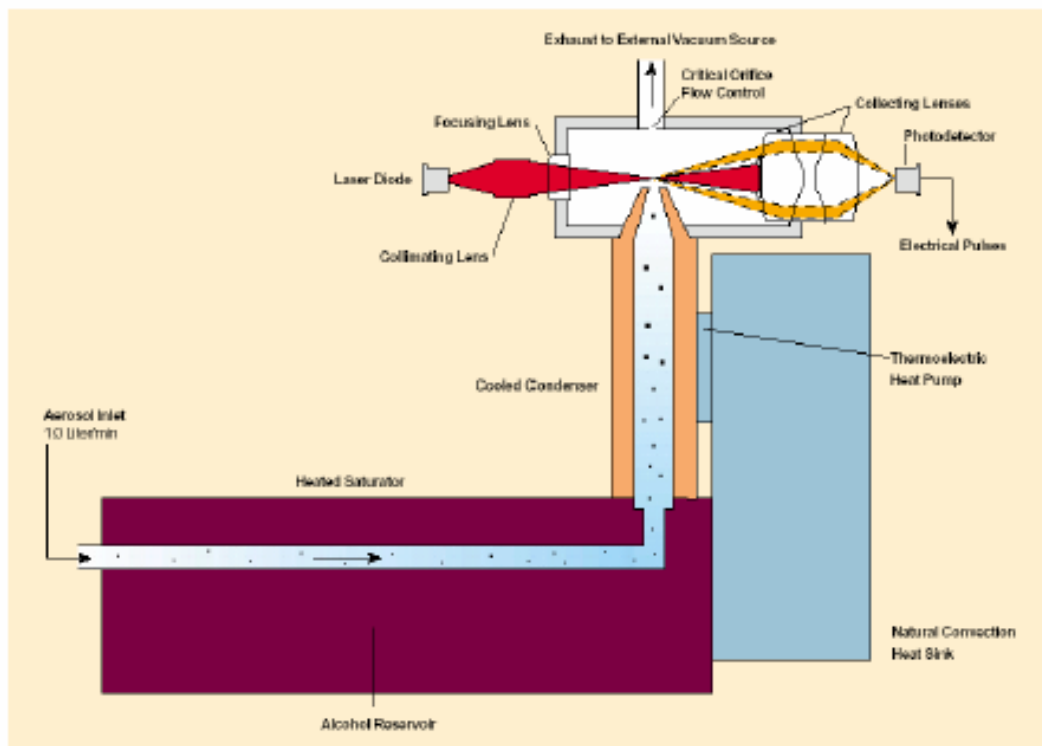


Bild 6: Principskiss partikelräknare

2.2 Uppställning i emissionsprovcell 3

2.2.1 Mätning av spädfaktorer

Vid uppmätningen av spädfaktorer användes NO_x gas, 4586 ppm analyserad koncentration, ansluten till den kompletta uppsättningen med fyra spädnare. Ejektorfunktionen i systemet medförde att inflödet till första spädnaren var 4 l/min, vilket mättes med speciell flödesmätare. Flödet från NO_x flaskan reglerades därefter in till samma flödesmängd för att simulera förhållandet då systemet suger från CVS tunneln.

GM Powertrain Sweden

Godkänd/Approved by
FLT Lennart Hörberg

Telefax
0520-86766

Lagringsdata/File
FL05018401

Reg nr/Reg no
FL050184

Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn Nyman

Telefon/Phone
0520-483964

Datum/Date
2005-09-27

Utgåva/Issue
1

Sida/Page
11 (33)



Bild 7: Uppställning för mätning spädfaktorer, Avg-lab 3

En NOx analysator, Horiba 9000, anslöts därefter till spädarnas restgas utgång där utspädningen beräknades mot den inkommande koncentrationen. Varje spädare uppmättes för sig under konstanta förhållanden. Analysatorns "auto-range" lägsta område är 10 ppm vilket gav bra noggrannhet även efter sista spädaren där koncentrationen var kraftigt utspädd. Under mätningen av spädfaktorer hölls systemet under samma förhållande som när prover kördes d.v.s. 4 l/min inflöde, 350°C i första spädarens blandningskammare och 400°C varm spädluft till första spädaren. Då resultaten varierade studerades även temperaturinverkan i spädningkammaren genom att mäta spädningfaktorer vid rumstemperatur. Se tabell 1 nedan.

GM Powertrain Sweden

 Godkänd/Approved by
 FLT Lennart Hörberg

 Telefax
 0520-86766

 Lagringsdata/File
 FL05018401

 Reg nr/Reg no
 FL050184

 Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
 A6-1 FLTA Björn Nyman

 Telefon/Phone
 0520-483964

 Datum/Date
 2005-09-27

 Utgåva/Issue
 1

 Sida/Page
 12 (33)

Tabell 1: Mätvärden från analys av spädfaktorer

l/min CPC	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997
l/min NOx	4	4	4	4	4	4	4
ppm NOx	4586	4586	4586	4586	4586	4586	4586
T i 1-a späd	23	348	349,5	351,3	349,8	350,3	350,5
Eft 1-a späd	467	669,8	643	645,8	653	652,5	651,3
Eft 2-a späd	53	64,0	60,5	60,3	60,4	60,3	60,2
Eft 3-e späd	6,84	8,2	7,68	7,7	7,65	7,6	7,61
Eft 4-e späd	0,8	1,0	0,92	0,9	0,85	0,9	0,86

Skillnaden mellan rumstemperatur och 350°C förvärmning i första spädares blandningskammare ger markanta skillnader, främst vid första analyspunkten. Skillnaden i fjärde spädares blandningskammare syns inte lika tydligt då koncentrationerna är på en mycket låg nivå. Skillnaden mellan dessa prov är dels att manteln kring spädares inte värms samt att spädluften inte förvärms. Första spädares funktions skiss ses nedan i bild 8.

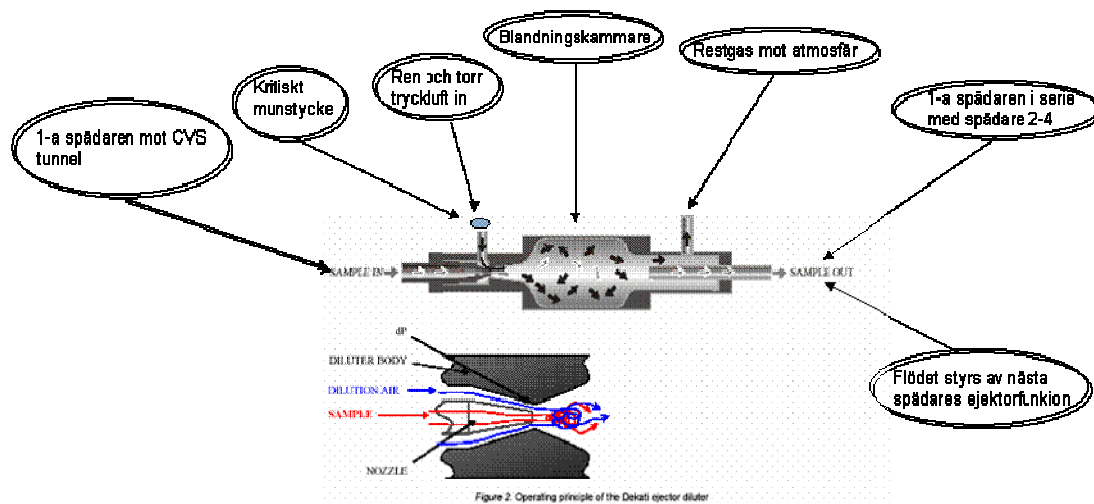


Bild 8: Dekati spädares

**GM Powertrain Sweden**Godkänd/Approved by
FLT Lennart HörbergTelefax
0520-86766Lagringsdata/File
FL05018401Reg nr/Reg no
FL050184Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn NymanTelefon/Phone
0520-483964Datum/Date
2005-09-27Utgåva/Issue
1Sida/Page
13 (33)

Då densiteten i blandningskammaren förändras med luftens temperatur så förväntas även koncentrationen NOx variera. Tillförs en varm och tunn luft till blandningskammaren för att blandas med en fast koncentration NOx gas så blir den totala volymen av högre koncentration NOx än om en kall och tät luft används i blandningskammaren.

För att visa detta på ett mer vedertaget sätt användes grundläggande parametrar för flödesberäkningar samt antaganden då geometrin för spådares kanaler, munstycken och flödeskoefficienter inte är kända.

Tabell 2: Konstanter och parametrar för flödesberäkning

κ	Kappa för luft	1,4	
R	Allmän konstant för luft	286,6	J/kg K
T	Temperatur		Kelvin
R_0	Densitet	P_s/R^*T	kg/m ³
P_{dyn}	Dynamiskt tryck	$P_t - P_s$	Pa
c	Formel för ljudhastighet	$\sqrt{\kappa^*R^*T}$	m/s
X	Gasflödesfunktionen	$X(\kappa, M) = M^* \sqrt{\kappa} / ((1 + ((\kappa - 1)/2)^*M^2)^{(\kappa + 1)/(\kappa - 1)})$	
X(M=1)	Gasflödesfunktionen vid M=1	0,6846	
m	Massflöde vid kritisk strömning	$X^*A_{eff}^*P_{krit} / \sqrt{T_{krit}^*R}$	kg/s
P_{krit}	Tryck i kritiska snittet vid M=1	$P_{stat Innan}^*0,5283$	kPa
T_{krit}	Temp i kritiska snittet vid M=1	$T_{tot Innan}^*0,8333$	Kelvin

Beräkningarna för massflöde är under förutsättningarna att A_{eff} , P_{krit} och T_{krit} är fiktiva då dessa inte är kända. Graferne visar endast att flödet sjunker med ökande temperatur.

GM Powertrain Sweden

 Godkänd/Approved by
 FLT Lennart Hörberg

 Telefax
 0520-86766

 Lagringsdata/File
 FL05018401

 Reg nr/Reg no
 FL050184

 Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
 A6-1 FLTA Björn Nyman

 Telefon/Phone
 0520-483964

 Datum/Date
 2005-09-27

 Utgåva/Issue
 1

 Sida/Page
 14 (33)

Flöde genom kritiskt munstycke med stigande temperatur

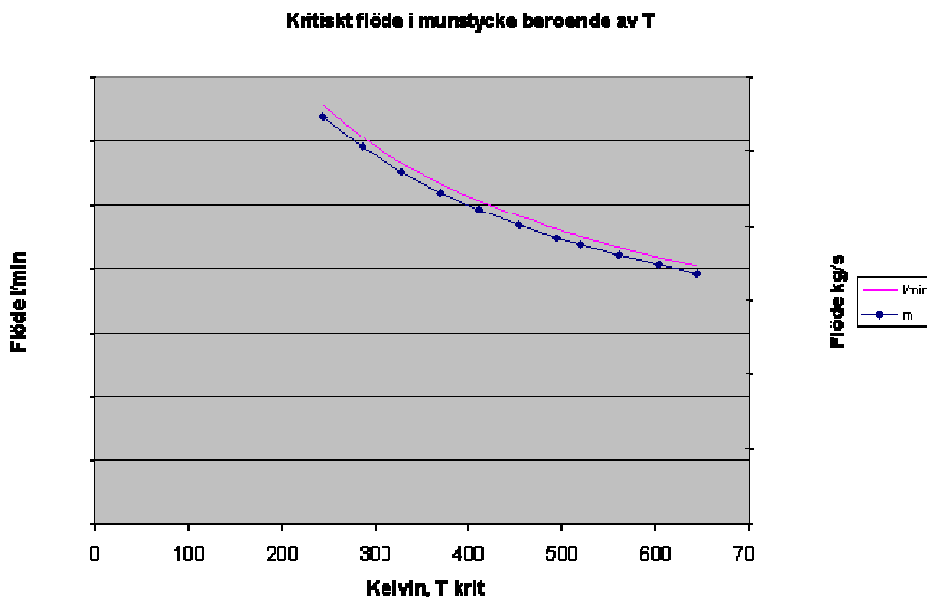


Bild 9: Avtagande massflöde vid stigande temperatur

Förklaringen till den markanta ändringen som noterades mellan 350°C värm� blandningskammare och rumstempererad kan alltså med stor säkerhet härledas till varierande densitet. Enligt mätningarna så ligger avvikelserna på ~ 28-30 %, vid beräkningarna som gjordes visade det sig avvika 31,4 % vilket i detta fall bör bevisa att antagandet ovan stämmer.

- Ökande temperatur innebär reducerat massflöde genom kritiskt munstycke.
- Reducerat spädflöde innebär högre koncentration analyserat värde av spårgas via restgas- utsläpp från spädaren.
- Spädfaktorn påverkas av temperaturen hos utspädningsgasen.

De analysavvikelser som noterades vid 350°C kan dock inte anses vara beroende av den temperaturvariation, 348-350,5°C, som fanns under de olika tillfällen då spädfaktorer uppmättes. Mellan mätningar, gång för gång mot samma analyspunkt kan kanske variationen anses relativt liten men då systemets samtliga faktorer läggs samman blir skillnaden betydligt större.

2.2.2 Uppställning för repeterbarhets studier

Under tiden 6-20 april genomfördes ett antal prover för att studera EMIR-systemets repeterbarhet vid chassi dynamometer för emissionsprov. Provcellen som användes var Avg-lab 3, GMPT-S diesel provcell.

GM Powertrain SwedenGodkänd/Approved by
FLT Lennart HörbergTelefax
0520-86766Lagringsdata/File
FL05018401Reg nr/Reg no
FL050184Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn NymanTelefon/Phone
0520-483964Datum/Date
2005-09-27Utgåva/Issue
1Sida/Page
15 (33)

Bild 12: EMIR-systemet, 4 spädare

2.2.3 Repeterbarhetsprov

För att minimera inverkan från faktorer så som riktning av bil på dynamometer, varierande kallstartsfenomen och förarberoende så kördes del två av ett EC2000 prov med en och samma förare under en och samma uppsättning. Bilen varmkördes på dynamometer varefter temperaturen i katalysatorn inväntas sjunka till förutbestämd nivå, därefter genomfördes provsekvensen. Bilen stod därefter kvar på tomgång tills katalysatortemperaturen sjunkit till samma förut bestämda nivå varvid nästa provsekvens kördes. De instrument som användes var TEOM mod 1105, Vets 7000 och Horiba 9000.

I bilden nedan visas resultaten från tre olika förare med avvikelser. Noteras kan att CPC 4 och CPC 5 (resultaten från partikelräknaren) avviker kraftigt i första accelerationsfasen mot CPC 6. Denna avvikelse kan man inte se i förarberoende då kraven för dessa var inom godkända nivåer.

I den andra konstantfartsdelen syns tydliga avvikelser i förarberoende, vilka också registrerades som "Drivers Voilation" i Vets då dessa var utanför toleransnivåer. I grafen för CPC 6 så visas dessa avvikelser som en direkt kopia av Speed 6 men inverterad. I tredje konstantfartsdelen syns ytterligare en förarberoende avvikelse som registreras av grafen för CPC 6.

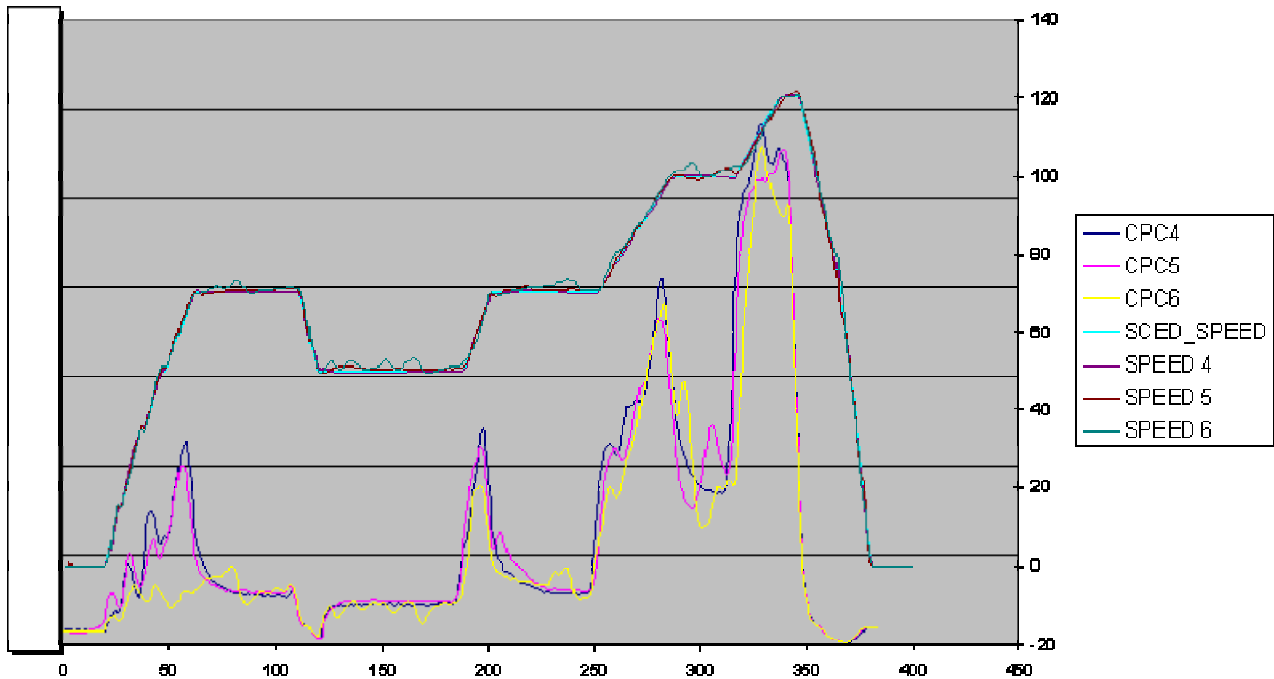
GM Powertrain SwedenGodkänd/Approved by
FLT Lennart HörbergTelefax
0520-86766Lagringsdata/File
FL05018401Reg nr/Reg no
FL050184Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn NymanTelefon/Phone
0520-483964Datum/Date
2005-09-27Utgåva/Issue
1Sida/Page
16 (33)

Bild 13: Resultats variationer

Med anledning av ovan resultat beslutades att vi i repeterbarhetsstudierna använder en förare och förfarandet som beskrivits ovan.

2.2.4 Resultat repeterbarhet

Fem varm-prover, EC2000 del 2, kördes av en förare och samma uppriggning av bil under en dag. Bilen var inte försedd med partikelfälla (DPF). Inga förarberoende avvikelser noterades och repeterbarheten av körningarna var mycket bra. I bilden nedan visas körcyklernas grafer under benämningarna Speed 8-12, registrerad massa från Teom 8-12 och CPC 8-12.

OBS! Tidsaxlarna för Teom och CPC är inte korrekt synkroniserade med körcyklerna, kunde tyvärr inte åtgärda detta i tid för dessa prover.

Med resultaten nedan kan man klart säga att repeterbarheten hos EMIR-systemet är mycket bra vid mätning på bil körd på chassi dynamometer. De variationer som registrerats under andra förutsättningar kan helt klart härledas till andra faktorer så som bil beroende, förarberoende, temperatur, fuktighet, fastsättning på dynamometer mm.

GM Powertrain Sweden

 Godkänd/Approved by
 FLT Lennart Hörberg

 Telefax
 0520-86766

 Lagringsdata/File
 FL05018401

 Reg nr/Reg no
 FL050184

 Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
 A6-1 FLTA Björn Nyman

 Telefon/Phone
 0520-483964

 Datum/Date
 2005-09-27

 Utgåva/Issue
 1

 Sida/Page
 17 (33)

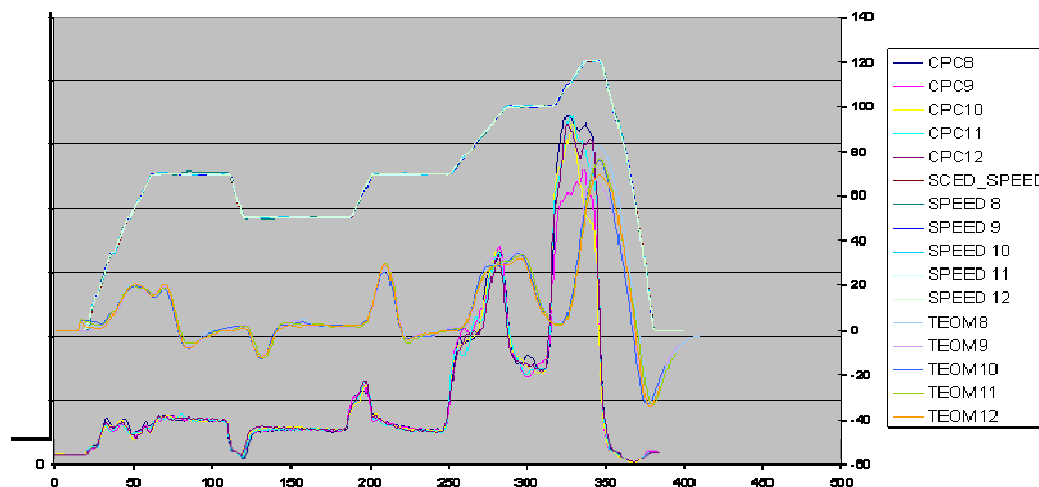
CPC vs TEOM, test 8-12


Bild 14: Resultat kör cykel vs CPC och Teom

En intressant notering är att amplituden för Teom och CPC är i samma härad vid punkten 200 medan den skiljer sig kraftigt vid punkten 275. Detta är som synes repeterbart varvid slutsatsen kan vara att fler partiklar bildas vid punkten 275 till samma massa som registrerades av Teomen vid punkten 200. Detta betyder således att motorn producerar en större mängd små partiklar i punkt 275 än i punkt 200.

3 Direkt mätning från avgasrör, Avg-lab 4

3.1 Uppställning Avg-lab 4

3.1.1 Mätstos med sond för direkt mätning från avgasrör

För att kunna samla avgaser under lagstadgade CVS prover direkt från bilens avgassystem konstruerades en speciell stös att fästa mellan bilens slutrör och CVS slangen. Bilar för emissionsprover är utrustade med fläns för montering mot cellens stålslang, identiska flänsar svetsades på stosen för att kunna monteras stål mot stål. Anledningen till denna utformning kommer av att man under tidigare partikelstudier funnit att olika materiel kan ge tillskott i registrerade halter, stål har visat sig vara gynnsamt. Sondens diameter är 12 mm från dess inlopp till anslutningen vid första spädaren. Från dess inlopp finns en godtycklig raksträcka för att minimera stagnationspunkt i flödet, böjningsradien ut ur stosen är så stor som medges.

GM Powertrain Sweden

 Godkänd/Approved by
 FLT Lennart Hörberg

 Telefax
 0520-86766

 Lagringsdata/File
 FL05018401

 Reg nr/Reg no
 FL050184

 Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
 A6-1 FLTA Björn Nyman

 Telefon/Phone
 0520-483964

 Datum/Date
 2005-09-27

 Utgåva/Issue
 1

 Sida/Page
 18 (33)

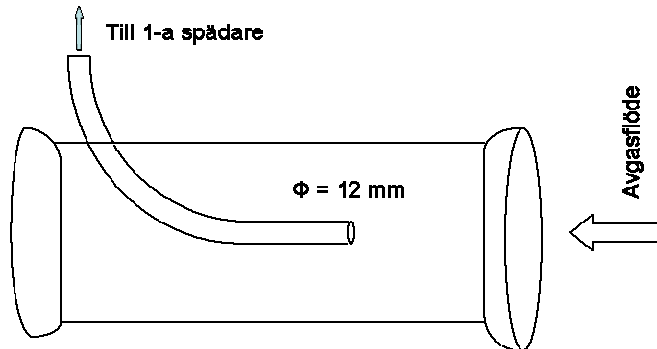
Mät stos mellan avgasrör och CVS slang


Bild 15: Stos med sond för direkt mätning från avgasrör

Efter första testen, där CPC-n bottnade, visade det sig att det fanns betydande mängder vatten kvar i det isolerade röret mellan stös och första spädaren. För att undvika att vatten kondenseras ut införskaffades en värmemantel som installerades kring röret. För att kontrollera flödestemperaturen installerades ett termoelement vid första spädarens inlopp. Ett flöde som håller 250°C visade sig effektivt i avseende kondensation och /eller värma upp tidigare kondensat till gasform. Se bild nedan.



Bild 16: EMIR-system med värmd ledning från avgasrör



GM Powertrain Sweden

Godkänd/Approved by FLT Lennart Hörberg	Telefax 0520-86766	Lagringsdata/File FL05018401	Reg nr/Reg no FL050184	
Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by A6-1 FLTA Björn Nyman	Telefon/Phone 0520-483964	Datum/Date 2005-09-27	Utgåva/Issue 1	Sida/Page 19 (33)

Vid prov av samma bil som gav "overrange" innan noterades nu betydligt lägre koncentrationer varvid det troliga är att kondensat registrerats som partiklar i CPC-n. Efter installation av värmd rörledning registrerades det inget mer vatten vid demontering av systemet.

3.1.2 Mätning av spädfaktorer vid direkt mätning i provcell4

Samma förfarande som användes vid tidigare spädfaktor mätning genomfördes även i provcell 4. Enda skillnaden var att man nu anslöt NOx gasen (4586 ppm) direkt till det uppvärmda mellanröret. Vid analys av restgaskoncentrationen visade det sig att halten NOx reducerades varför en kompletterande mätning gjordes där gasen anslöts direkt till första spädaren. Resultaten visade att uppvärmningen av gasen in till spädaren påverkade koncentrationen vilket stärker slutsatsen i förra avsnittet som behandlade ämnet spädnings, densitetsförändring => ändrad koncentration.

4 Bedömning av EMIR-systemets hanterbarhet och stabilitet

4.1 Hanterbarhet

EMIR-systemet är inte att betrakta som ett industriellt färdigt system då det innehåller olika komponenter som tillsammans bildar systemet. Det är av den anledningen ofta nödvändigt att bygga mindre rörinstallationer för att anpassa systemet vid olika applikationer. Vid mätningar i CVS tunnel monterades första och andra spädare vertikalt medan resterande utrustning horisontellt. Vid direkt mätning från avgasrör hölls samtliga ingående komponenter i horisontellt läge.

En orsak till att systemet som sådant är utrymmeskrävande är att man vid vissa mätningar behöver använda upp till fyra spädare för att komma under CPC maximala mätområde. Dessa spädare bygger en avsevärd stäcka varför redan trånga provceller kan verka begränsande.

CPC-n innehåller en behållare för Butanol vilken inte får tillåtas skvimpas omkring. Skulle Butanol hamna i laserenheten är man tvungen att demontera den för rengöring vilket inte är en enkel operation. CPC-n måste därför hanteras mycket försiktigt då Butanol finns i dess behållare.

**GM Powertrain Sweden**Godkänd/Approved by
FLT Lennart HörbergTelefax
0520-86766Lagringsdata/File
FL05018401Reg nr/Reg no
FL050184Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn NymanTelefon/Phone
0520-483964Datum/Date
2005-09-27Utgåva/Issue
1Sida/Page
20 (33)**4.1.1 Stabilitet 2.2.4**

Med hänvisning till stycke 2.2.4 så bekräftas att EMIR-systemet har god repeterbarhet och stabilitet. Det måste understrykas att de prover som genomförts har varit på bil med mänsklig förare som i sig har större variationer än en automatiserad motorprovcell där provförfarandet kan upprepas till närmast 100 %.

De mätningar som gjorts i Trollhättan, spänningsfaktormätning, repeterbarhet och direktmätning från avgasrör har visat sig ge stabila och repeterbara resultat.

5 EMIR-systemets svaga punkter**5.1 Spädfaktorer**

I och med att EMIR-systemets partikelräknare inte har ett obegränsat mätområde så tvingas man späda ner avgaserna till en nivå där koncentrationen understiger 10 000 partiklar/cm³. De späda som användes under proven av fabrikat Decati håller inte vad certifikaten lovar. Dessutom verkar spädfaktorn ändra sig mellan olika installationer vilket vi under dessa prover inte kunnat utreda.

Det är dock helt klart att spädningsfaktorena förändras mot certifierad nivå då gas temperaturen förändras. För att analysera hela kedjan har en spärgas använts vilket i sig tillför mät osäkerhet då hela denna separata kedja med flöden, tryck, läckage och analysator tillkommer. Detta förfarande behöver bli betydligt bättre för att slutresultatet ska kännas tillfredställande. Enligt leverantören så ska dessa späda ha ett konstant blandningsförhållande om ca 8 delar luft till 1 del gas. Enligt våra mätningar varierar det minst mellan 7-11 delar luft till 1 del gas. Har man kontinuerlig kontroll på denna fördelning så är ingen skada skedd men om flera spädsteg ändras utan korrigerig så kan det slutliga resultatet avvika kraftigt från det verkliga.

5.1.1 CPC

Som tidigare nämnts i denna rapport så är partikelräknaren mycket känslig att transportera då Butanol kan kontaminera spegelarrangemanget i laserenheten. För att bli ett instrument i bilindustrin där det ska användas under mer produktionsanpassade förhållanden så krävs att detta utvecklas vidare på ett eller annat sätt.

**GM Powertrain Sweden**Godkänd/Approved by
FLT Lennart HörbergTelefax
0520-86766Lagringsdata/File
FL05018401Reg nr/Reg no
FL050184Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn NymanTelefon/Phone
0520-483964Datum/Date
2005-09-27Utgåva/Issue
1Sida/Page
21 (33)

5.1.2 Noteringar från prov och oförklarliga händelser

Under provserien i provcell 3, CVS, så fallerade temperaturregleringen till första spädarens mantel. Då flödet genom EMIR-systemet är mycket konstant och temperaturen i tunneln också är konstant så var det inga problem att manuellt justera in lämplig procentuell utställning från reglerenheten. Temperaturen i blandningskammaren hölls i klart godtagbara nivåer under proverna. Reglerenhetens sattes konstant till 7 % med mindre justeringar vid start av systemet då viss insvängning normalt krävde tillsyn.

När provserien i cell 3 var avklarad flyttades systemet till cell 4 där det monterades för direkt mätning från bilars avgassystem. För att hålla temperaturen vid 350°C krävdes nu att reglerenheten ställdes till ca: 40-45 %. Vad som orsakade denna förändring har inte kunnat utredas.

En annan händelse som inträffade i provcell 4 var att CPC-n under uppvärmning började räkna partiklar i ökande antal. När temperaturen i blandningskammaren nådde 345°C visade CPC-n "overrange", vilket betyder mer än 10 000 partiklar/cm³, OBS! i detta läge var inloppet till systemet anslutet mot atmosfär utan förklaring till ökade bakgrundshalter. Värmen till manteln kopplades ur under felsökningen vilket resulterade i att CPC-n plötsligt började räkna koncentration inom mätområdet igen. När nivån kommit ner till rimliga värden kopplades värmemanteln till igen, samma fenomen inträffade igen. Efter att systemet stått en tid med 350°C i blandningskammaren så började nivån att sjunka, till slut nåddes rimliga värden. För att kontrollera läckage tätades inloppet till systemet som då endast fick renad spädluft, koncentrationen gick mot 0 vilket bekräftade att systemet var återhämtat. Fenomenet inträffade inte mer och vi kan inte förklara vad som orsakade det.

6 Resultat

Resultaten från mätningar med så kallad direktanalys på bensinbilar är sammanfattade i stycke 6.1 av utvecklingsingenjör Bo Karlsson. Resultaten från mätningar på dieslbilar är sammanfattade i stycke 6.2 av utvecklingsingenjör Svante Johansson.



GM Powertrain Sweden

Godkänd/Approved by FLT Lennart Hörberg	Telefax 0520-86766	Lagringsdata/File FL05018401	Reg nr/Reg no FL050184	
Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by A6-1 FLTA Björn Nyman	Telefon/Phone 0520-483964	Datum/Date 2005-09-27	Utgåva/Issue 1	Sida/Page 22 (33)

6.1 Resultat från partikelmätning med CPC på bensinmotorer, sammanfattning

6.1.1 Provtutförande

Mätningarna har utförts vid körning på chassidynamometer, avgaslab testcell 4, GM Powertrain Sweden, Trollhättan.

Std. CVS-utrustning användes för mätning av ordinarie emissioner inkl. avgasflöde.

Utsignal från CPC-instruments har loggats med 1Hz sample rate.

Sample för partikelmätning tas i stos monterad mellan bilens avgasrör och CVS-slang.

Nominell utspädning har varit 4096x.

Totalt har 10 olika bilar av olika fabrikat med varierande drivaggregat och körsträckor testats, tre bilar har dessutom körts med alternativt drivmedel, CNG resp. E85. Sammanlagt kördes 19 st. mätningar enligt EC-cykeln och 10 st. enligt US-cykeln.

Före prov har bilarna preparerats och soakats enligt gängse rutin för emissionsprov, kallstart +25 gr.C.

6.1.2 Utvärdering

Eftersom mätmetoden ännu saknas gränsvärde, kan utvärdering ej ske i termer av högt – lågt, godkänt – underkänt.

Istället får utvärdering ske genom

karaktärisering av mätresultatet, logisk koppling till motorfunktion

dynamik, max-min nivåer

relativ jämförelse mellan motorvarianter och motorindivider

inverkan av körmonster, drivmedel etc.

I bilagor redovisas resultat som

- partikelhalt CPC-utsignal [antal partiklar/cm³ analysatorflöde]

- ackumulerat antal partiklar i körcykel [CPC-halt x avgasflöde x utspädning], relativ skala ej absolutvärde.

6.1.3 Resultat

Mätmetoden verkar fungera, man kan se logiska kopplingar mellan partikelutsläpp och HC-utsläpp, avgasflöde, motorfunktion och körmode. (Bilaga 1.)

Generell fås mest partikelemissioner i startfasen, med betydande del också längre fram i körcyklerna t.ex. i accelerationen efter 250s i US-cykeln. (Bilaga 3, 4)

Stor spännvidd i resultat mellan olika bilar/motorer, storleksordningen faktor 10. (Bilaga 2, 3, 4)

Utsignal från CPC och HC-FID har liknande dynamik och karaktär. Viss korrelation mellan totalresultat på HC och antal partiklar kan ses. (Bilaga 5, 6)

Vissa slutsatser kan dras beträffande skillnader mellan motorvarianter. Dock svårt att ur denna mätserie säker veta om det är motortyp, motorindivid eller mätspridning som ger ett visst resultat.

Ett antal fenomen (emissionspikar) har noterats som faller utanför mönstret. Kopplingar till motorns driftsfall kan anas, men exakt förståelse för orsaken saknas. (Bilaga 7, 8, 9)

Flera observationer/incidenter av partikelutsläpp vid gassläpp, retardation (Bilaga 7)

Generellt sett lägre partikelutsläpp vid körning med CNG- och E85-bränsle jmf. med samma motor i bensindrift

(Bilaga 10, 11)

Av totalt 29 st. mätningar måste 4 st. betraktas som void. En pga hang-up i CPC-instrument och 3 pga over-range.

(Bilaga 2)

6.1.4 Bilagor

1. Exempel partikelhalt i EC-cykel
2. Högsta uppmätta partikelhalt, alla prov i EC-cykel
3. Accumulering partikelantal i US-cykeln
4. Accumulering partikelantal i EC-cykeln
- 5-6. Korrelation HC-FID och CPC
- 7-9. Incidenter (emissionspikar)
- 10-11. Jämförelse partikelutsläpp vid körning med olika drivmedel

Bilaga 1.



GM Powertrain Sweden

Godkänd/Approved by
FLT Lennart Hörberg

Telefax
0520-86766

Lagringsdata/File
FL05018401

Reg nr/Reg no
FL050184

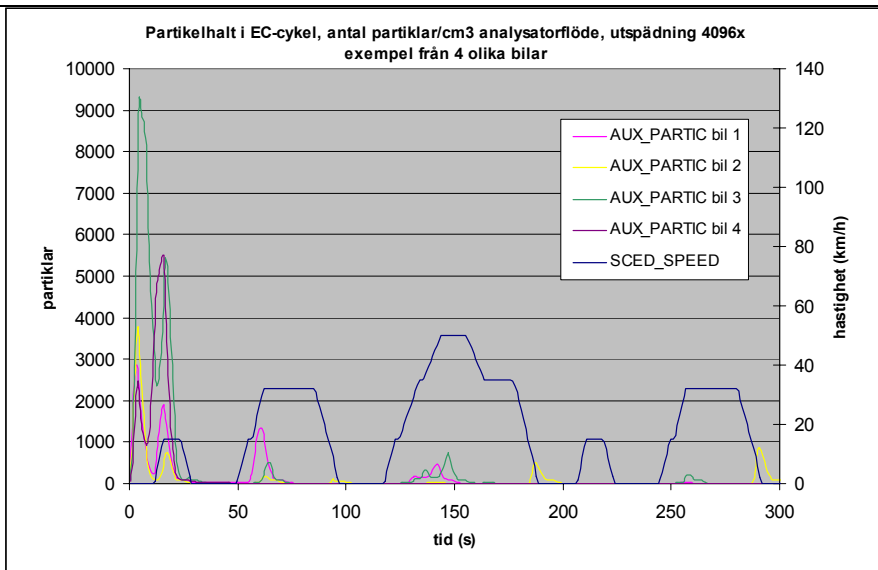
Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn Nyman

Telefon/Phone
0520-483964

Datum/Date
2005-09-27

Utgåva/Issue
1

Sida/Page
23 (33)



Bilaga 2.



GM Powertrain Sweden

Godkänd/Approved by
FLT Lennart Hörberg

Telefax
0520-86766

Lagringsdata/File
FL05018401

Reg nr/Reg no
FL050184

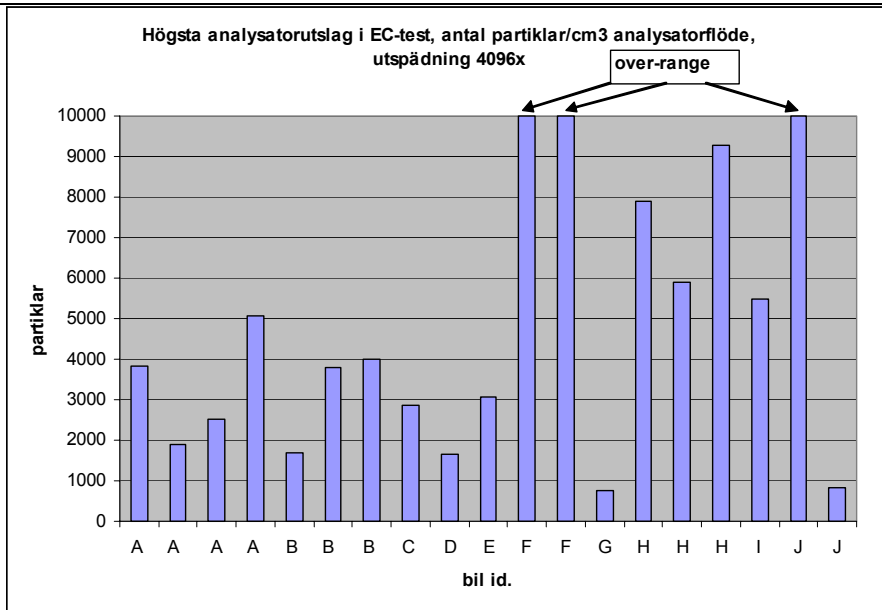
Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn Nyman

Telefon/Phone
0520-483964

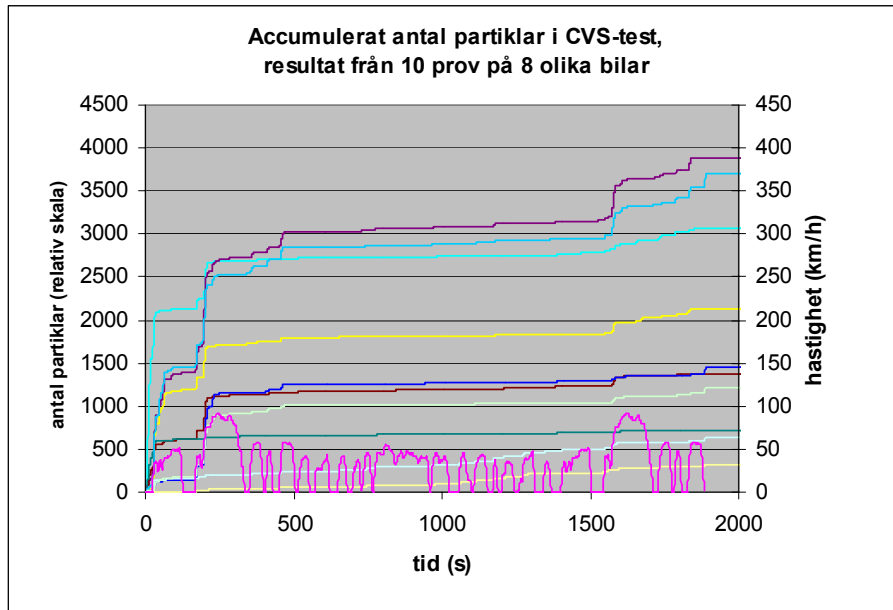
Datum/Date
2005-09-27

Utgåva/Issue
1

Sida/Page
24 (33)



Bilaga 3.



Bilaga 4



GM Powertrain Sweden

Godkänd/Approved by
FLT Lennart Hörberg

Telefax
0520-86766

Lagringsdata/File
FL05018401

Reg nr/Reg no
FL050184

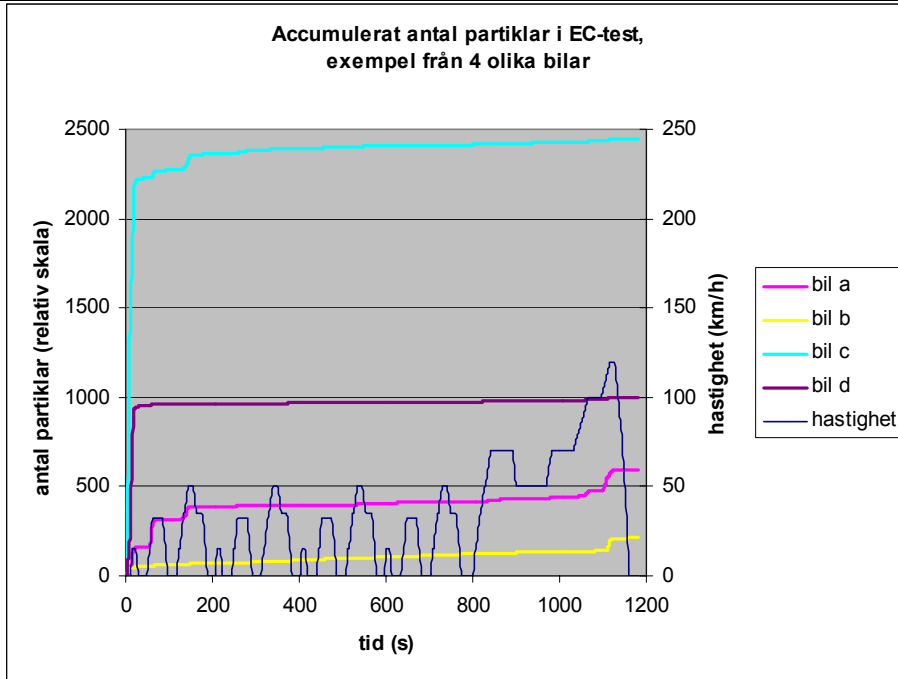
Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn Nyman

Telefon/Phone
0520-483964

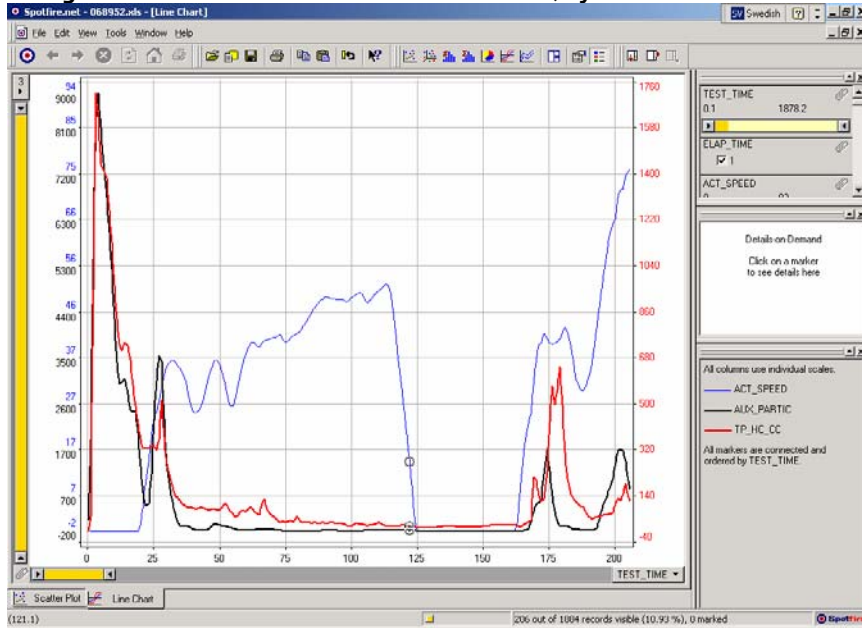
Datum/Date
2005-09-27

Utgåva/Issue
1

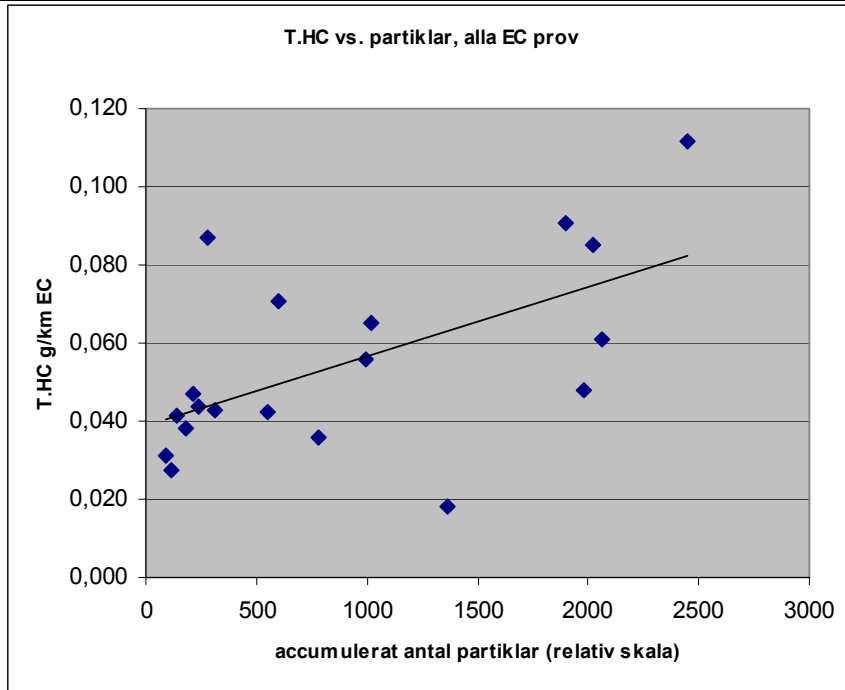
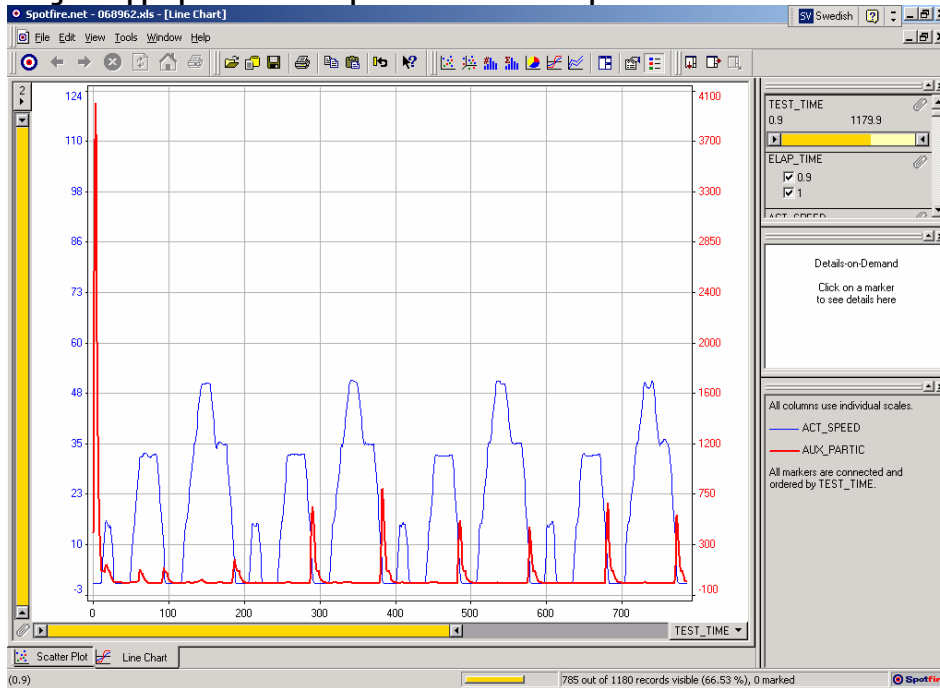
Sida/Page
25 (33)



Bilaga 5. Jämförelse HC-FID och CPC-instrument, dynamik och karaktär



Bilaga 6. Korrelation mellan slutresultat T.HC och antal partiklar

**GM Powertrain Sweden**Godkänd/Approved by
FLT Lennart HörbergTelefax
0520-86766Lagringsdata/File
FL05018401Reg nr/Reg no
FL050184Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn NymanTelefon/Phone
0520-483964Datum/Date
2005-09-27Utgåva/Issue
1Sida/Page
26 (33)**Bilaga 7. Upprepade emissionspikar vid retardation på en bil.****Bilaga 8. Oförklarad 'incident' efter 850 sek**

GM Powertrain Sweden

 Godkänd/Approved by
FLT Lennart Hörberg

 Telefax
0520-86766

 Lagringsdata/File
FL05018401

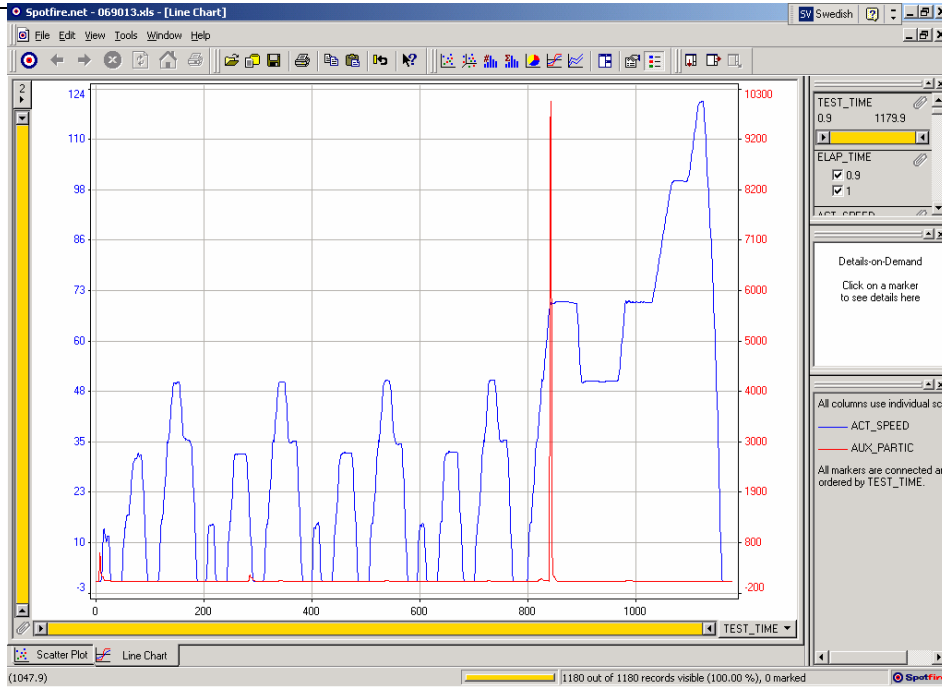
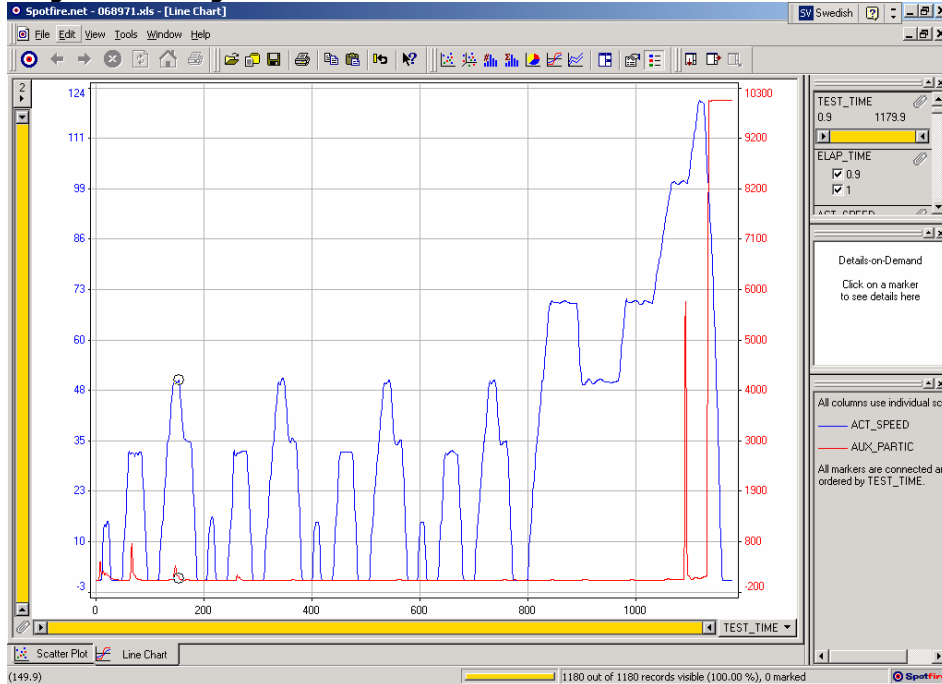
 Reg nr/Reg no
FL050184

 Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn Nyman

 Telefon/Phone
0520-483964

 Datum/Date
2005-09-27

 Utgåva/Issue
1

 Sida/Page
27 (33)

Bilaga 9. Over-range efter 1130 sek

Bilaga 10. Lägre partikelutsläpp med CNG (fram till 'incident' vid 850 sek)



GM Powertrain Sweden

Godkänd/Approved by
FLT Lennart Hörberg

Telefax
0520-86766

Lagringsdata/File
FL05018401

Reg nr/Reg no
FL050184

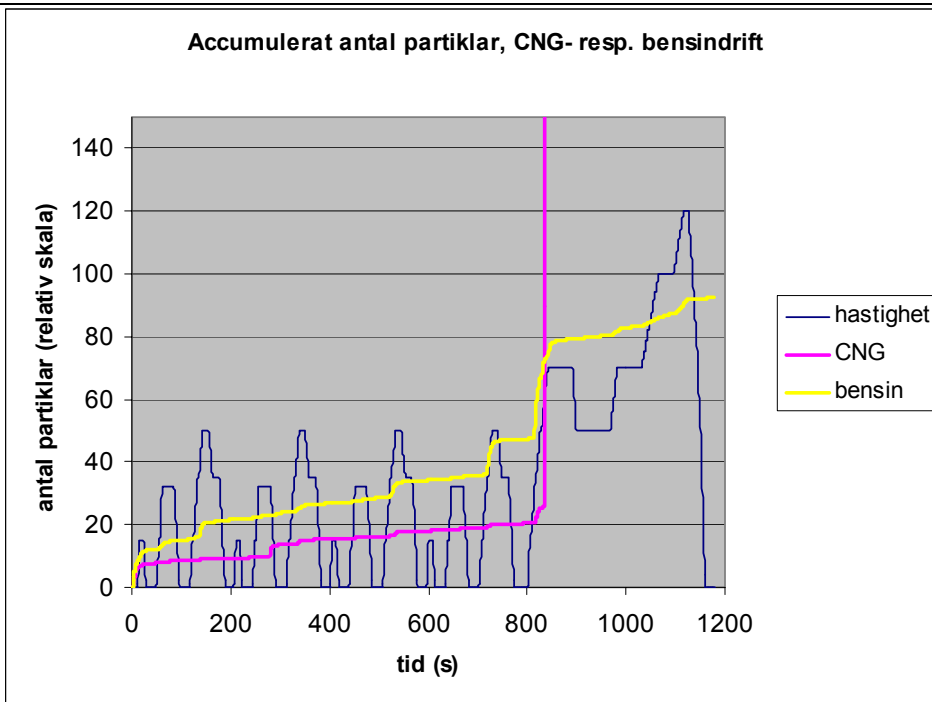
Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn Nyman

Telefon/Phone
0520-483964

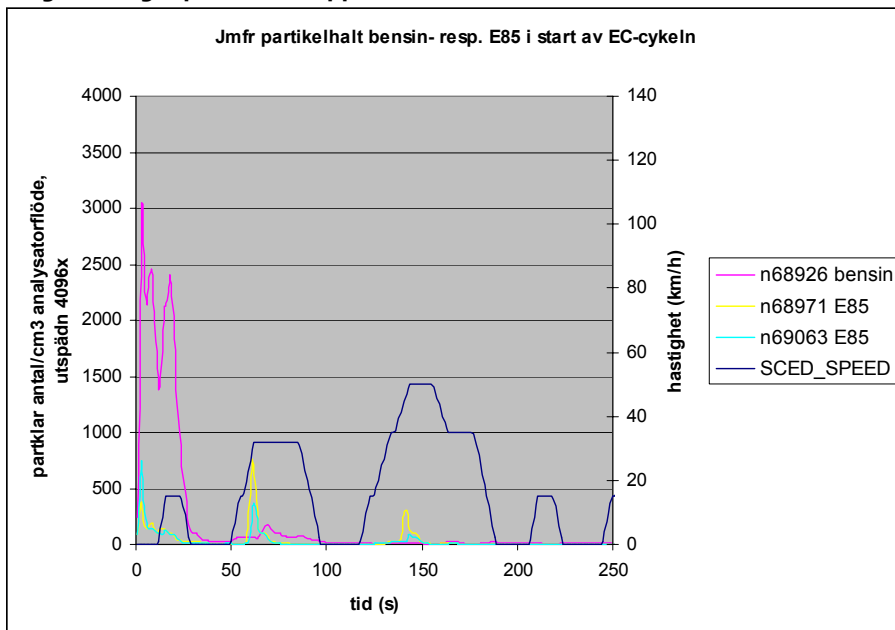
Datum/Date
2005-09-27

Utgåva/Issue
1

Sida/Page
28 (33)



Bilaga 11. Lägre partikelutsläpp i startfasen med E85-bränsle



**GM Powertrain Sweden**

Godkänd/Approved by FLT Lennart Hörberg	Telefax 0520-86766	Lagringsdata/File FL05018401	Reg nr/Reg no FL050184	
Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by A6-1 FLTA Björn Nyman	Telefon/Phone 0520-483964	Datum/Date 2005-09-27	Utgåva/Issue 1	Sida/Page 29 (33)

6.2 Partikelmätning EMIR 1 på dieselmotorer**6.2.1 Bakgrund**

Mätning av partikelantal från en dieselmotor har genomförts med en CPC (Condensation Particle Counter).

6.2.2 Provförande

Körning på chassidynamometer, avgaslab testcell 3, enligt EC2000 körcykel.

Före prov har bilarna har preparerats enligt gängse procedur inför emissionmätning.

Inför vissa prov har också partikelfiltret ersatts av en katalysator.

Mätgas till CPC:n tas från ett extra uttag i filterhållaren.

Därefter leds gasen genom x antal spädare med en spädfaktor på ca 8.

I den 1:spädaren värms den utspädda gasen upp till 350°C för att förhindra att man mäter kondenserad vätska.

Mätskalan är 0 – 10 000 partiklar, vilket innebär att man får prova sig fram för respektive motorinstallation hur många spädare som skall användas.

6.2.3 Provobjekt

Tre dieslbilar har använts.

Tid för prov

Under maj & juni 2005

6.2.4 Resultat, sammanfattning

Vid prov med en defekt partikelfälla monterad fick man faktor 1000 mer partiklar än med en hel. Massan av partiklarna var den likvärdig för båda proven. Partikelantalet var tom större än utan DPF vilket kan förklaras av att sprickkanterna ligger och gnider loss material från partikelfällan (bilaga 1).

6.2.5 Bilagor

1. CPC data med defekt DPF
2. CPC data med hel DPF
3. CPC data utan DPF
4. Partikeljämförelse bensen mot diesel



GM Powertrain Sweden

Godkänd/Approved by
FLT Lennart Hörberg

Telefax
0520-86766

Lagringsdata/File
FL05018401

Reg nr/Reg no
FL050184

Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn Nyman

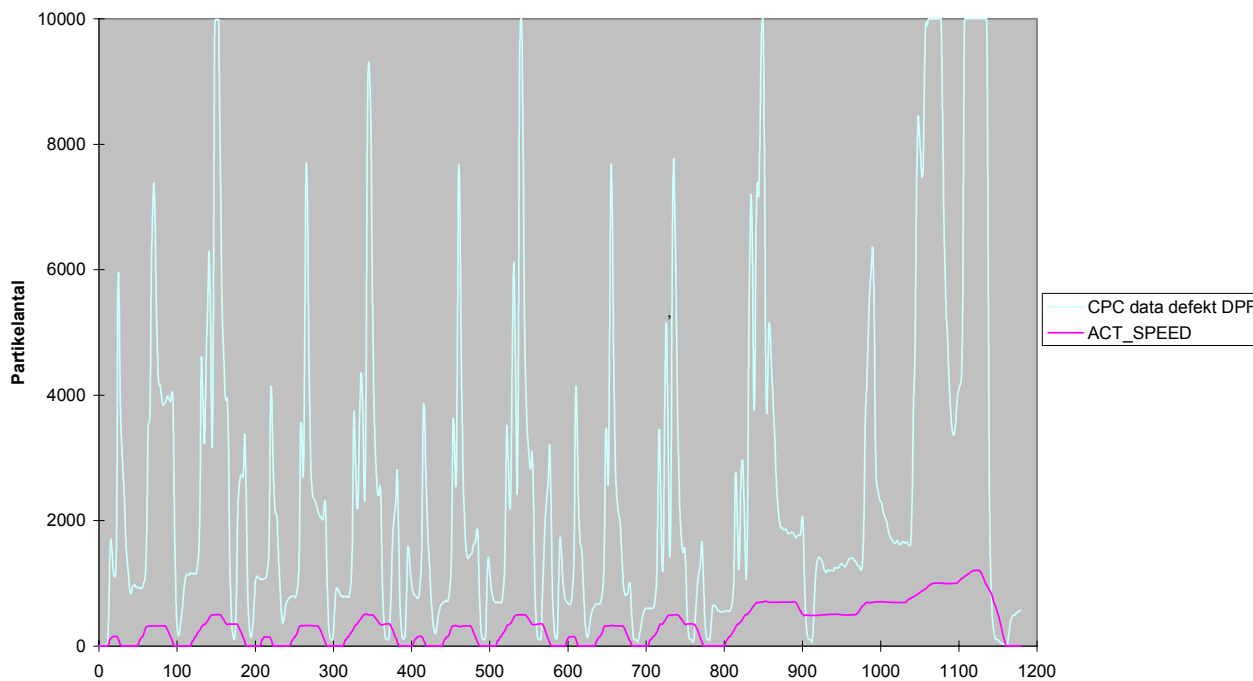
Telefon/Phone
0520-483964

Datum/Date
2005-09-27

Utgåva/Issue
1

Sida/Page
30 (33)

CPC data med defekt DPF





GM Powertrain Sweden

Godkänd/Approved by
FLT Lennart Hörberg

Telefax
0520-86766

Lagringsdata/File
FL05018401

Reg nr/Reg no
FL050184

Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn Nyman

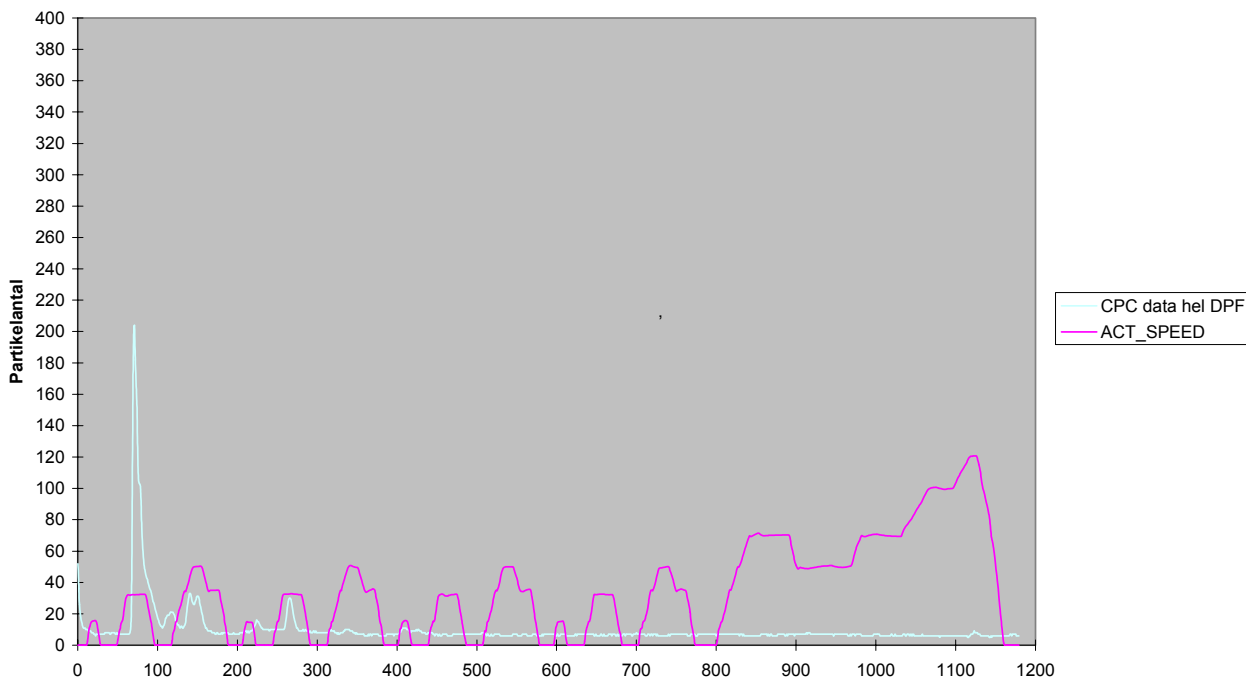
Telefon/Phone
0520-483964

Datum/Date
2005-09-27

Utgåva/Issue
1

Sida/Page
31 (33)

CPC data med hel DPF





GM Powertrain Sweden

Godkänd/Approved by
FLT Lennart Hörberg

Telefax
0520-86766

Lagringsdata/File
FL05018401

Reg nr/Reg no
FL050184

Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn Nyman

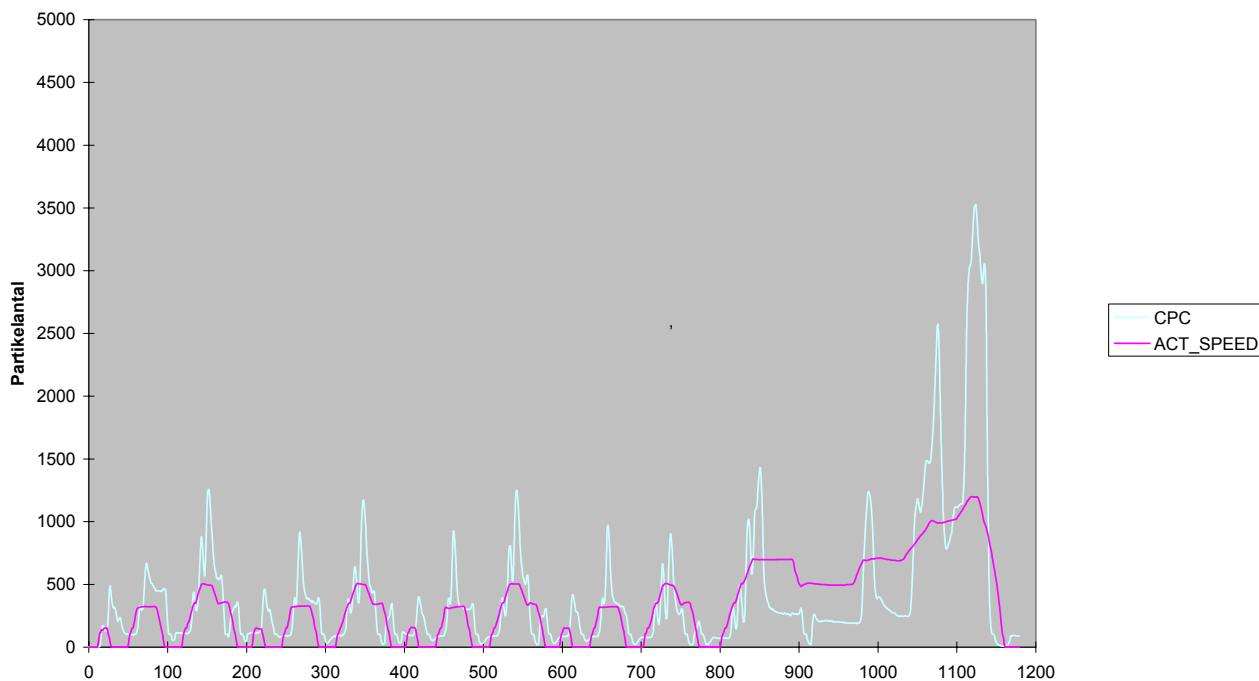
Telefon/Phone
0520-483964

Datum/Date
2005-09-27

Utgåva/Issue
1

Sida/Page
32 (33)

CPC data utan DPF





GM Powertrain Sweden

Godkänd/Approved by
FLT Lennart Hörberg

Telefax
0520-86766

Lagringsdata/File
FL05018401

Reg nr/Reg no
FL050184

Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by
A6-1 FLTA Björn Nyman

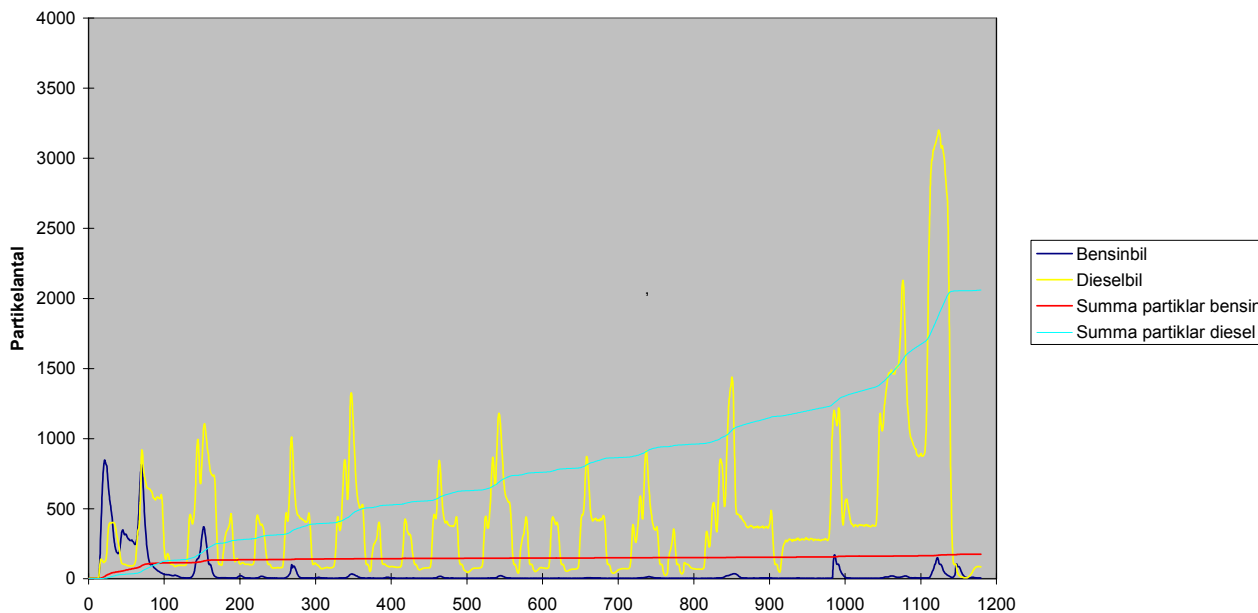
Telefon/Phone
0520-483964

Datum/Date
2005-09-27

Utgåva/Issue
1

Sida/Page
33 (33)

Bensin och diesel partiklar



Bilaga 4

Annex 3**PARTICLE COUNTING WITH CPC AND DILUTION SYSTEM WITHIN THE MEASUREMENT CAMPAIGN FOR PROJECT EMIR-1.****PARTIKELRÄKNING MED CPC OCH SPÄDSYSTEM INOM MÄTKAMPANJEN FÖR PROJEKTET EMIR-1.****INNEHÅLLSFÖRTECKNING**

	sida
Abstract (in english)	2
Sammanfattning (svensk)	3
1 Allmän provningsinformation	4
2 Bakgrund och syfte	5
3 Utrustning	5
4 Utförande	9
5 Resultat	10
6 Slutsats	23
Bilaga: Spädfaktorer i ESC-cykler 2005-02-03	24

Distribution: Uno Nyman NMO
 Ingemar Lidén NMOT
 Astrid Simovits NMPS
 Arne Kannel NMOT
 Övriga Externa Medlemmar i mätkampanjen för EMIR-1
 Arkiv NM
 Arkiv IT



ABSTRACT.

The project EMIR-1 (EMission Research) is a joint Swedish particle-emissions measurement project with the participants Volvo Cars, Volvo Technology, SAAB-GM, Scania, KTH and AVL-MTC. EMIR-1 is part of the "Green Car" project, initiated by the Swedish government and financed by its R&D organisation VINNOVA.

The purpose of the EMIR-1 project is to produce knowledge within Swedish industry how to measure particulate emissions, especially testing instruments for measurement of particle number.

The project uses an instrument setup of a Condensation Particle Counter (CPC) after two consecutive Dekati ejector diluters, where the first diluter is heated.

This setup was chosen by a basic study within the EMIR-1 project.

A similar instrument setup is recommended in the European "PMP" (Particulate Measurement Programme) programme by UNECE/GRPE, using an additional evaporation tube.

The EMIR-1 instrument setup is used by a measurement campaign in three labs at the participating companies in the order: Volvo Cars, Scania, SAAB-GM.

At Scania two primary exhaust dilution modes were compared:

- A: A partial dilution AVL Smart Sampler (Mini tunnel) followed by the EMIR1-system.
- B: A total dilution tunnel (CVS) followed by the EMIR1-system.

Mode A was tested week 51 year 2004 and mode B week 5 year 2005.

The test results from both modes are presented in this report:

The repeatability is considered good for both ESC-cycles and ETC-cycles in the CVS-mode, though not as good as for the Minitunnel-mode.

Consecutive measurements show that the used measurement chain needs 4 – 7 repeated cycles for achieving a stable measured value (figure 18).

The dilution ratio in all dilution equipment must be measured in order to calculate the total number of particles. One suitable way is to measure CO₂ before and after the dilution equipment. It should be pointed out that an accurate and repeatable dilution is of great importance for a reliable measurement of total particle number.

A continuously measured dilution ratio using gas analysers, can lead to considerable uncertainties because of e.g. time lag and signal rise time in the analysers.

In stationary measurements it is recommended to calculate an average of gas concentration before calculating the dilution ratio and total particle number.

In transient test cycles it is recommended to use a constant calculated dilution ratio for the whole cycle. It is also recommended that if a CVS-tunnel or a minitunnel is used before a CPC, that their dilution ratios are controlled with CO₂ measurements.

The dilution ratio of the warm ejector diluter was controlled during an ESC cycle using CO₂ measurement. The dilution ratio for the heated diluter was stable at a level about 0.4 units below the value given by the producer, and is in line with the temperature dependence mentioned by the producer.



SAMMANFATTNING

Projektet EMIR (EMission Research) är ett svenskt, gemensamt partikelemissionsmätprojekt mellan Volvo Cars, Volvo Technology, SAAB, Scania, KTH och AVL MTC. EMIR är en del av svenska regeringens "Gröna-Bilen"-projekt och finansieras av VINNOVA. EMIR1-projektets syfte är att sprida kunskap inom Sverige om mätning av partikelemissioner, främst genom provning av instrument för mätning av partikelantal.

En viss mätinstrumentuppställning bestående av en Condensation Particle Counter, CPC, och två Dekati ejector dilutrar är vald och undersökt i en grundläggande studie inom EMIR. Liknande uppställning är också rekommenderad i ett europeiskt partikel-mätningprojekt, UNECE/GRPE PMP (Particulate Measurement Programme).

Dessa instrument vill man nu lära sig mer om i provningar. Framför allt är det av intresse för Scania att jämföra antalet partiklar efter en CVS-utspädningstunnel och en AVL Smart Sampler, s.k. minitunnel.

Varje deltagare i EMIR-projektet ska utföra mätningar med de rekommenderade instrumenten. Scania har gjort en provning vecka 51 2004, där mätningar med CPC och ejector dilutrar efter minitunnel provades. Vecka 05 2005 gjordes en provning med samma uppställning efter CVS-tunnel samt efter en minitunnel. Resultaten från båda provningarna återfinns i denna rapport.

Repeterbarheten bedömdes som god för både ESC-cykler och ETC-cykler i uppställningen efter CVS-tunneln, dock något sämre än repeterbarheten i uppställningen efter minitunneln.

Spädfaktorn i all spädustrustning måste mätas för att kunna räkna fram det totala partikelantalet. Ett lämpligt sätt är att mäta CO₂ före och efter spädustrustningen. Det bör poängteras att en noggrann och repeterbar utspädning är av största vikt för en tillförlitlig mätning av det totala partikelantalet.

En kontinuerligt mätt spädfaktor kan medföra stora osäkerheter på grund av bland annat tidsförskjutning och responstid i analysatorerna. I stationära mätningar rekommenderas att medelvärdesbilda CO₂ innan beräkningar av spädfaktor och totalantal utförs. I transienta körcykler rekommenderas en konstant beräknad spädfaktor för hela cykeln. Det rekommenderas också att om CVS-tunnel eller minitunnel används före CPC, även de kontrollmäts med CO₂ för att få tillförlitliga mätningar.

Ejector dilutrarnas utspädningsfaktor kontrollmättes med CO₂. Utspädningsfaktorn var repeterbar och låg omkring 0,4 enheter under den av tillverkaren angivna. Detta stämmer överens med tillverkarens angivelse av temperaturberoendet.

1 ALLMÄN PROVNINGSINFORMATION

PA nr: 228470
Protokoll nr: 18 261 938 – 18261962 och 18 261 970 - 18261990
Projektkonto: 59-7025
Tid för provning: 2004-12-13--2004-12-17 i F8 och 2005-01-31--2005-02-05 i F4
Provnivå: Erfarenhetsprov
Motortyp: DC 1101
Motornr: 5765870
Bränsletyp: Euro 4-diesel MK1
Motorolja: Referensolja Scania STC.
ACEA E5 10W/30 med Noack Volatility loss 12.2%.(enl. CEC L-40-A-93)
Provingenjör: NMPS Astrid Simovits 51079, NMOT Arne Kannel 82856
Provcell: F8 och F4
Celltekniker: Nicklas Strömberg och Risto Nuutinen

1.1 Provcellskrav och mätkrav

<input checked="" type="checkbox"/>	Släpbröms	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Emissionsmätning före ljuddämpare/kat.	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Emissionsmätning efter ljuddämpare/kat.	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	EGR-mätning	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Minitunnel	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Fullflödestunnel	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	Rökmätning	<input type="checkbox"/>

1.2 Provkonstanter och viktiga variabler

I varje prov utfördes kontinuerlig mätning av varvtal, moment, avgasmassflöde, tryck och temperatur före och efter filtret, HC, CO, CO₂, NO och NO_x efter filtret. Det fanns inte möjlighet att mäta NO_x och NO samtidigt, vilket gjorde att NO_x mättes under halva mättiden och NO under andra halvan.

Partiklarnas antal/cm³ mättes med en CPC (se beskrivning av instrumentet nedan). Utspädningsfaktorn i spädustrustningen mättes med kontinuerlig CO₂-mätning före och efter utspädningen. Spädfaktor beräknades baserad på CO₂-halt i våt avgas.

Spädustrustningen bestod av CVS-tunnel + två Ejektor Diluter från Dekati Ltd.



2 BAKGRUND

På senare tid har ett intresse uppstått av att i avgaser mäta antal samt storlek på partiklar hos myndigheter och lagstiftare. Antalet och storleken på partiklar är förknippade med en negativ effekt på människors hälsa. De minsta så kallade nanopartiklarna anses vara farliga för hälsan eftersom de tränger in djupare i lungorna. Det är därför troligt att det så småningom kommer lagkrav som reglerar antal och storlek på partiklar. Scania har följaktligen ett behov av att kunna mäta partikelantal och partikelstorleksfördelning från sina motorkoncept.

Projektet EMIR1 (EMission Research) är ett svenskt, gemensamt partikelemissionsmätprojekt mellan bland annat Volvo Cars, SAAB, Scania, KTH och AVL MTC. Projektets syfte är att sprida kunskap i Sverige om mätning av automotiva partikelemissioner, främst genom en mätkampanj .

En viss mätinstrumentuppställning bestående av en Condensation Particle Counter (CPC), och två Dekati ejector dilutrar är vald och undersökt i en grundläggande studie inom EMIR.

Dessa instrument vill man nu lära sig mer om i provningar. Utöver detta är det intressant för Scania att använda denna mätuppställning för att bedöma om samma resultat kan erhållas i en CVS och en AVL Smart Sampler "minitunnel"(MTL) under samma förhållanden. Eftersom dessa utspädningstunnlar betraktas som ekvivalenta är det av värde att mäta om det stämmer även för partikelmätningar.

Varje deltagare i EMIR-projektet ska utföra mätningar med de rekommenderade instrumenten. Scania har gjort en provning vecka 51 2004, där mätningar med CPC och ejector dilutrar efter minitunnel provades.

Vecka 200451 gjordes mätningar med MTL och vecka 200505 gjordes provning med samma uppställning efter CVS-tunnel. Resultaten från dessa provningar återfinns i denna rapport.

2.1 Syftet med provet

Utvärdera om en CPC samt två ejector dilutrar är lämpade att mäta partikelemissioner efter dieselmotor med partikelfilter, samt att utöka kunskapen om partikelmätning på Scania.

3 UTRUSTNING

3.1 Motor och filter

Scania DC 1101 användes som provmotor. Det är en produktionsmotor med Nox-nivåer enligt Euro 2 (ca 7,8 g/kWh) och partikelnivåer enligt Euro 3 (ca 0,05 g/kWh). Efter motorn monterades ett partikelfilter, vilket tog ner partikelnivåerna till under Euro 4 (ca 0,005 g/kWh).

3.2 Ejector dilutrar

Två Dekati ejector diluter-spädare användes efter minitunneln, se figur 1 nedan. Den första var isolerad med en värmeslinga monterad i isoleringen, vilket gjorde att temperaturen i spädaren kunde regleras med en termostat. Temperaturen i varma spädpunkten ställdes in på 350 °C under provningen. Även spädluften till den första spädaren värmdes innan den kom in i spädaren. Spädare nummer två höll c:a rumstemperatur, liksom även spädluften till denna spädaren. Enligt tillverkaren ska utspädningsfaktorn vara 8,45 i den första spädaren och 8,47 i den andra. Dilutrarna är enkla att använda, små och robusta.



Figur 1. Dekati ejector diluter

3.3 CPC 3010

Continuous Particle Counter, CPC, från TSI Inc., mäter antalet partiklar i en gasström och presenterar det i enheten antal/cm³. Den mäter i realtid, sekund – för – sekund. En stor fördel med CPC är att den kan mäta partiklar ner till mycket låga nivåer, ca 1 partikel/cm³, vilket gör den till det känsligaste instrumentet för partikelantal på marknaden. Detta är av stor betydelse vid mätning efter partikelfilter.

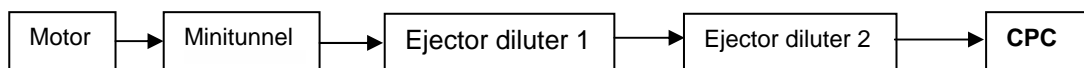
CPC bygger på en teknik där partiklarna leds igenom en ånga av butanol. Butanolen kondenserar på partiklarna och gör dem större. De räknas sedan med hjälp av optik. En analog signal går från CPC:n till testcellens celldator, där den lagras tillsammans med övriga mätta variabler. Celldatorn kan ta emot 10 bitars överföring.



Figur 2. CPC 3010, TSI Inc.

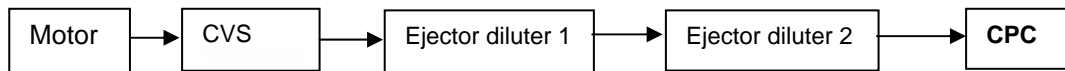
3.4 Montage av mätutrustning för mätning efter minitunnel (MTL).

Avgasflödet visas schematiskt nedan:

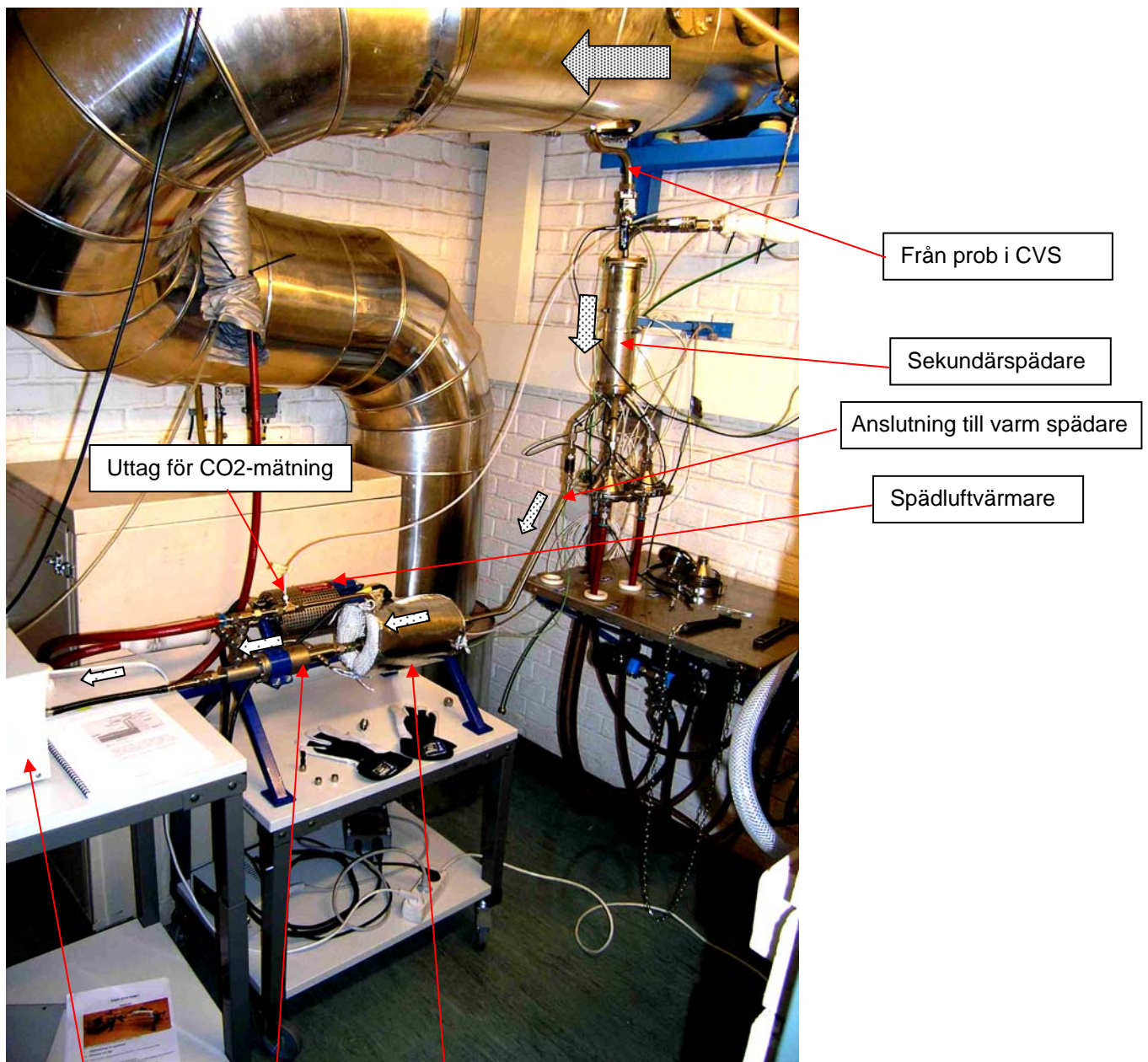




3.5 Montage av mätutrustning för mätning efter CVS.



Figur 3. Partikel-flödesschema över mätningen med CPC



CPC 3010

+

Kall spädare

+

Varm spädare
i värmejacka

=

EMIR-1-uppställningen

4 UTFÖRANDE

4.1 Körcykler

De körcykler som användes var ESC (European Stationary Cycle) och ETC (European Transient Cycle). Så många testcykler som möjligt kördes för att testa repeterbarhet. Dessutom kördes stationära punkter (A,B,C,D) enligt en rekommenderad mall i en rapport av RICARDO [1], se definition nedan. De stationära punkterna kördes i 18 minuter per punkt.

I början av provningen genomfördes några mätningar för att jämföra CPC :ns resultat från minitunnel och CVS-tunnel under samma spädförhållanden.

Mellan varje testcykel samt mellan uppvärmning och första testcykeln kördes en stabiliseringspunkt på 1500 rpm, 75 % last (1463 Nm) enligt rekommendation från RICARDO. Mätningar i stabiliseringspunkten utfördes inte.

Tabell 1. Förteckning över körningarna (DF = dilution factor, utspädningsfaktor)

Ordningsnr	Protokollnr	Datum	Körcykel	DF CVS	Kommentar
1	18261970	2005-02-01	Punkt 4 → 7 → 10 i ESC	-	CVS; mätning av r och q
2	18261971	2005-02-02	Punkt 4, 4, 10 i ESC	-	Minitunnel; samma r och q som CVS
3	18261972	2005-02-02	Punkt 7 → 10 i ESC	-	Mätning av responstid i minitunnel
4	18261973	2005-02-02	ESC	-	Minitunnel
5	18261974	2005-02-03	ESC		CVS
6	18261975	2005-02-03	ESC		CVS
7	18261976	2005-02-03	ESC		CVS
8	18261977	2005-02-03	ESC		CVS
9	18261978	2005-02-03	ESC		CVS
10	18261979	2005-02-03	ESC		CVS
11	18261980	2005-02-03	ESC		CVS
12	18261981	2005-02-04	Maxmomentkurva		CVS
13	18261982	2005-02-04	ETC		CVS
14	18261983	2005-02-04	ETC		CVS
15	18261984	2005-02-04	ETC		CVS
16	18261985	2005-02-04	ETC		CVS
17	18261986	2005-02-04	ETC		CVS
18	18261987	2005-02-04	ETC		CVS
19	18261988	2005-02-04	ETC		CVS
20	18261989	2005-02-05	Stationära punkter		CVS
21	18261990	2005-02-05	Stationära punkter		CVS

De stationära punkterna kördes enligt nedan:

A,A,A,B,A,C,A,D,A,B,A,B,B,C,B,D,B

Punkt A = steg 1 i ESC (tomgång)

Punkt B = steg 4 i ESC (1500 rpm, 75 % last)

Punkt C = steg 7 i ESC (1250 rpm, 25 % last)

Punkt D = steg 10 i ESC (1800 rpm, 100 % last)

5 RESULTAT

5.1 Allmänna erfarenheter av mätupställningen

Allmänna intryck av uppställningen är att den mäter låga nivåer på partiklar utan svårighet.

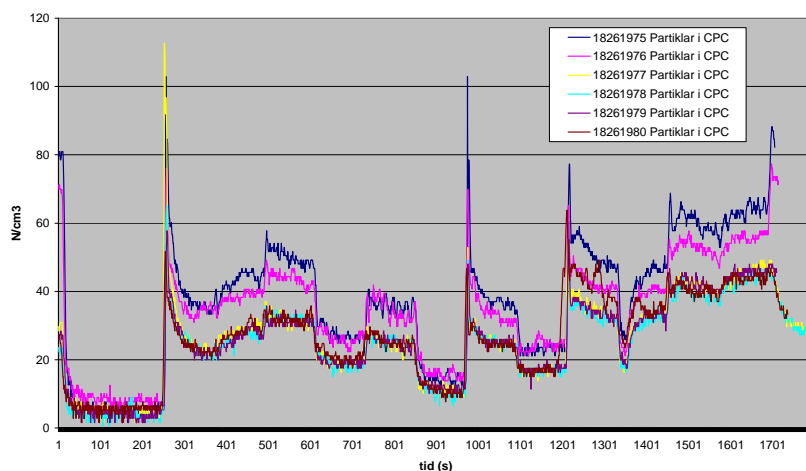
CPC-instrumentet är litet, men kräver skrymmande spädutrustning. Instrumentet får inte lutas eftersom det innehåller butanol. Hanteringen av butanol kräver god ventilation.

5.2 Repeterbarhet

Repeaterbarheten i CPC:n bedömdes som god, se figurerna 4 och 5 nedan.

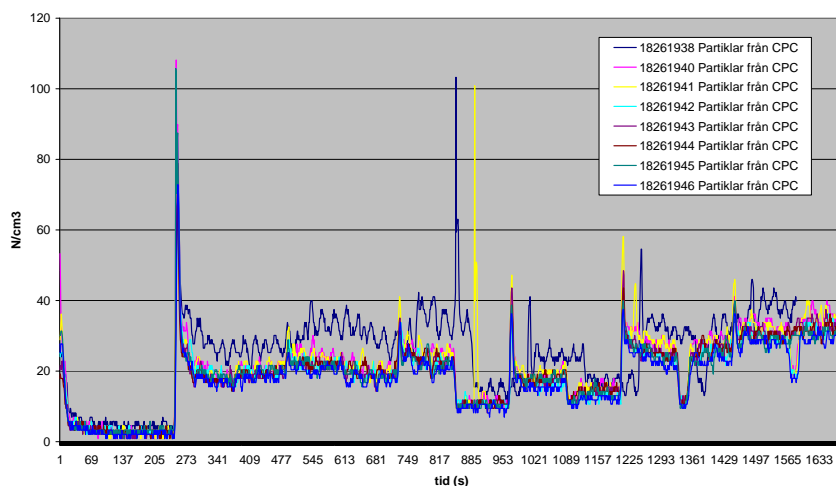
Repeaterbarheten var dock sämre med CVS än med minitunnel. De två första ESC:erna låg högre än de övriga. Även den sista ESC:n avvek något, medan de tre ESC:erna i mitten var mycket lika.

Partiklar i CPC mätt efter CVS-tunnel; jämförelse mellan ESCer



Figur 4. Repeterbarhet med CPC:n mellan ESC:er efter CVS

Repeaterbarhet i ESCer med CPC

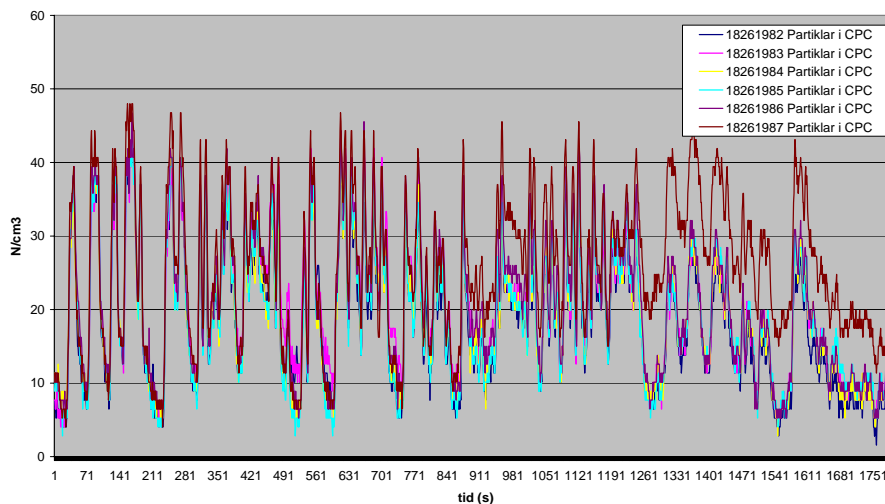


Figur 5. Repeterbarhet med CPC:n mellan ESC:er efter minitunnel



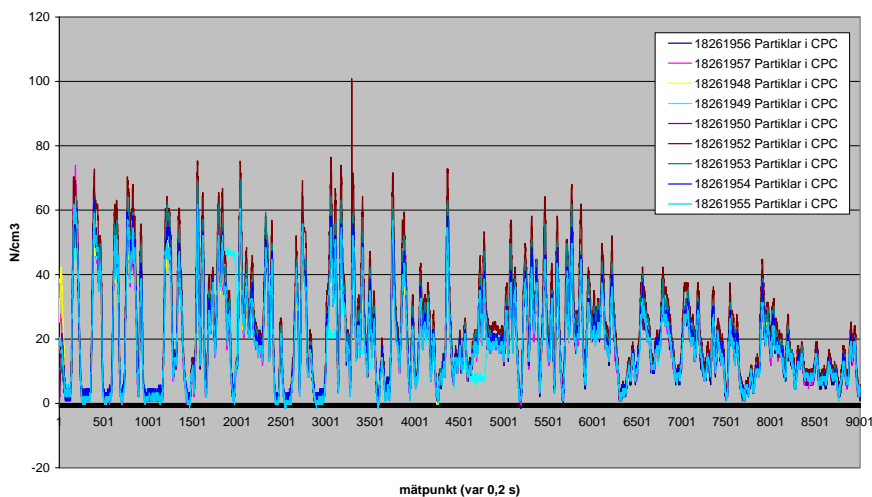
Även repeterbarheten i ETC:er var god, lika bra som i minitunneln, se figurerna 6 och 7 nedan. Den sista CVS- ETC:n (brun linje) överensstämde inte i slutet.

Partiklar i CPC mätt efter CVS-tunnel; jämförelse mellan ETCer



Figur 6. Repeterbarhet mellan ETC:er efter CVS

Partiklar i CPC, jämförelse mellan ETC:er

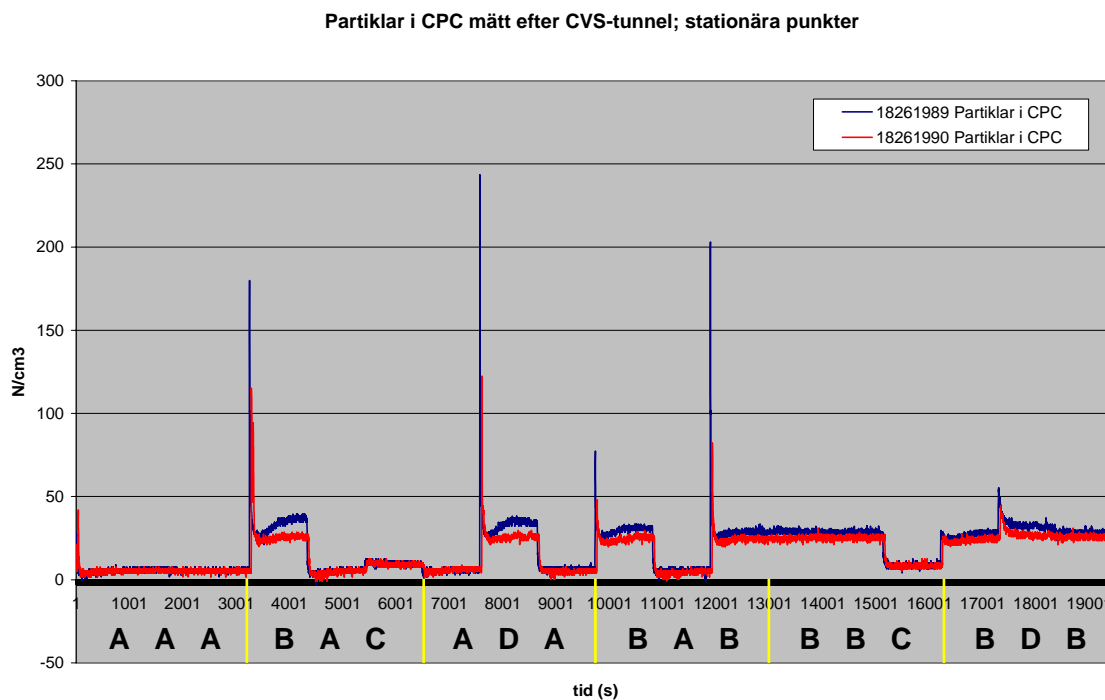


Figur 7. Repeterbarhet mellan ETC:er efter minitunnel



5.3 Repeterbarhet stationära punkter

I de stationära punkterna är repeterbarheten god. I synnerhet i andra provomgången är värdena mycket stabila. Mode A gav mellan 3 och 7 partiklar/cm³, mode B gav ca 24 – 26 partiklar/cm³, mode C gav 9 partiklar/cm³ och mode D gav ca 24 – 26 partiklar/cm³. Mode B och D låg mycket nära varandra. Se figur 8 nedan.



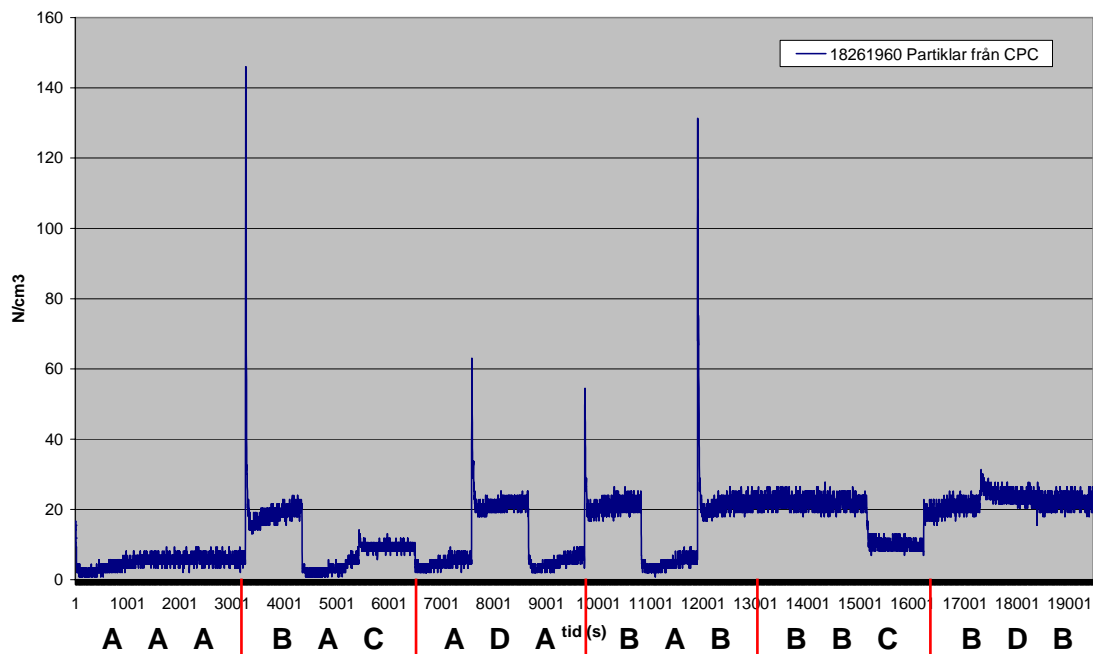
Figur 8. Repeterbarhet mellan stationära punkter efter CVS

Punktsekvens: A, A, A, B,A,C,A,D,A,B,A,B,B,B,C,B,D,B

En övergång från tomgång (A mode) till B eller D mode ger alltid en kraftig spik i partikelantalet. Spiken kan vara av olika höjd. A till C mode ger dock ingen spik. Det tyder på att ju större skillnad mellan de olika stegen, desto svårare har motorn att göra en stabil övergång. Det stöds av att även andra, kontinuerligt mätta emissioner som till exempel HC och Nox visar en spik vid kraftiga transienter.



18261960 Partiklar från CPC

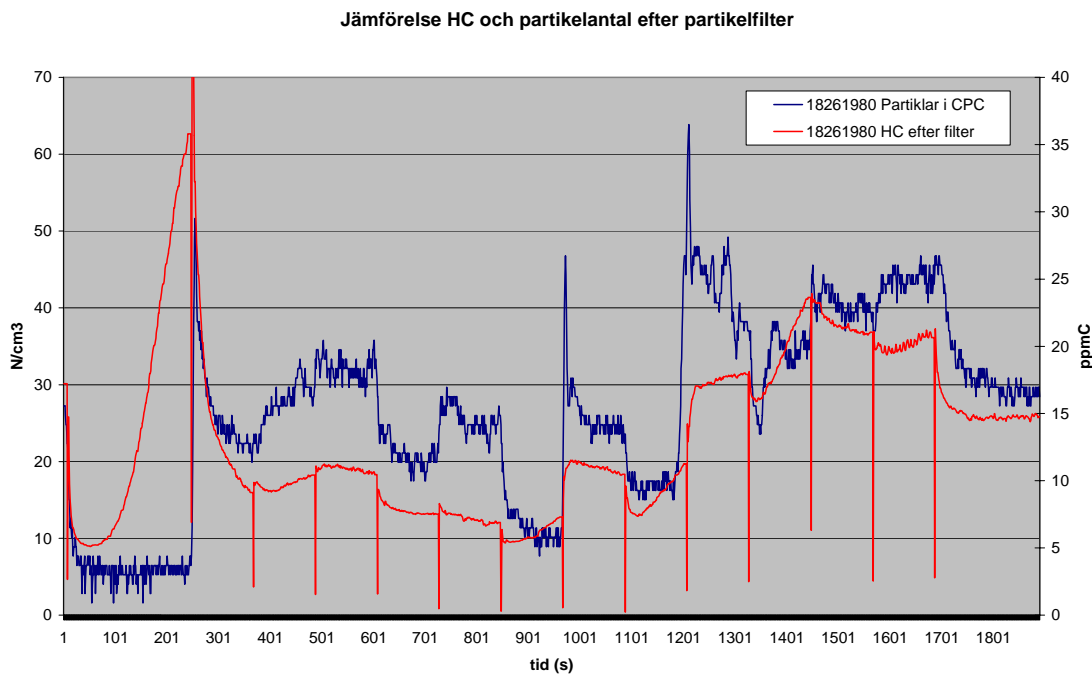
**Figur 9. Repeterbarhet mellan stationära punkter efter minitunnel**

Första omgången: A,A,A,B,A,C,A,D,A,B,A,B,B,C,B,D,B



5.4 Korrelation mellan HC och partikelantal

HC hade en viss, om än inte tydlig, korrelation till partikelantalet, se figur 10. Eftersom det största antalet partiklar återfinns som nanopartiklar, och dessa främst anses bestå av flyktiga kolväten, är det intressant att studera om en korrelation mellan HC och partikelantal föreligger. En oxidationskatalysator tillsammans med ett partikelfilter anses ta bort en del HC och dessutom producera sulfatpartiklar i nanopartikelstorlek [2]. Det kan vara både HC och sulfat som mäts av CPC:n.



Figur 10. Jämförelse mellan HC (som ppmC) och partikelantal i en ESC-cykel.

5.5 Jämförelse mellan r och q i CVS-tunnel och minitunnel

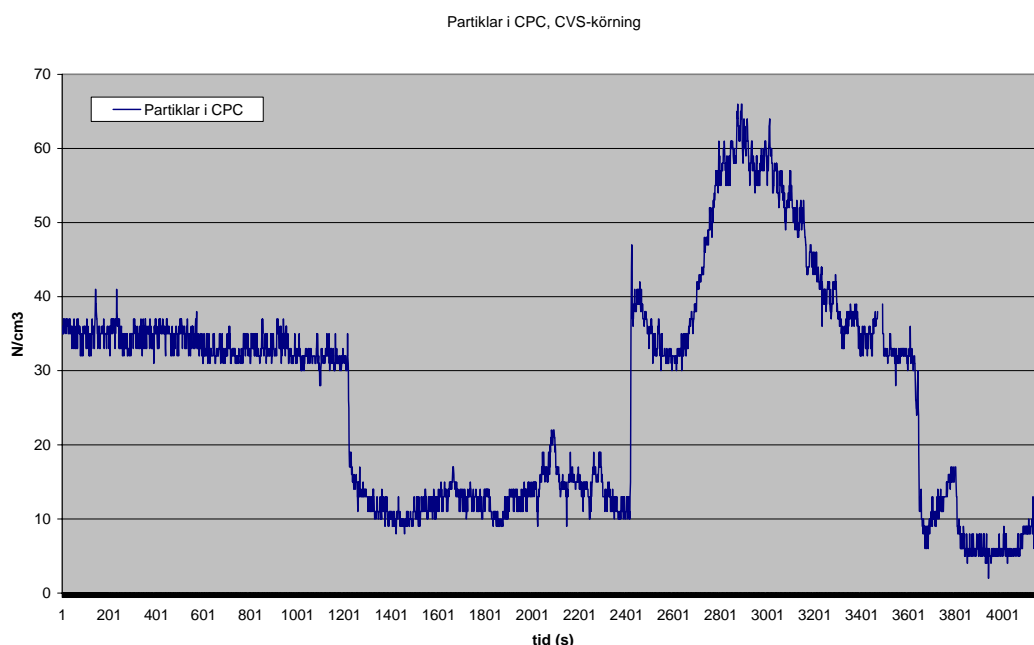
En jämförelse mellan CVS-tunnel och minitunnel gjordes för att kontrollera om samma antal partiklar kunde åstadkommas med samma förutsättningar i CVS-tunnel och minitunnel. En körning i CVS-tunneln gjordes för att bestämma dess spädfaktor q och dess sample ratio r vid tre ESC-punkter, punkt 4, 7 och 10. Sedan ställdes samma förhållanden in i minitunneln. Några av punkterna (punkt 7 samt r i punkt 10) kördes inte eftersom det önskade förhållandet inte gick att ställa in i minitunneln. Se tabell nedan.

Tabell 2. Resultat från jämförelse mellan CVS och minitunnel

ESC punkt	Partiklar i CPC (#/cm ³)	
	CVS	Minitunnel
4, q = 7,66	31,973	36,346
4, r = 0,11	31,973	41,359
10, q = 5,27	32,783	29,825

Resultatet visar att det är svårt att återskapa exakt samma förhållanden i CVS-tunnel och minitunnel, åtminstone med avseende på partikelantal.

Intressant nog var partikelantalet i punkt 10 i CVS-tunneln inte särskilt stabila, se figur 11 nedan. Detta kan bero på att det var den första körningen i provomgången vilket i allmänhet ger varierande resultat.



Figur 11. Partikelantal efter CVS-tunnel, punkt 4, 7 och 10 i ESC

5.6 Kontroll av spädfaktor i ejector dilutrar och CVS; jämförelse med minitunnel

Spädfaktorn i första, varma ejector dilutern mättes med torr CO₂-analysator före och efter dilutern i varje punkt i ESC:n. Med undantag för mode 1 i ESC-cykeln (tomgång) låg spädfaktorn på omkring 8, se tabell 2 nedan. Spädfaktorn beräknades på följande sätt:

$$DF = 1 + (\text{CO}_2\text{-halt före} - \text{CO}_2\text{-halt efter}) / (\text{CO}_2\text{-halt efter} - \text{CO}_2\text{-halt spädluft})$$

CO₂-halten i spädluften uppmättes till 0,039 %. Korrektionen torra -> våta gaser försumrades eftersom vattenhalten i avgaserna till varma spädaren var låg. Kw-faktorn enligt ISO 16183 låg över 0,99 i samtliga punkter.

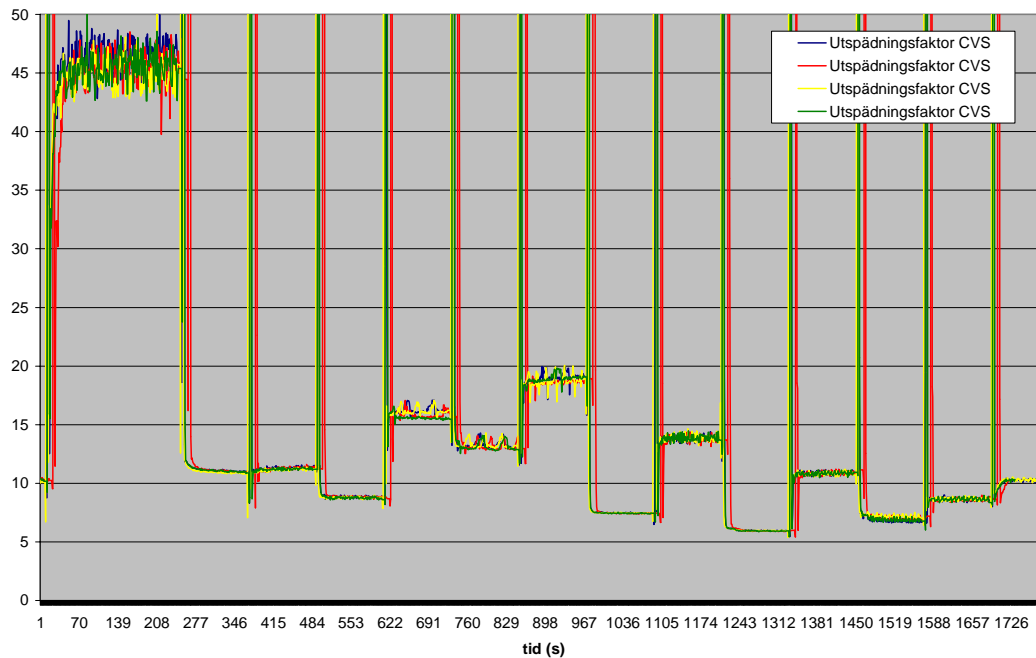
Tabell 2. Spädfaktorer i första spädaren i en ESC. Protokollnummer 18261976 (punkt 13 från 18261978)

ESC-punkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
CO2 före (%)	0,0668	0,9636	0,6308	0,9184	0,5180	0,7770	0,3037	1,1578	0,3732	1,2425	0,4027	0,9506	0,6769
CO2 efter (%)	0,042	0,154	0,113	0,150	0,098	0,131	0,070	0,181	0,080	0,192	0,083	0,148	0,122
DF	9,27	8,04	8,00	7,92	8,12	8,02	8,54	7,88	8,15	7,87	8,27	8,36	7,69

En del punkter mättes två eller flera gånger. Den kompletta uppsättningen mätpunkter finns i bilaga 1. Medelvärdet är 8,02, standardavvikelsen 0,17, variationskoefficient 2 %. Medelvärdet är lägre än det angivna värdet på spädfaktorn från tillverkaren (8,45 vid 25 °C och atmosfärstryck). Enligt tillverkaren ändras spädfaktorn beroende på temperatur- och tryckavvikelse. Eftersom den första spädaren var uppvärmd till 350 °C bör temperaturen ha en betydande inverkan på spädfaktorn. Spädfaktorn i den första ejector dilutern mättes i detta prov en gång för varje steg i ESC:n, och inte kontinuerligt, vilket gav mer repeterbara resultat.

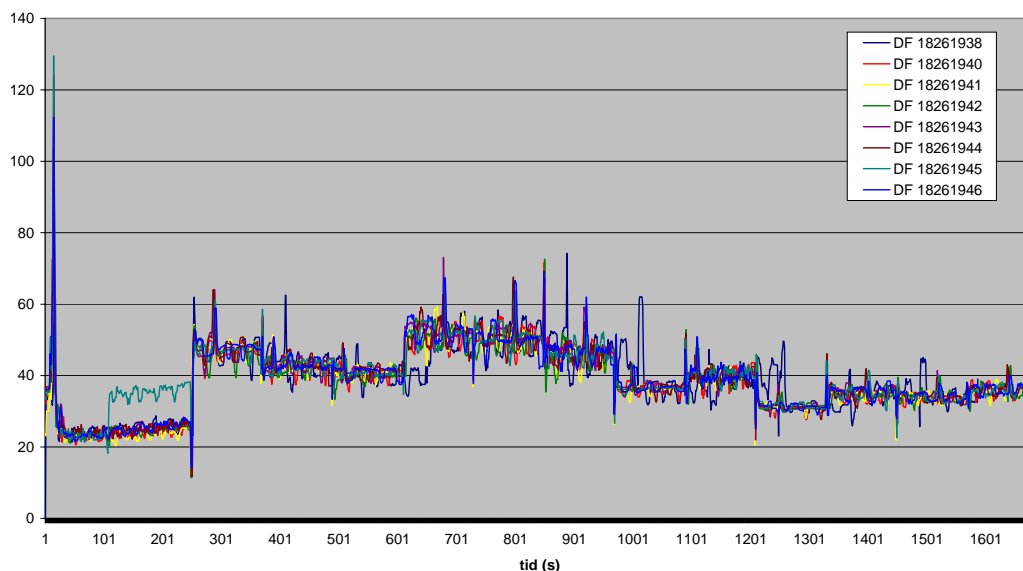
En kontinuerlig mätning av spädfaktorn kan ge osäkra resultat beroende på responstiden i gasanalysatorerna, tidsförskjutning beroende på att man mäter samtidigt på olika ställen (före och efter ejector) samt att man kan få "spikar" i spädfaktorn som är relaterade till bränsle "cut-off" vilket gör att CO₂-halten går ner till noll och spädfaktorn inte är definierad. Det har visats i en rapport att ett medelvärde på spädfaktorn över en körcykel ger resultat som stämmer bättre överens med CVS-tunnelns spädfaktor än en kontinuerlig mätning vid samma tillfälle gjorde. [3]

Spädfaktorn i CVS-tunneln samt CVS-tunnelns sekundärspädare mättes också kontinuerligt med CO₂-mätning. Vid jämförelse med minitunnelns spädfaktor ser man att CVS-tunneln har stabilare utspädning i ESC:er utom i tomgångssteget, där minitunneln är bättre (figur 12 och 13). Problemen med kontinuerligt mätt spädfaktor gäller också när spädfaktorn i CVS-tunneln kontrollmäts med CO₂. Detta syns framför allt i spikar vid övergång mellan olika moder vilket troligen beror på tidsförskjutning, se figur 12. Fenomenet syns dock inte i mätning av minitunnelns spädfaktor, se figur 13.



Figur 12. Repeterbarhet utspänningsfaktor i CVS mätt med CO₂ (ESC)

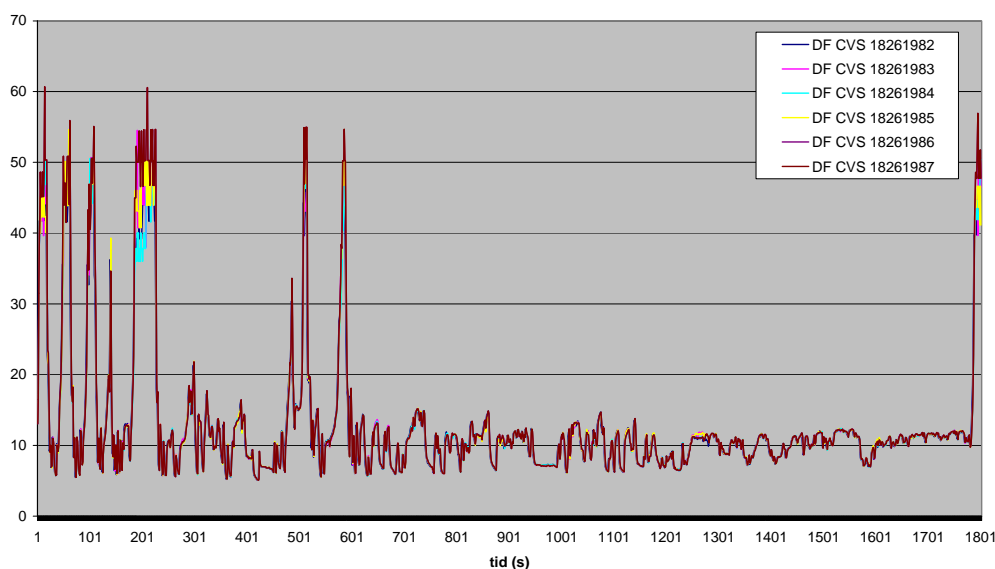
Repeterbarhet utspänningsfaktor i ESC mätt med CO₂



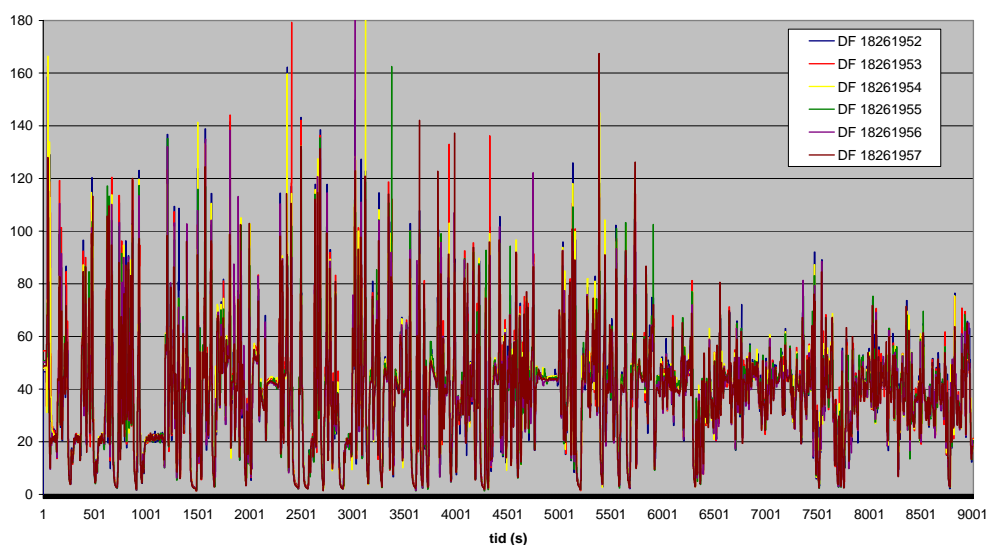
Figur 13. Repeterbarhet utspänningsfaktor i minitunnel mätt med CO₂ (ESC)

I ETC:erna mättes spädfaktorn enbart i den s.k. sekundärspädaren till CVS-tunneln med CO₂. Spädfaktorn i själva CVS-tunneln mättes genom att mäta avgasflöde och tunnelflöde. Även sekundärspädarens spädfaktor kunde mätas upp med gasflöden i stället för CO₂-mätning. Spädfaktorn är stabilare än i minitunneln, se figur 14 och 15. Mätningen med gasflöden är dock inte berörd av svårigheterna med CO₂-mätning.

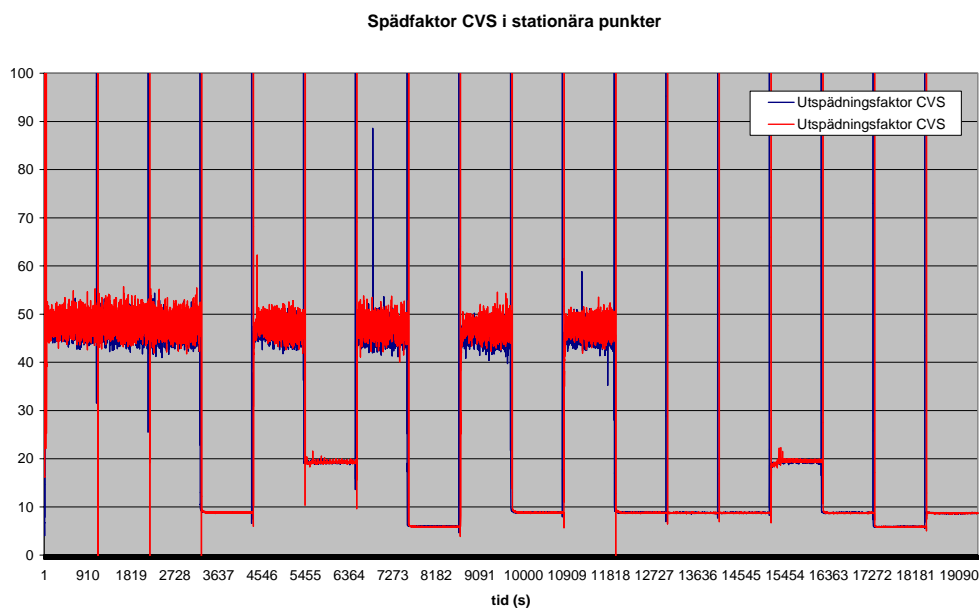
Spädfaktor i CVS i ETC



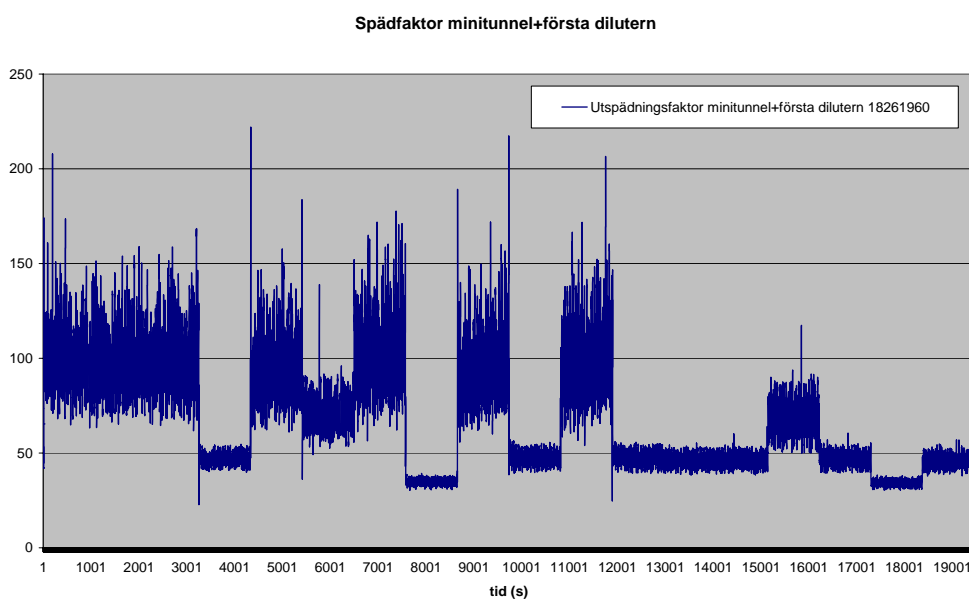
Figur 14. Repeterbarhet utspädningsfaktor i ETC, sekundärspädare och CVS, mätt med gasflöden

 Repeterbarhet utspädningsfaktor (DF) i ETC mätt med CO₂

 Figur 15. Repeterbarhet utspädningsfaktor i ETC efter minitunnel mätt med CO₂

Även i de stationära punkterna syns spikarna från tidsförskjutningen samt variationen i tomgångsstegen i CVS-tunnelns spädfaktor, se figur 16. I övrigt är spädfaktorn stabil och repeterbar. Även minitunneln har stora variationer i tomgångssteg, men inga spikar, se figur 17.



Figur 16. Repeterbarhet utspädningsfaktor i stationära punkter efter CVS mätt med CO₂



Figur 17. Utspädningsfaktor i stationära punkter, minitunnel + första ejector dilutern mätt med CO₂

5.7 Totalantal partiklar per cykel. För MTL (A) och CVS (B).

A: MTL-antal för hela cykeln = Ncycle_MTL

$$N_{cycle_MTL} = 100/R * V_{rtot} * DR_1 * DR_2 * SUM(Cr * dt/60) * 1000 \quad (\# / \text{cykel})$$

R = MTL sample ratio = $100 * V_{rprob}/V_{rexhaust}$ (R = 0,08 %) (dimensionslös)

DR₁ = spädfaktor i första ejector dilutern = 8,02 enligt kap 5.6 (dimensionslös)

DR₂ = spädfaktor i andra ejector dilutern = 8,47 enligt kap 5.6 (dimensionslös)

V_{rtot} = totala gasflödet i MTL (= 94.5) (l/min)

Cr = koncentration av partiklar i CPC vid Tr och Pr (# / cm³)

Bakgrund sättes till 0 #/cm i beräkningen.

dt = loggningsperiod (mellan datapunkter) (s)

ESC-cykel	18261938	18261940	18261941	18261942	18261943	18261944	18261945	18261946	Medelvärde
Ncycle	$5.30 \cdot 10^{12}$	$4.83 \cdot 10^{12}$	$4.81 \cdot 10^{12}$	$4.31 \cdot 10^{12}$	$4.38 \cdot 10^{12}$	$4.35 \cdot 10^{12}$	$4.30 \cdot 10^{12}$	$3.97 \cdot 10^{12}$	$4.53 \cdot 10^{12}$

ETC-cykel	18261952	18261953	18261954	18261955	18261956	18261957	Medelvärde
Ncycle	$5.86 \cdot 10^{12}$	$5.15 \cdot 10^{12}$	$4.86 \cdot 10^{12}$	$4.47 \cdot 10^{12}$	$4.50 \cdot 10^{12}$	$4.53 \cdot 10^{12}$	$4.90 \cdot 10^{12}$

MTL	Medelvärde, mv	Standardavvikelse, s	Variationskoefficient, cov
ESC-cykel	$4.53 \cdot 10^{12}$	$0.42 \cdot 10^{12}$	0.093 (0.070 utan första värdet)
ETC-cykel	$4.90 \cdot 10^{12}$	$0.54 \cdot 10^{12}$	0.111 (0.063 utan sista värdet)

B: CVS-antal för hela cykeln = Ncycle_CVS

Eftersom CO₂-mätningarna av CVS-tunnelns spädfaktor är svåra att utvärdera, användes gasflödena i CVS-tunneln samt i sekundärspädaren för att beräkna det totala antalet partiklar över en cykel. Spädfaktorn i den varma ejector dilutern anges till 8,02 enligt CO₂-mätningarna i kapitel 5.6. Den kalla diluterns spädfaktor anges till det nominella värdet 8,47. Totalt blir spädfaktorn i ejector diluterna 67,93. Beräkningen görs enligt följande formel:

$$Ncycle_CVS = Vrmix * 1000 * 60 / (Vrprob) * Vrprob * DR_{sek} * DR_1 * DR_2 * SUM(Cr * dt / 60) * 1000 \quad (\# / cykel)$$

där

Vrmix = gasflödet i CVS-tunneln (vid Tr = 20 C och Pr = 1013 mbar) (m³/s)

Vrprob = probflödet (vid Tr och Pr) från CVS-tunneln till sekundärspädaren (l/min)

DR_{sek} = spädfaktorn i sekundärspädaren (dimensionslös)

DR₁ = spädfaktorn i första ejector dilutern = 8,02 enligt 5.6 (dimensionslös)

DR₂ = spädfaktorn i andra ejector dilutern = 8,47 enligt 5.6 (dimensionslös)

Cr = koncentrationen av partiklar i CPC:n vid Tr och Pr. (#/cm³)

Bakgrund sättes till 0 #/cm i beräkningen.

dt = loggningsperiod (mellan datapunkter) (s)

ESC-cykel	18261975	18261976	18261977	18261978	18261979	18261980	Medelvärde
Ncycle_CVS	7.12*10 ¹²	7.15*10 ¹²	5.48*10 ¹²	5.17*10 ¹²	5.34*10 ¹²	5.61*10 ¹²	6.09*10 ¹²

ETC-cykel	18261982	18261983	18261984	18261985	18261986	18261987	Medelvärde
Ncycle_CVS	4.32*10 ¹²	4.78*10 ¹²	4.54*10 ¹²	4.51*10 ¹²	4.91*10 ¹²	6.01*10 ¹²	4.85*10 ¹²

CVS: mv, s, cov	Medelvärde	Standardavvikelse	Variationskoefficient
ESC-cykel	6.09*10 ¹²	1.11*10 ¹²	0.181
ETC-cykel	4.85*10 ¹²	0.61*10 ¹²	0.125

Eftersom antalet räknas ut som en integral av realtidsmätningen är det av stor vikt att veta var mätningen börjar och slutar. Integralen ska göras över de 1680 sekunder respektive 1800 sekunder som ESC:n och ETC:n körs.



C: GRAFISK PRESENTATION AV MÄTVÄRDEN FÖR DE FYRA KOMBINATIONERNA:

MSS = MTL + ESC

MiniTunnel + European Steady state Cycle

MTR = MTL + ETC

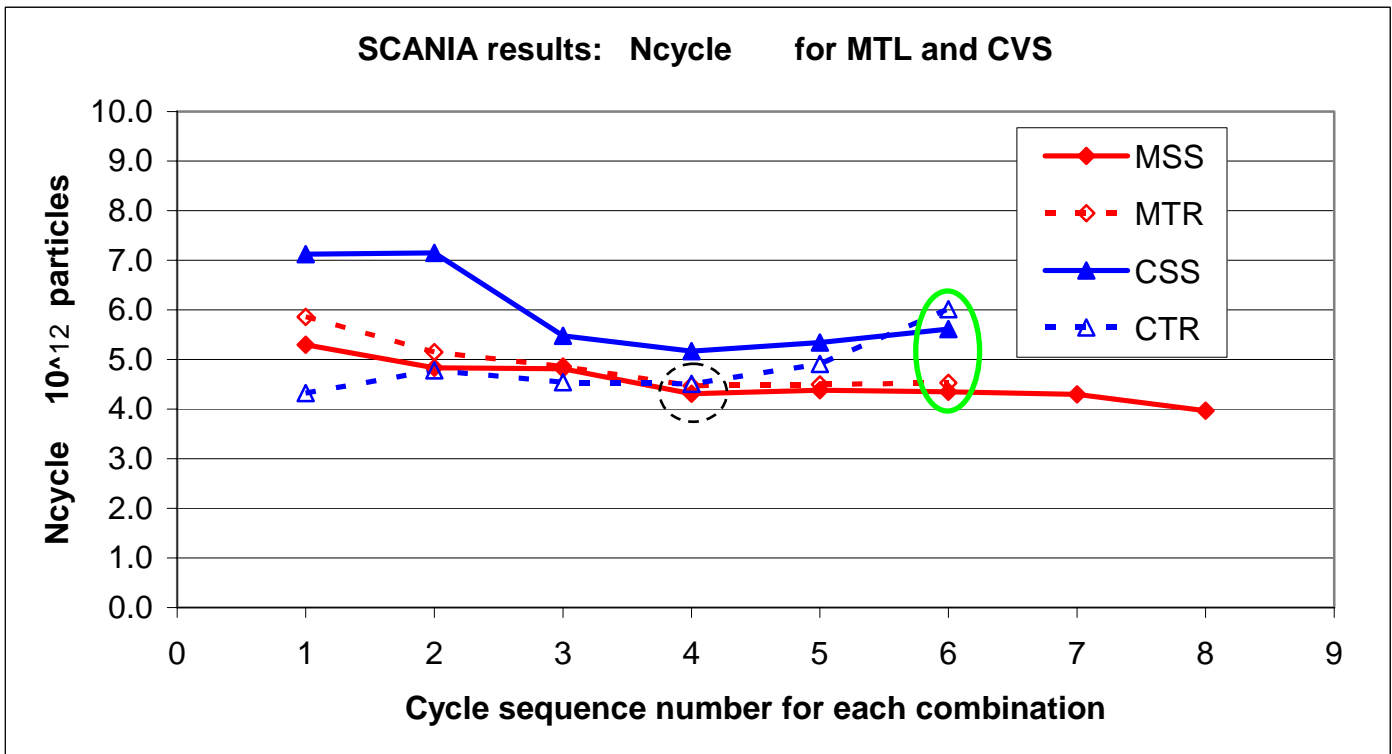
MiniTunnel + European Transient Cycle

CSS = CVS + ESC

Constant Volume flow Sampler + European Steady state Cycle

CTR = CVS + ETC

Constant Volume flow Sampler + European Transient Cycle



Figur 18. Mätvärden från fyra mätserier; ESC och ETC med MTL respektive CVS.

Det verkar som mätvärdena för de fyra kombinationerna konvergerar. Vid den sjätte mätcykeln i varje sekvens är spridningen liten (grön ellips).

Redan från första mätningen löper MSS och MTR parallellt med en utplaning efter fjärde mätcykeln (svart streckad cirkel).

6 SLUTSATS

Repeterbarheten med CVS bedömdes som god i både ESC och ETC, dock något sämre än repeterbarheten med minitunneln. Ett insvägningsförlopp verkar föreligga, vilket gör att c:a 5 – 7 konsekutiva cykler behöver mätas för att visa om hela mätkedjan är stabil (se figur 18).

Spädfaktorn i all spädutrustning måste mätas för att kunna räkna fram det ospädda partikelantalet. Ett lämpligt sätt är att mäta CO₂ före och efter spädutrustningen. Det bör poängteras att en noggrann och repeterbar utspädning är av största vikt för en tillförlitlig mätning av det ospädda och integrala partikelantalet.

En kontinuerligt mätt spädfaktor kan medföra stora osäkerheter på grund av bland annat tidsförskjutning och responstid i analysatorerna. I stationära mätningar/steg rekommenderas att medelvärdesbilda CO₂ innan beräkningar av totalantal utförs. I transienta körcykler rekommenderas en konstant spädfaktor för hela cykeln. Det rekommenderas också att om CVS-tunnel eller minitunnel används, även de kontrollmäts med CO₂ för att få tillförlitlig mätning av spädfaktorer.

Ejector dilutrarnas individuella utspädningsfaktor kontrollmättes med CO₂. Utspädningsfaktorn var repeterbar och låg omkring 0,4 enheter under den av tillverkaren angivna. Detta stämmer överens med tillverkarens angivelse av temperaturberoendet.

7 REFERENSER

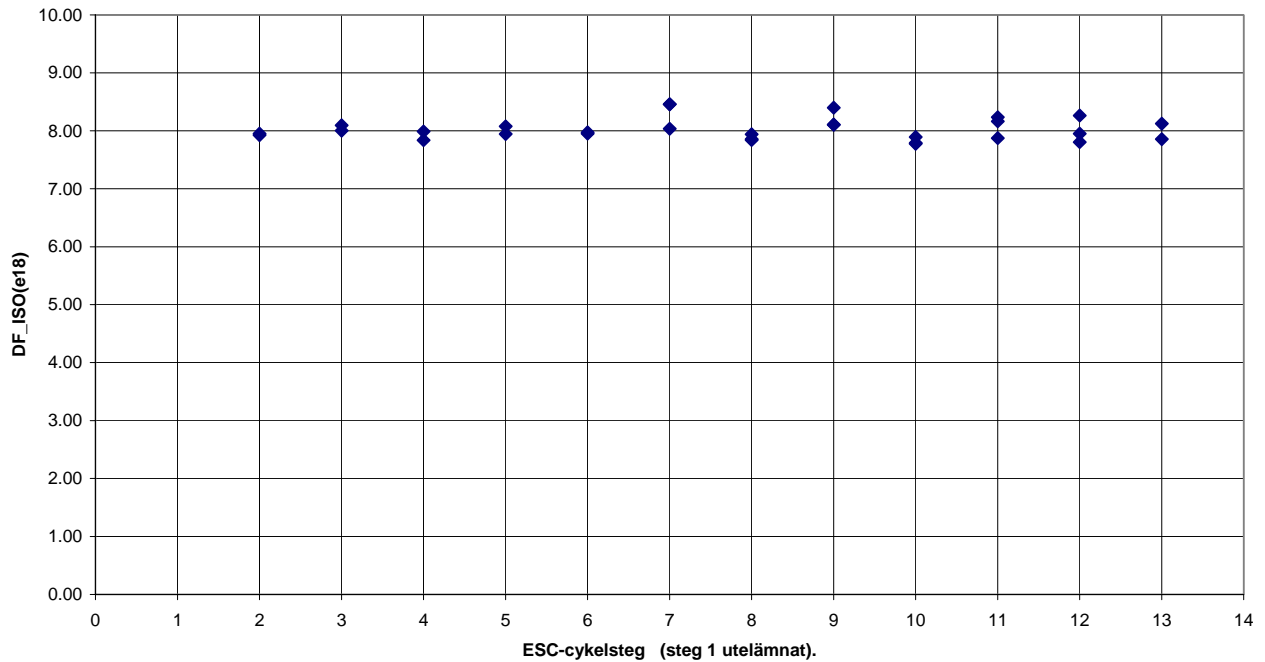
- [1] Anderson et al., "UK Particle Measurement Programme – Heavy Duty Methodology Development Supplementary Report Phase 2, Engine 2". Rapport av RICARDO. RD 04/134401.3. 16 juni 2004.
- [2] Hart, Ultra-Clean Diesel Particle Filters, ULSD Spark Debate on Sulfuric Aerosols. World Fuels Today 2004-08-23.
- [3] Ntziachristos et al., "Performance Evaluation of a Novel Sampling and Measurement System for Exhaust Particle Characterisation" (2004). SAE 2004-01-1439



Bilaga: DF_CO2_7: Spädfaktorer I ESC-cykler 2005-02-03.

DF_CO2_7: Spädfaktorn för varma EMIR-ejektorspädaren . CO2-mätningar 2005-02-03.

MV= 8,02 s= 0,19 COV = 2,4 %



Ett arbete inom projektet EMIR-1:

Mätning av antal partiklar i avgaser från bensin- och dieslbilar.

Oktober 2005

Olle Berg

Volvo Car Corporation, Powertrain Laboratories,
Emission Engineering, Dept 97864, PV16A, SE-405 31 Göteborg, Sweden.

Anne-Marie Rydström

Volvo Technology Corporation, Dept.6700 M1.4,
SE-405 08 Göteborg, Sweden.



– ett projekt finansierat av den svenska regeringen genom



Mätning av antal partiklar i avgaser från bensin- och dieselbilar.

Abstract

The EMIR-project (Emission Research) is a part of the Swedish Government initiative "Green Car" and is financed by Vinnova and the participating companies. The overall aim of EMIR is to increase the general competence regarding health effects of particle emissions and measurements of vehicle exhaust particles.

One of the aims is also to develop a new measurement method more suited for engine development for upcoming low particle emission limits. The Particle Measurement Program (PMP) initiated by UNECE/GRPE has developed a new measurement system for homologisation of particle numbers emitted by vehicles. The EMIR system is similar to that but with a different configuration and type of diluters. The system was designed, constructed and verified during the spring of 2004[1].

In this study the new measurement system was evaluated with regard to repeatability and ease of use. Comparison where also done to a standard opacimeter. The measurements were done in an emission chassis test cell equipped with a diesel dilution tunnel. The vehicles, two gasoline cars and one diesel car equipped with a diesel particle filter, ran both European (NEDC) and American (FTP75) legislative emission drive cycles. In addition to this particle number were measured during two soot accumulation cycles using 50 and 60 NEDC cycles on a particle trap equipped diesel engine in a dynamic engine test cell. The results show the following:

- The newly developed instrument was easy to handle and highly repeatable but further development is needed to solve issues around the use of several ejector diluters. For instance, more work is needed for an accurate determination of dilution factor.
- All three vehicles had an average number and mass emission close to the tunnel background. However, there were major differences between the vehicles where in the drive cycle most particles were emitted. The gasoline engines emitted particles during the start, accelerations and high speed part of the urban cycle. At other times the numbers of particles were more or less zero. The diesel vehicle on the other hand generated particles (although at low levels) during the whole cycle even though there was an increase during the urban part. This may be explained by material coming of the walls of the transfer hose between the car and dilution tunnel.
- There were large differences for the gasoline cars in number of particles during the first cycle compared to the following cycle. This emphasis once again the need to prepare the car before an emission test.
- The results from the soot accumulation cycles showed a continuous decreasing number of particles as the soot accumulated in the diesel particle filter.

Sammanfattning

EMIR-projektet (Emission Research) är ett projekt finansierat dels genom Vinnova inom ramen för de statliga pengarna inom Gröna Bilen och dels genom de deltagande företagen.

Inom EMIR-1:s industriprogram ingår att ta fram en ny mätmetod för avgaspartiklar. I den här rapporten presenteras resultatet från de mätningar som är utförda hos VCC under tiden 1-12 november 2004. Mätningarna är gjorda med "EMIR-systemet" på komplett bil i emissionsprovrum och i motorprovcell.

I mätningarna så har partiklar räknats i avgaser från två bensinbilar och en diesebil utrustad med partikelfälla körda i emissionsprovcell. Vidare så har två sotlagringscykler på 50 respektive 60 cykler körts i ett dynamiskt motorprovrum med en dieselmotor utrustad med partikelfälla. Resultatet visar följande:

- EMIR-systemet har visat att det är driftsäkert och att repeterbarheten är jämfört med andra partikelinstrument god. Om systemet skall användas på mer regelbunden basis så krävs att kalibreringsrutiner för spädarna tas fram, inbyggnad till ett mer lätthanterligt system bör göras samt att man bör se över loggningssystemet om man inte använder riggen.
- Totala antalet partiklar med en diameter större än 23 nm för de två bensinbilarna och diesebilen ligger nära bakgrunds nivåer i partikeltunneln. I mätningarna kan man tydligt se skillnader i hur partiklarna skapas i dieselmotorer (med DPF) jämfört med bensinmotorer. Förbränningen i bensinmotorerna är för det mesta homogen och då har man ingen bildning av sotpartiklar. Vid vissa körfall som vid start och vid högre effekter får man sotpartiklar vilket troligen beror på att förbränningen inte är helt homogen. Dieselmotorerna genererar ju partiklar hela tiden och det verkar från mätningarna att en viss del av de här partiklarna passerar filtret hela tiden.
- Emissionerna under startögonblicket för bensinfordonen varierar betydligt. Speciellt första provet visar höga nivåer jämfört efterföljande prov.
- Mätningarna från sotlagringscyklerna visar på kontinuerligt sjunkande partikelnivåer efter motorns DPF allt eftersom fällan fylls upp med sot.

Innehållsförteckning

1. INLEDNING	5
1.1. Partikelemissioner och mätning av antal partiklar	5
1.2. EMIR	6
2. MÄTUPPSTÄLLNING	8
2.1. EMIR-systemet.....	8
2.1.1. Komplet uppställning	8
2.1.2. Spädare	8
2.1.3. Partikelräknare	9
2.2. Uppställning i EP3.....	10
2.2.1. Uppställning.....	10
2.2.2. Fordon	11
2.2.3. Provprogram.....	11
2.3. FPD3.....	11
2.3.1. Uppställning.....	11
2.3.2. Motor	11
2.3.3. Provprogram.....	11
3. RESULTAT OCH DISKUSSION	12
3.1. Resultat från EP3	12
3.2. FPD3	16
3.2.1. Sotlagringscykel 1	16
3.2.2. Sotlagringscykel 2	18
3.3. Jämförelse mot opacimeter.....	18
3.4. Metod och mätsystemets noggrannhet.....	19
3.4.1. Hantering och robusthet.....	19
3.4.2. Repeterbarhet och mätnoggrannhet	19
3.4.3. Utvecklingsmöjligheter	20
4. SLUTSATSER	20
5. ERKÄNNANDE	21

1. Inledning

1.1. Partikelemissioner och mätning av antal partiklar

Gasformiga emissioner från fordon har stått i fokus i debatten under många år. På senare år har dock flera rapporter kommit som visar att partiklar kan påverka hälsan och klimatet. Det finns även farhågor om att mindre partiklar troligen är farligare än större. Just nu är reglering av partikelnivåerna i avgaser mest i fokus, framför allt i Europa som har en stor andel dieslbilar. Tekniken med dieselpartikelfilter (DPF) har gjort det tekniskt möjligt att sänka nivåerna vilket medför att man kan förvänta sig radikalt minskade nivåer i kommande lagförslag.

Allt eftersom nivåerna sjunker så ifrågasätts dagens mätmetoden allt mer. Idag mäts partikelmassan genom att bilens avgaser späds i en s.k. *Constant Volume Sampler* (CVS) under det att bilen körs en fördefinierad körcykel. Ett delflöde av det spädda flödet sugas genom filter som vägs före och efter provet. Allt eftersom nivåerna går ner så får man mindre och mindre på filtren vilket ställer stora krav på vägutrustning och konditionering av filtren före och efter provet. Förutom farhågorna om att mindre partiklar är mer farliga än större så finns det även vissa rapporter som visar att antalet är ett bättre mått på farlighet än den samlade massan då den ofta domineras av de största partiklarna.

Därför har UNECE startat en arbetsgrupp kallad *Particle Measurement Program* (PMP) under subgruppen GRPE. I den första delen av arbetet kartlades olika instrument och metoder för hitta lämpliga kandidater för ny lagstadgad certifieringsmetod. Resultatet blev att man föreslog två metoder, dels en uppgradering av befintlig CVS-metod och dels räkning av partiklar. Den senare metoden går ut på att man tar ut ett delflöde ur CVS:en, se bild nedan, som leds genom en cyklon (PCF) och därefter späder man med varm luft (D1, 150 °C) för att sen värma de utspädda avgaserna ytterligare till 400 °C (ET) för att sedan späda igen (D2). Till slut så räknar man totala antal partiklar som har en diameter större än 23 nanometer (nm) med en partikelräknare:

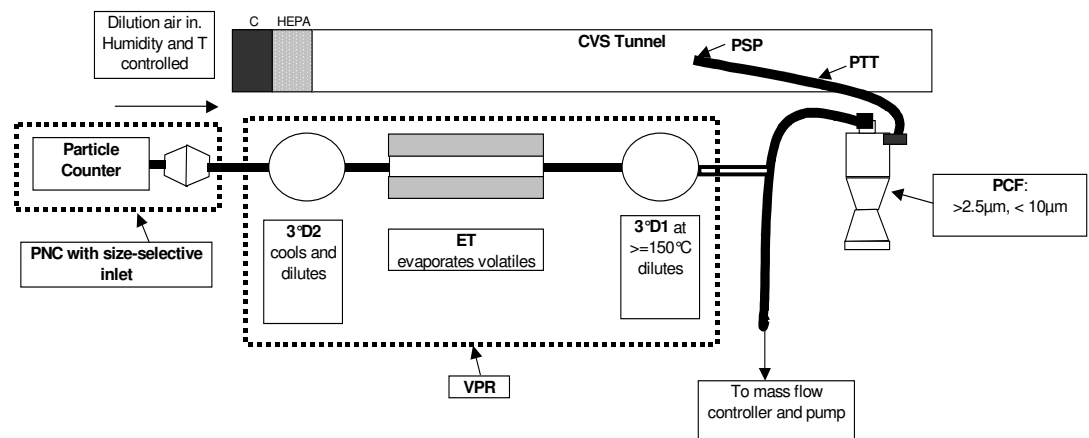


Bild 1: Översikt av PMP-systemet

Vid nedkylning och kall spädning av avgaser så kan det nybildas partiklar. De här partiklarna är mycket små, typiskt mindre än 30 nm, och de skapas av kondenserande gaser av t.ex. tunga kolväten. Den här nukleeringsprocessen är oerhört snabb och variabel. Små förändringar av tryck eller temperatur kan få antalet att ändras flera tiopotenser eller mer. Ovan nämnda metod tar sikte på det här genom att ånga eller torka bort alla flyktiga/kondenserbara kolväten med varm spädning. I bilden nedan kan man se hur storleksfördelningen ändras efter uppvärmning till olika temperaturer. Observera att antalet små partiklar går ner med nära en faktor tusen.

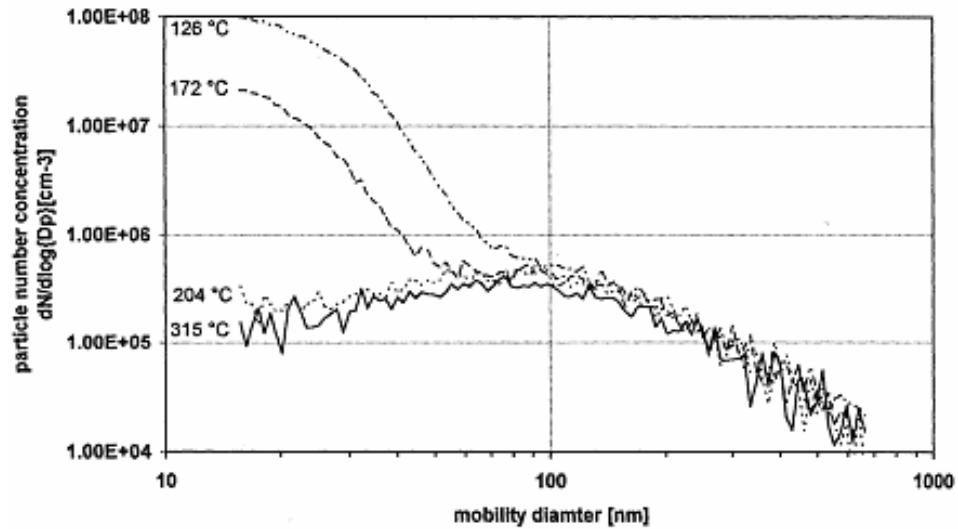


Bild 2: Storleksfördelning vid olika temperaturer.

På bilden nedan kan man se förloppet på ett mer schematiskt sätt. Under förbränningen i motorns cylindrar bildas små kolpartiklar som är kanske ett tiotal nanometer i storlek. De här partiklarna slås ihop till kedjeliknande partiklar. När sedan avgaserna kyla i avgasröret och under spädningen CVS-tunneln så kondenserar kolväten på de här kol- eller sotpartiklarna och det kan även bildas nya partiklar direkt från kondenserande eller nukleerande kolväten. Den varma spädningen ångar bort de här kolvätena samtidigt som utspädningen ökar vilket förhindrar återkondensation. På så sätt ser man i princip enbart sotpartiklarna.

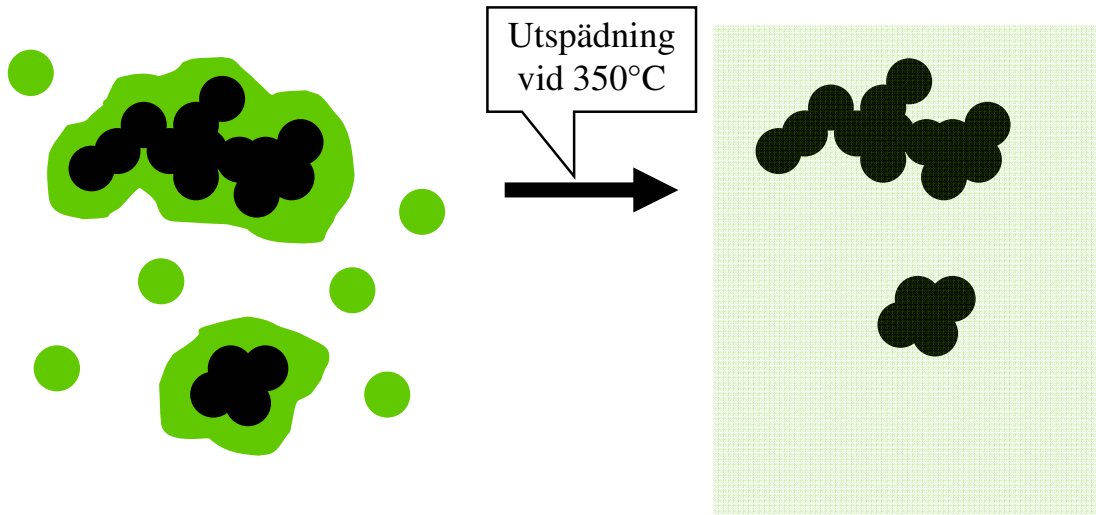


Bild 3: Varm spädning som princip för att reducera små partiklar.

1.2. EMIR

EMIR-projektet (Emission Research) är ett projekt finansierat dels genom Vinnova inom ramen för de statliga pengarna inom Gröna Bilen och dels genom de deltagande företagen. Projektet är delat i två delar; EMIR-1 och EMIR-2. EMIR-1 syftar bl.a. till att höja kompetensen inom området avgaspartikelmätning och bidra till att en relevant mätmetod för avgasrelaterade partiklar tas fram. EMIR-2 syftar till att löpande bevaka den vetenskapliga forskningen inom området partikelemissioner och

hälsorisker samt förse fordonsindustrin och tekniska forskare med relevant och tillämpbar kunskap.

Inom EMIR-1:s industriprogram ingår att ta fram en ny mätmetod för avgaspartiklar. Ovan nämnda PMP startade efter EMIR-projektet men det har givetvis blivit väldigt styrande eftersom debatten och den eventuella konsekvensen av PMP:s arbete är stor för alla fordons- och motortillverkare. Det föreslagna "EMIR-systemet" liknar PMP:s metod men den är inte identisk. Själva konfigurationen av systemet valdes ut tre olika förslag som provkördes hos AVL MTC i april 2004.

I den här rapporten presenteras resultatet från de mätningar som är utförda hos VCC under tiden 1-12 november 2004. Mätningarna är gjorda med "EMIR-systemet" på komplett bil i emissionsprovrum och i motorprovcell.

2. Mätuppställning

2.1. EMIR-systemet

2.1.1. Kompletta uppställning

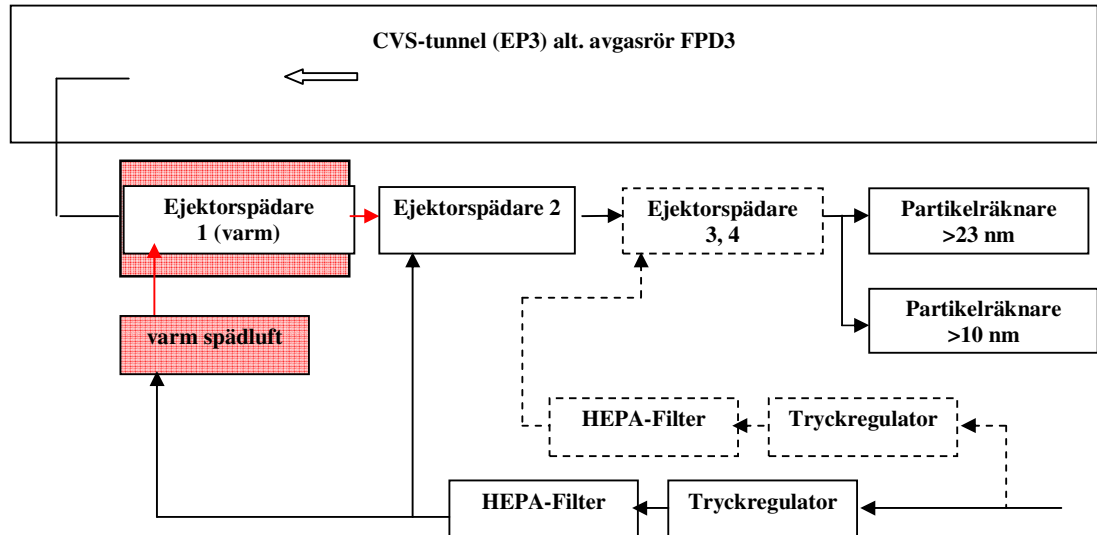


Bild 4: Översikt på EMIR-systemet.

Den kompletta utrustningen bestod av följande komponenter:

1. Provet togs från antingen CVS-tunneln (emissionsprovrum) eller direkt från avgasröret (motorprovcell). I fallet då provet togs direkt från avgasröret så isolerades röret mellan avgasröret och första spädaren.
2. Avgaserna leddes in i en varm ejektorspädare där även spädluften värmdes. Själva spädaren var också värmd med en mantel. Temperaturen mättes i spädpunkten och reglerades till 350°C.
3. Efter den varma spädningen så kopplades en till tre ejektorspädare. Antal spädare bestämdes av den slutgiltiga koncentrationen i partikelräknarna eftersom de bara klarar av en koncentration på 10 000 partiklar per kubikcentimeter.
4. Efter den sista spädaren delades flödet upp till två partikelräknare: Den ena partikelräknaren (EMIR) var inställd enligt standard på att räkna partiklar större än 10 nm emedan den andra (TU) var inställd på att räkna partiklar större än 23 nm.
5. Tryckluften som försörjer spädarna var 7 Bar från standarduttag vilket innebär att den är torkad och fri från olja. Luften reglerades sedan ner till 2 Bar innan luften fick passera ett HEPA-filter för att ta bort alla partiklar.

2.1.2. Spädare

Själva spädningen skedde med hjälp av ejektorspädare från Dekati. Ejektorspädare fungerar på följande sätt: Tryckluft (2 Bar) trycks in runt röret med de utspädda avgaserna och vidare genom en dysa vid utloppet av röret. På så sätt skapas ett undertryck som suger in avgaser i spädaren. Avgaserna späds vid dysan och i efterföljande blandningskammare. De utspädda avgaserna sugas vidare genom ett instuckat rör. Överskottsluften släpps ut.

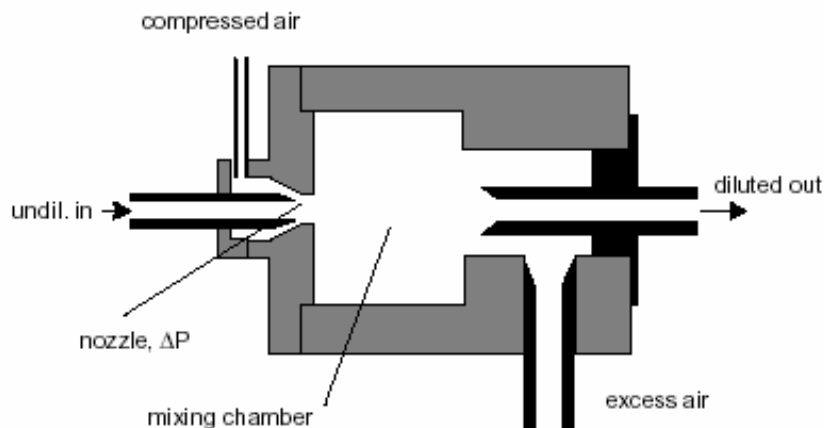


Bild 5: Ejektorspädare från Dekati.

2.1.3. Partikelräknare

Partikelräknarna har modellbeteckningen 3010 och var tillverkade av TSI Inc. På engelska kallas de för *Condensation Particle Counter (CPC)* och oftast använder man bara förkortningen i dagligt tal. Mätprincipen för partikelräknaren är att luft med partiklar leds in över en värmad reservoar av butanol. Butanolångorna blandas med luftflödet med partiklarna. Därefter kyls flödet snabbt i en kondensor och då kondenserar butanolen på partiklarna som växer till droppar som är någon till några mikrometer stora. De här dropparna är tillräckligt stora för att man lätt skall kunna detektera dem med hjälp av laserljus, se bilden nedan:

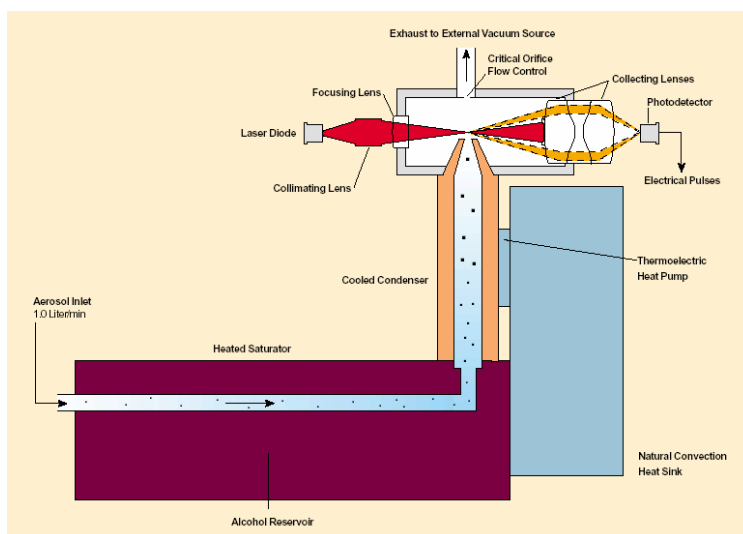


Bild 6: Principskiss partikelräknare.

Storleken på de minsta partiklarna som kan räknas bestäms av temperaturskillnaden mellan värmning och kylning. I standardutförande har den här modellen en temperaturskillnad på 17°C vilket gör att man kan räkna partiklar ner till en diameter av runt 10 nm. I PMP:s arbetet föreslås att man skall räkna partiklar större än 23 nm vilket, enligt leverantören, betyder en temperaturskillnad på 9°C.

2.2. Uppställning i EP3

2.2.1. Uppställning

Prov kördes i EP3 från den 2-5 november 2004. Rummet är inte utrustat med senaste tekniken när det gäller filterning av CVS-luften vilket innebär att bakgrundsni-våerna är relativt höga.

Bilen kopplades till CVS-tunneln med hjälp av en värmd ledning som var c:a 3 meter lång. Kopplingen till bilens avgasrör gjordes med anslutning metall-mot-metall. Vid slutet av den värmda ledningen var en opacimeter (AVL 439) kopplad innan avgaserna leddes in i partikeltunnel.

EMIR-systemet kopplades till tunneln på samma ställe där filterhållare nummer tre sitter i vanliga fall. Det innebär att de utspädda gaserna leddes från mitten av CVS-tunneln via en prob ner mot en fördelare som delade upp flödet i de tre olika filterhållarna. Från uttaget vid filterhållare nummer tre leddes, de av CVS:en utspädda avgaserna, vidare i ett 12 mm rör som var cirka 80 cm långt. Röret var böjt i 90° (svag böjning för att minimera förluster) så att spädarna kunde monterats horisontellt, se bilden nedan.

Under första och andra dagen användes två stycken spädare – den första var värmd så att blandningspunkten hade en temperatur på 350°C emedan den andra höll rumstemperatur. Efterföljande två dagar kördes proven med tre spädare.

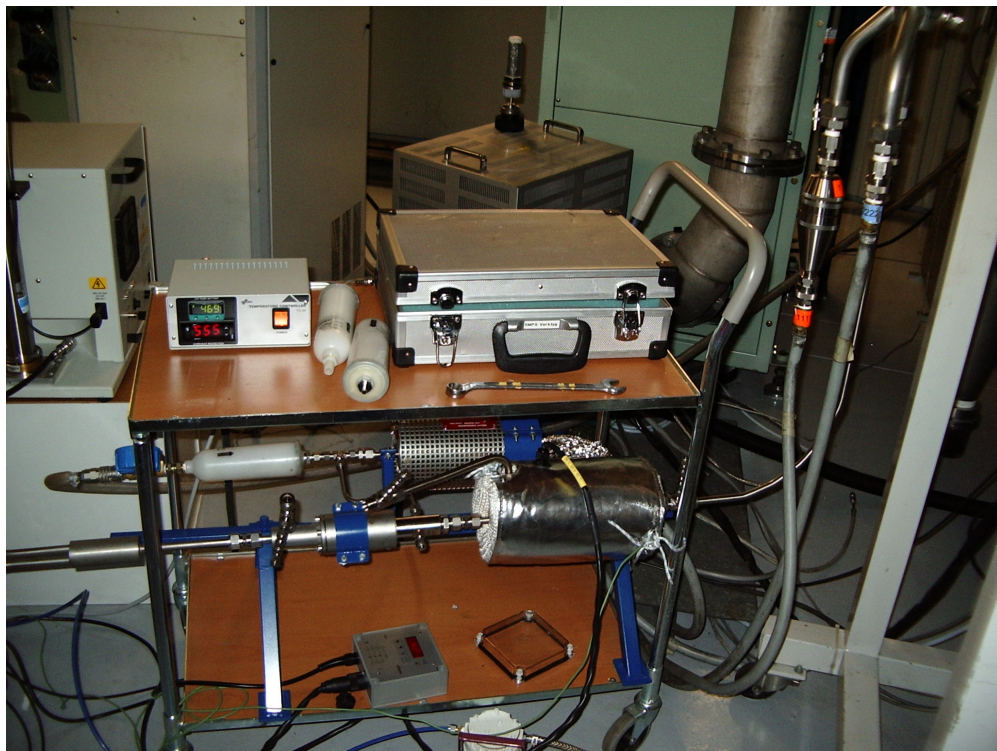


Bild 7: Uppställning i EP3.

Efter den sista spädaren kopplades en fördelare så att flödet kunde delas upp till de båda CPC:erna.

För mätinsamling så användes de analoga utgångarna på partikelräknarna. De här två signalerna tillsammans med mätsignalen från opacimetern, dynamometerhastigheten samt temperaturen i spädpunkten på första spädaren loggades kontinuerligt med 1 Hz under provet.

Spädfaktorn för varje spädare mätes upp med hjälp kalibrergas innehållande propan och två stycken analysatorer för kolväte. Det här gjordes med instrumentet HFR500 från Cambustion.

Flödet genom partikelräknare och spädsystem mätes upp varje dag med en flödesmätare (Gillibrator). Koncentrationen kompenseras för den här skillnaden i flöde.

När proven kördes så utnyttjades även ordinarie mätmetod med filter enligt lagkrav för att få en jämförelse mot ordinarie lagkrav. Eftersom bilarna som kördes bedömdes som lågemissionsbilar så kördes hela körcykeln på ett filterpar (Pallflex T60A). Resultaten beräknades sedan om för hela körcykeln.

2.2.2. Fordon

Proven i EP3 kördes på följande tre utvecklingsbilar (ej produktion):

Modell	Motor	Bränsle
Stor	2,9L Turbo bensin	Euro 95 oktan
Stor	2,5L Turbo bensin	Euro 95 oktan
S40	Turbo diesel m DPF	Certifieringsdiesel Europa

Eftersom det finns risk för kontaminering mellan bensin- och dieslbilar så kopplades analysatorn för kolväte ut ur riggen. På bensinbilarna svetsades ett avgasanslutningsrör för att göra det möjligt att koppla avgasröret metall-mot-metall till den värmda slangen. Dieseln bilen var redan utrustad med den här typen av avgasrör. Bilarna kördes ej någon förberedande körcykel innan första provet för att preparera dem.

2.2.3. Provprogram

Kontamineringsrisken medförde också att bensin- och dieslbilar inte blandades, det innebar att proven planerades så att bensinbilarna kördes färdiga innan proven började på dieseln bilen.

2.3. FPD3

2.3.1. Uppställning

I FPD3 så kopplades den första värmda spädaren direkt till avgasröret. Inuti avgasröret monterades en böjd sond med öppningen mot flödesriktningen och spädare kopplades till den här sonden med hjälp en 40 cm långt 12 mm rör i rostfritt stål. Rörret isolerades för att undvika termoforetiska förluster. Totalt användes fyra spädare i FPD3. Mätdata från systemet loggades i riggen med en frekvens på 10 Hz.

I provrummet fanns en opacimeter (AVL 439) som var kopplad efter partikelfällan.

Spädfaktorn för varje spädare mätes upp med hjälp kalibrergas innehållande propan samt koldioxid och analysatorer för kolväte och koldioxid. Det här gjordes med instrumentet MEXA 7000 från Horiba.

Flödet genom partikelräknare och spädsystem mätes upp varje dag flödesmätare (Gillibrator).

2.3.2. Motor

Motorn i provrummet var en dieselmotor med DPF. Bränslet som användes var Volvo Standard Diesel (VSD).

2.3.3. Provprogram

Proven utgjorde omväxlande enstaka emissionsprov med regenerering samt två stycken sotlagringscykler. Data kommer här enbart presenteras från sotlagringscyklerna. De består av 50 stycken NEDC körda i följd. Till den första av cyklerna så an-

vändes en simulerad stor bil emedan den andra var körd med en simulerad mindre bil.

3. Resultat och diskussion

3.1. Resultat från EP3

3.1.1.1. 2,5LT

Nedan så ser man den räknade koncentrationen för de tre kalla NEDC-proven som kördes med 2,5LT. Tunnelbakgrund ligger strax under 10 partiklar/cm³. Man kan se att under större delen av körcykeln så är antalet partiklar i princip lika med eller under tunnelbakgrunden. Det är i början av kallstarten och under högfartsdelen som man egentligen har utsläpp av partiklar. Partiklarna som mäts under högfartsdelen kan härröra från material som släpps i anslutningsslangen och/eller tunneln. I mitten av körcykeln så kommer enstaka toppar som kan härröras till accelerationer.

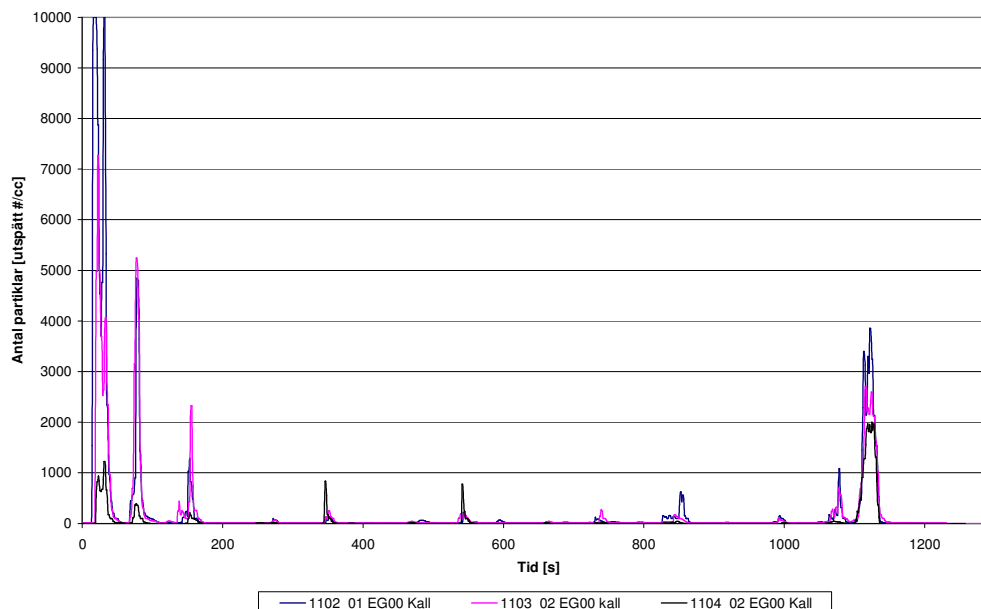


Diagram 1: Antal partiklar för NEDC med kallstart.

3.1.1.2. 2,9LT

Den andra bilsinbilarna visar också tydligt bilden av att emissionerna främst kommer vid kallstart och under högfartsdelen. Här är dock nivåerna mellan de två episoderna ännu lägre än för 2,5T.

Generellt kan man konstatera att båda bilsinbilarna varierar betydligt i antal partiklar under de femtio första sekunderna. Under det första provet på vardera bilen så går antal partiklar över maximala nivån på 10 000 partiklar per cm³. Det sista provet visar betydligt lägre nivåer ~1000 partiklar/cm³. Det visar vikten av att noga preparera bilen inför varje prov så att man får så lika förhållanden som möjligt.

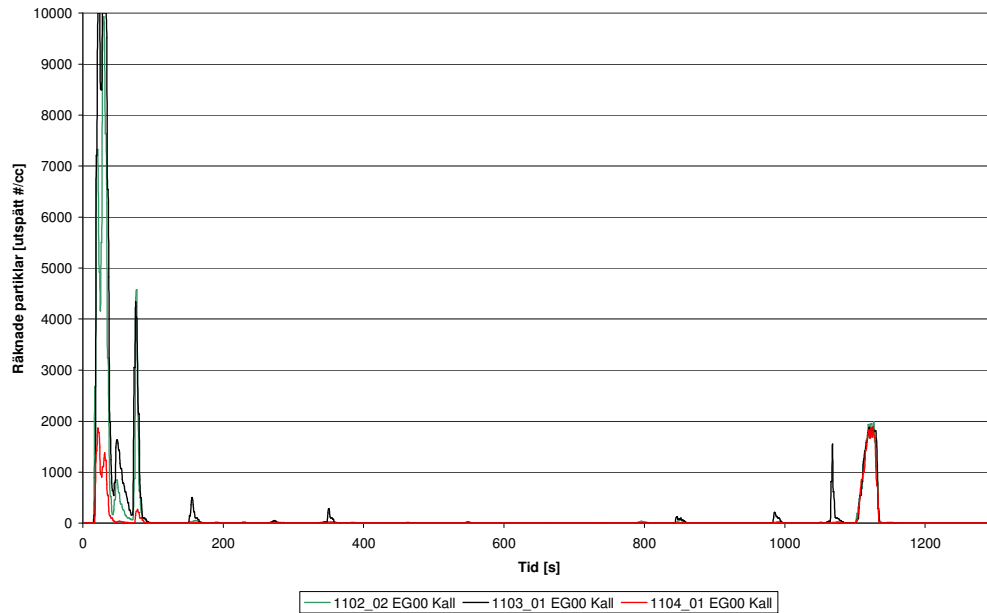


Diagram 2: Antal partiklar från NEDC med kallstart.

3.1.1.3. S40

Dieselbilen visar upp ett annat mönster:

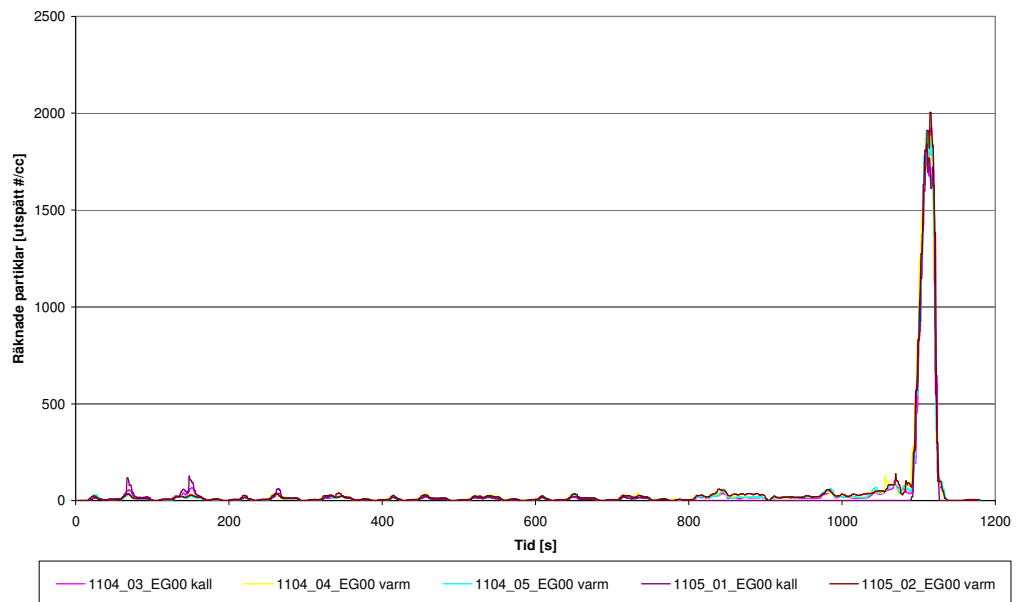


Diagram 3: Antal räknade partiklar (utspätt).

Jämfört med bensinbilarna så kommer huvudparten enbart under högfartsdelen av körcykeln. Under lågfartsdelen så finns det ett mer eller mindre lågt jämt flöde av partiklar som är kopplat till körkurvan, se diagrammet nedan. Att det kommer betydligt mer partiklar under högfartsdelen kan bero på att det finns material lagrat i avgasrör och anslutnings slang som släpper när flödet och värmen blir tillräckligt hög.

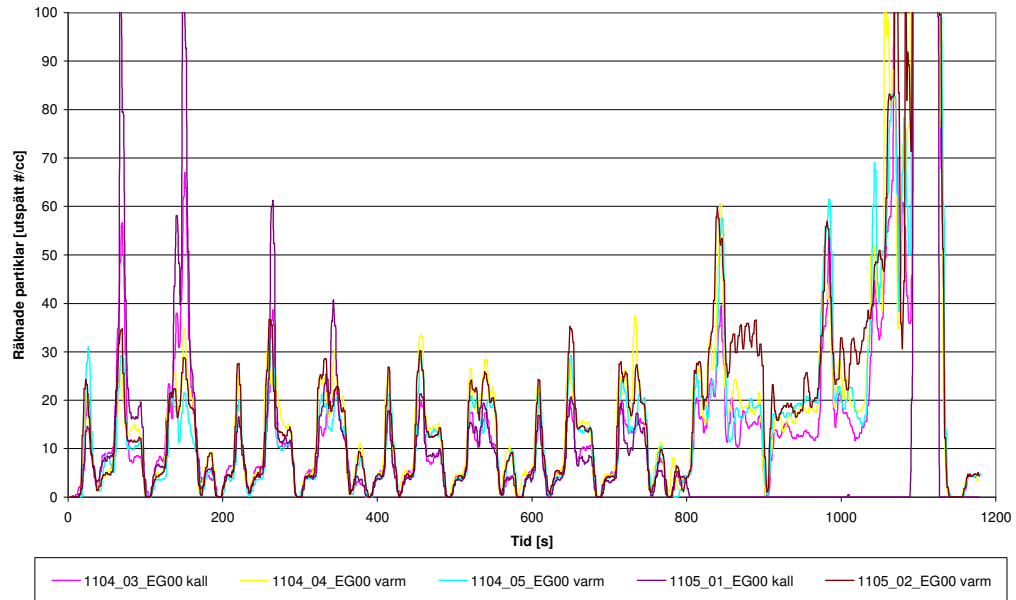


Diagram 4: Samma diagram som ovan fast med annan skala på y-axeln.

I diagrammet nedan som är en detaljförstoring av ovanstående diagram ett exempel på repeterbarhet. Eftersom repeterbarheten är betydligt bättre för dieselbilen än för de två bensinbilarna så kan man misstänka att en stor del av variationerna beror på bilen och körsätt.

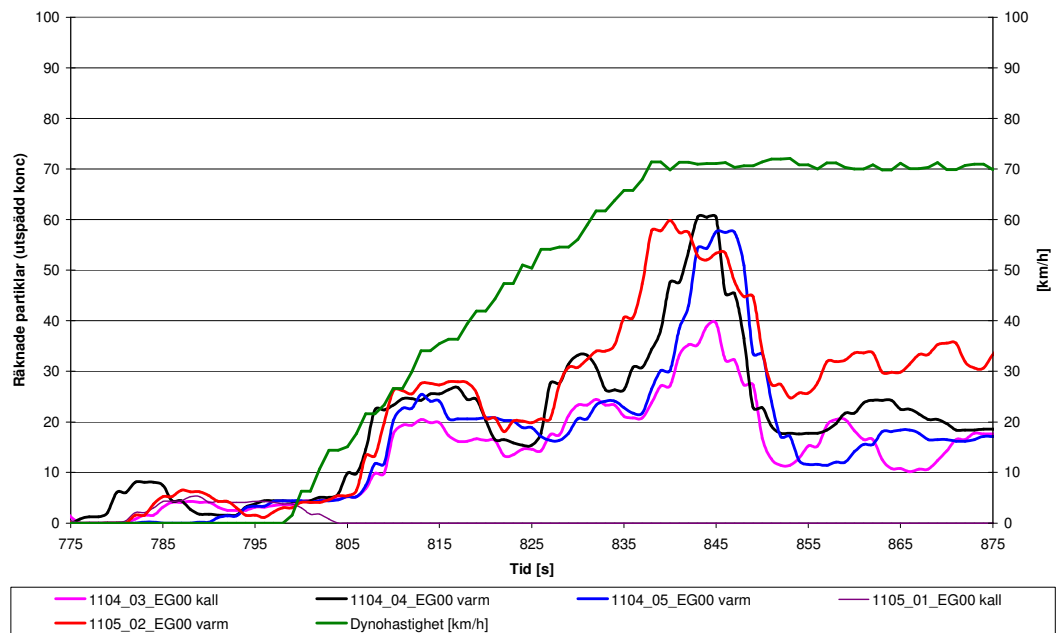


Diagram 5: Detalj från NEDC i EP3.

3.1.1.4. FTP75

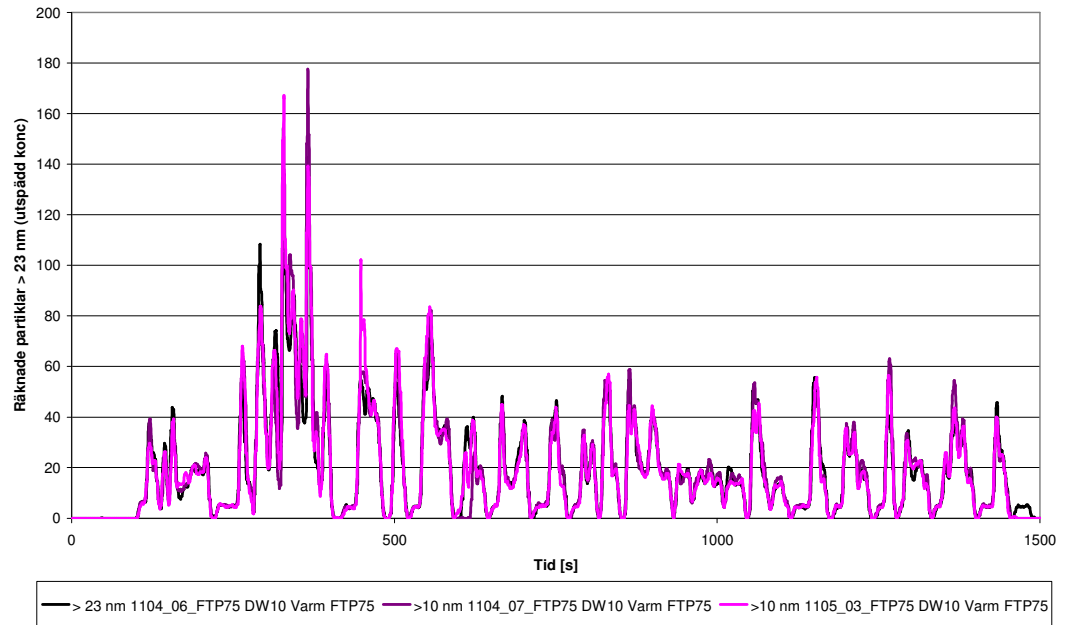


Diagram 6: Antal räknade partiklar FTP 75 fas 1 och 2.

Det här speciellt tydligt för FTP75 där diagrammet ovan och nedan visar på lite fler exempel på hur bra repeterbarheten kan vara.

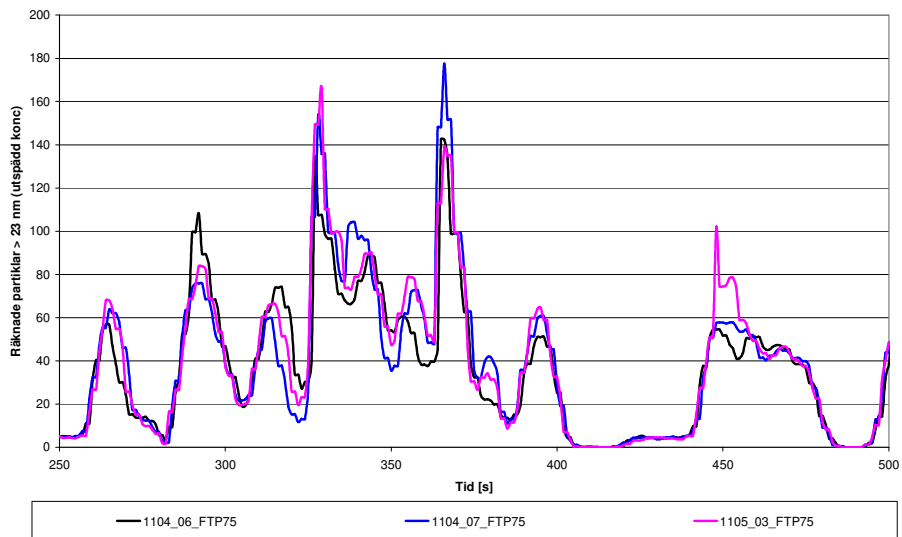


Diagram 7: Detalj ur ovanstående diagram.

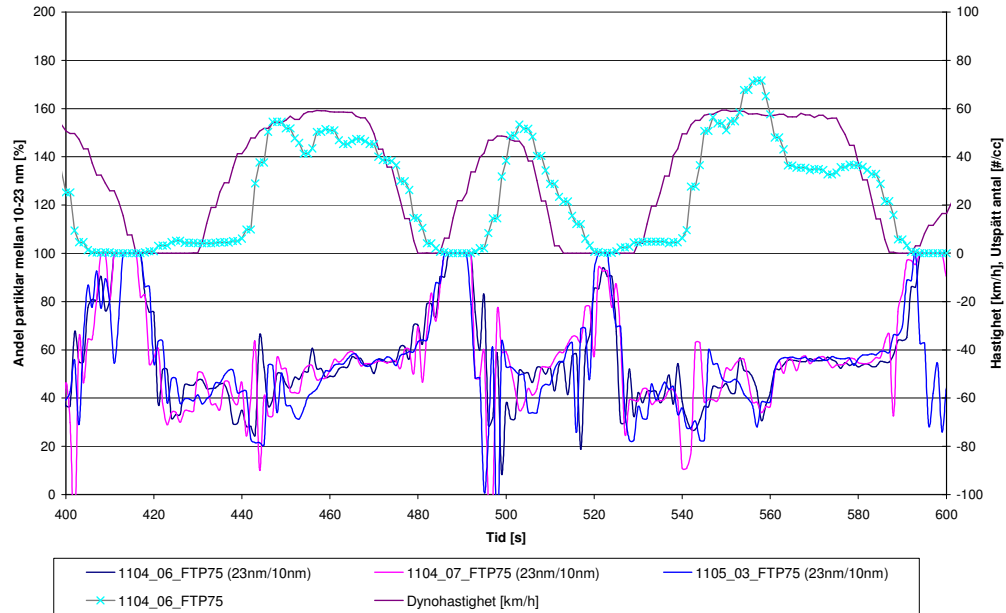


Diagram 8: Andel partiklar mellan 10-23 nm [%].

I ovanstående diagram kan man se andelen partiklar mellan 10-23 nm i procent av totala antalet större än 10 nm för tre emissionscykler. Kurvan med ljusblå kryss visar totala koncentrationen partiklar för den ena cykeln. Lila kurva är dynohastigheten. Vid tomgång är andelen 100 % d.v.s. det finns inga partiklar är större än 23 nm vilket kanske är något överraskande. Det är än mer anmärkningsvärt eftersom tunneln har normalt en viss bakgrund som ger utslag i båda partikelräknarna även när motorn är avstängd.

3.1.1.5. Resultat från filterprov

Första provet på bensinfordon är det enda provet där partikelmassan ligger över bakgrundsnivå för riggen. Att just det provet ligger högre än övriga kan ha flera förklaringar. För det första så har bilen ej preparerats före det här första provet vilket medför att det är svårt att veta vad den har varit utsatt för innan. Dessutom så har bensinavgaser en renande effekt på en dieseltunnel vilket skulle kunna medföra att man får högre mängd partiklar när material lossnar från anslutningsslang och eventuellt själva tunneln. En annan förklaring skulle kunna vara att mycket kolväten lös-görs från tunneln vid bensinprov. Kolväten kan till viss del tas upp av filtermaterialet och ge en ökad massa. Den här förklaringen stämmer bra med antalsmätningen som inte visar några förhöjda partikelvärden. Det kan även beror på att större partiklar (flagor) frigörs under den först bensinkörningen. De här partiklarna är troligen så stora och få att de kan ge utslag vikt-mässigt på filtret men syns ej partikelräknaren eftersom de maskeras av de höga antalet mindre partiklar. Övriga prov visar resultat som ligger i samma nivå som nollprov i riggen.

3.2. FPD3

3.2.1. Sotlagringscykel 1

Under den första sotlagringscykeln så kördes 50 cykler (NEDC) och antalet partiklar loggades över alla de här kör cyklerna. Man kan tydligt se i diagrammet nedan att antalet partiklar sjunker för varje cykel på grund av att DPF:en långsamt fylls med sot vilket gör att den tätar mer och mer vilket i sin tur medför att genomsläppligheten minskar. Diagrammet visar antal räknade utspädda partiklar över alla 50 cykler. Koncentrationen minskar konsekvent för varje kör cykel.

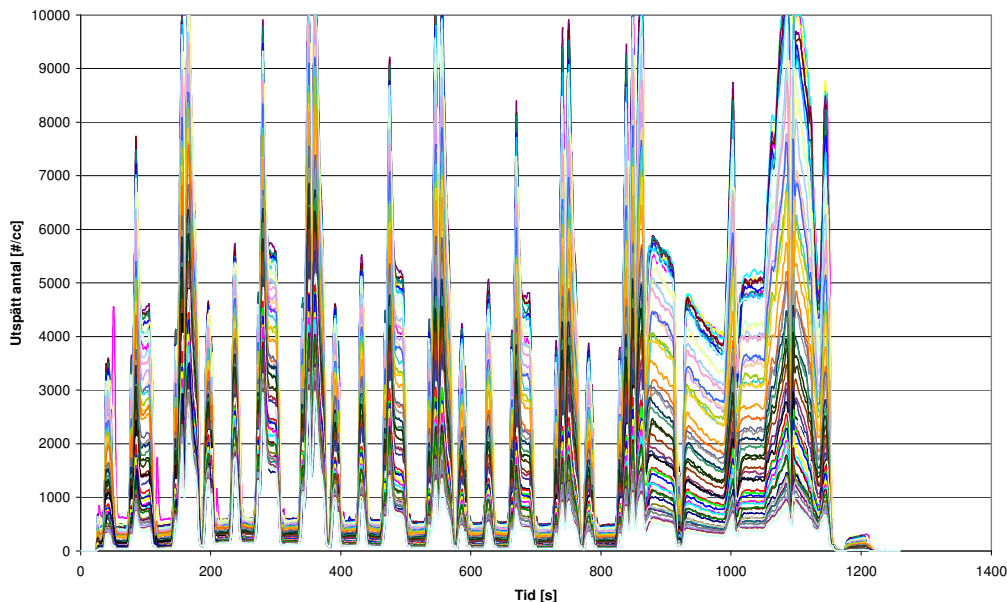


Diagram 9: Antal räknade partiklar 50 cykler NEDC.

I diagrammet nedan visas en uppförstorad detalj från ovan diagram. Bilden visar koncentrationer från alla cykler under accelerationen från stillastående upp till 70 km/h som sker mellan 800 till 900 sekunder in i cykeln. Koncentrationen minskar konsekvent för varje körcykel.

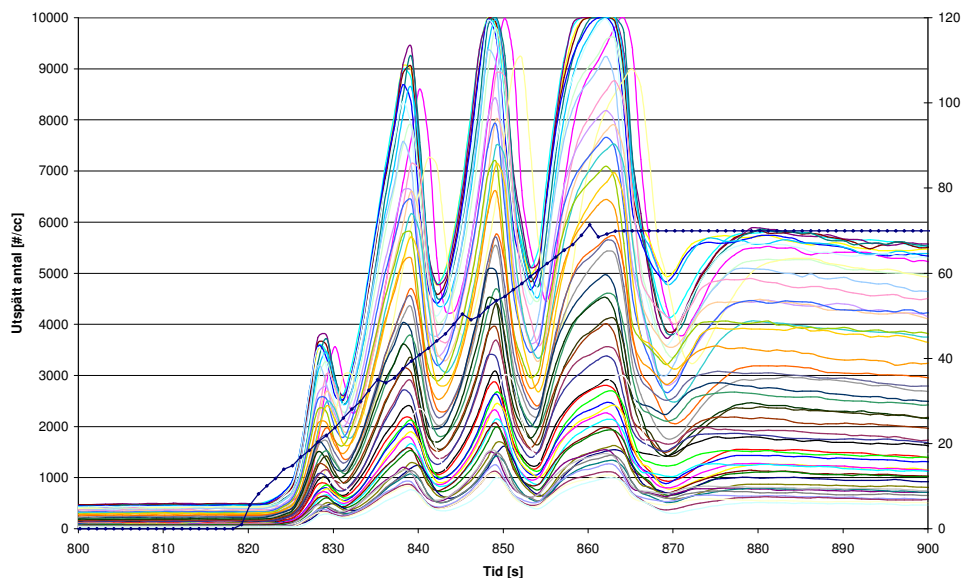


Diagram 10: Detalj ur föregående diagram.

Diagrammet ovan är från samma parti som diagram 5 ovan. Man kan konstatera följande om man jämför de två olika figurerna. För det första så har logningssystemet betydelse för tidsupplösningen. I EP3 så loggades mätdata med 1 Hz vilket är för dåligt vilket tydligt ses i jämförelse med proven i FPD3 där frekvensen var 20 Hz. För det andra så kan man dessutom se betydligt mer detaljer i mätningarna från FPD3 eftersom man inte har omblandning i någon partikel tunnel. Till sist kan man också tydligt se att FPD3 är väldigt repeterbar i jämförelse med EP3 vilket inte är så konstigt eftersom man har betydligt färre faktorer (t.ex. förare) som kan påverka resultatet.

3.2.2. Sotlagringcykel 2

I bilden nedan vilket också är samma detalj som i diagrammet ovan så kan man se resultatet från de 60 cyklerna som kördes i sotlagringscykel 2. Koncentrationerna är konsekvent lägre för varje cykel. Nivåerna är dock nu något lägre än i föregående prov och det beror på att den simulerade bilen var mindre än den som användes vid föregående prov.

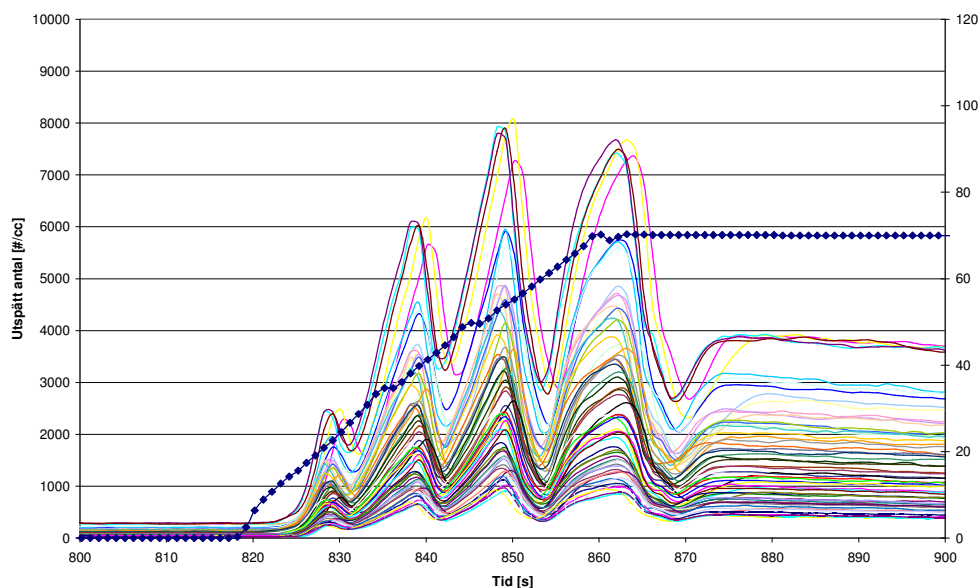


Diagram 11: Sotlagringscykel 2, detalj.

3.3. Jämförelse mot opacimeter

I alla mätningarna så finns data från opacimeter. En opacimeter är ett instrument som mäter dämpningen av ljus som går igenom avgaser. Instrumentet mäter alltså en helt annan fysikalisk parameter som inte bara är kopplade till antal partiklar utan också storlek, fukttinnehåll och eventuella absorberande gaser (t.ex. NO_2).

I diagrammet nedan kan man se antal partiklar ($>23 \text{ nm}$) och opacitet plottat från den mindre bilen som kördes i EP3. Man kan tydligt se korrelation mellan opaciteten och antal partiklar för höga nivåer. Om man däremot förstorar upp bilden och enbart tittar på låga nivåer så kan man konstatera att för opacitet under 3% och en koncentration på under 120 partiklar per cm^3 så finns ingen korrelation. Skälet till det här var troligtvis dålig noggrannhet hos opacimetern för de här mycket låga nivåerna. Motsvarande resonemang gäller även för de andra mätningarna. Noggrannheten i mätningarna vid höga nivåer är dock inte speciellt bra ty för varje koncentration finns det ett rätt stort spann i data från opacimeter. Ett skäl för att det ser ut så här kan vara att opacimetern mäter på råa avgaser emedan partikelräkningen sker utspätt och med modifierad partikelsammansättning eftersom en stor del av kolvätena är borta från partiklarna genom den varma spädningen.

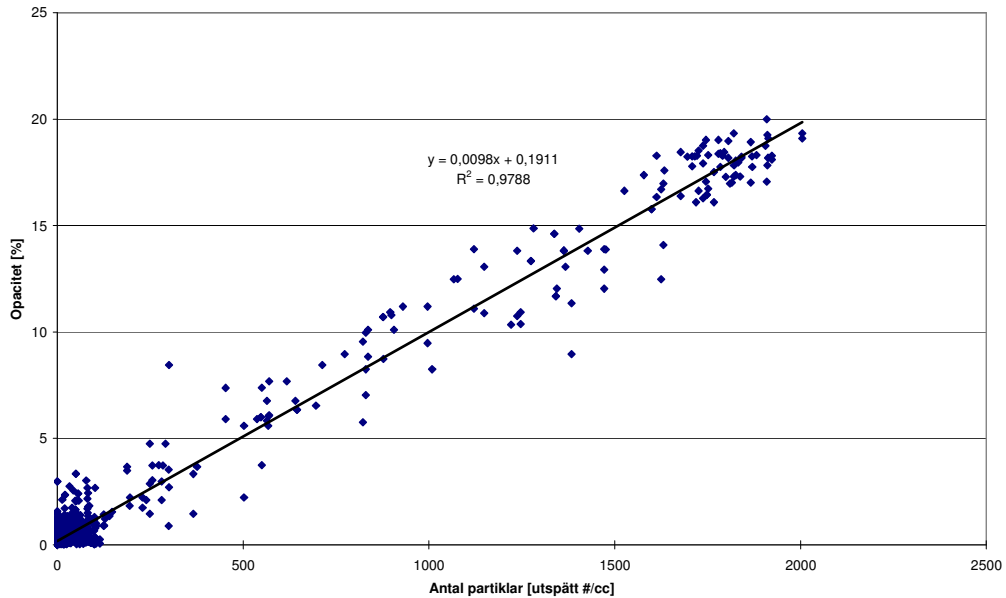


Diagram 12: Opacitet som funktion av utspädd partikelkoncentration.

3.4. Metod och mätsystemets noggrannhet

3.4.1. Hantering och robusthet

EMIR-systemet är enkelt att koppla upp men det tar i sin nuvarande form rätt stor plats eftersom det krävs tre till fyra spädare som kopplas upp i serie. Om man hade lagt mer tid och kraft på att bygga ett permanent instrument så hade man givetvis kunna optimera konstruktionen mer. Ejektorspädarna är mycket stabila om temperatur och tryck före spädaren är stabila. Vid mätning i CVS-tunnel så har man relativt stabila förhållanden men vid mätningar direkt i avgasröret så kommer spädningen variera betydligt mer på grund av stora variationer i avgasröret. Nackdelen är som sagt att spädningen är relativt liten vilket gör att det krävs flera spädare i följd. Ett alternativt system skulle kunna vara en värmdejektorspädare följt av en spädare som bygger på principen av en roterande disk. Den här typen av spädare har mycket större spädfaktor (~1000 ggr) vilket hade kunnat medföra ett enklare system.

De stora skillnaderna i koncentration gör att man i nuvarande system måste välja om man vill se detaljer vid låg koncentration (två spädare) eller att även kunna mäta topparna vilket kräver tre spädare.

Partikelräknare av den här typen är i grund och botten väldigt robusta instrument som kan köras under långa tider utan service eller tillsyn. Ungefär en gång per dygn behöver man kontrollera nivån av butanol och kanske en gång i vecka behöver man tömma i gammal butanol och fylla på ny eftersom den har en förmåga att ta upp fuktighet från luften. Det här är ofta ett litet problem eftersom avgaserna ofta späds många gånger med torkad tryckluft vilket gör att totala fuktinnehållet i mätgasen blir lågt.

Det enda man bör vara försiktig med är att transportera räknaren när den är fylld med alkohol. Vätskan kan skvimpas upp i optiken och då får man ta isär instrumentet för att rengöra det.

3.4.2. Repeterbarhet och mätnoggrannhet

Repeaterbarheten för instrumentet är mycket hög – genomgående så visar proven att utrustningen är mer repeterbar än själva riggen och det gäller givetvis i EP men även FPD där repeterbarhet för själva riggen är mycket hög.

Den absoluta noggrannheten bestäms till stor del av följande faktorer; förluster, bestämning av spädfaktorer, spädfaktorers variation på grund av tryck och temperatur, samt i vissa fall nybildning av partiklar och fel i signalöverföring. Jämfört med andra spädare så är förlusterna små i ejektorspädare vilket konstaterades under tidigare försök inom EMIR. Det är dock viktigt att man planerar i detalj hur anslutning till tunnel eller avgasrör görs så man minimerar förluster. Rör, med mera, skall inte böjas i för snäva krökar, ansluter man till avgasrör direkt så måste röret isoleras eller helst värmas för att undvika att man får förluster på grund av att temperaturen mellan rörväggen och avgaserna blir för stor (s.k. termoforetiska förluster). Uttag av avgaser ur tunnel eller avgasrör bör även ske med probe för att minimera förluster.

Att bestämma noggranna spädningsfaktorer är svårt och är en stor källa till osäkerhet om den absoluta nivån. Ejektorspädare är känsliga för tryck- och temperaturförändringar. Känsligheten kan minskas genom att återkoppla slaskflödet tillbaka till avgasröret – det förutsätter visserligen att det inte finns ytterligare instrument nedströms avgasröret som påverkas. Genom värma första spädaren så minskar man också temperaturkänsligheten. Faktum kvarstår dock att det är svårt att mäta upp själva spädfaktorn eftersom koncentrationerna av vald spärgas minskar betydligt för varje spädsteg. Det medför att gasanalyserns noggrannhet styr väldigt mycket hur stor noggrannheten blir.

På grund av spädarens känslighet för tryck och temperatur så är det dessutom svårt att mäta upp spädfaktorn individuellt för varje spädare och sedan multiplicera dem med varandra eftersom den faktiska uppställningen med aktuella flöden, temperaturer och tryck påverkar varje spädare individuellt.

Mätningarna i EP3 visar på någon typ av drift i systemet som verkar bero på drift i själva analogsignalerna mellan partikelräknaren och det aktuella datalagringsystemet. Eftersom själva displayen på partikelräknaren inte ändrades kan man mistänka att driften ligger i datainsamlingen.

3.4.3. Utvecklingsmöjligheter

Det finns ytterligare potential för förbättringar av systemet och det gäller framförallt inbyggnad och handhavande, förbättrat loggningssystem och samt förändringar av spädsystemet. Rutiner måste också tas fram för kalibrering av systemet.

Om det skall användas regelbundet så krävs givetvis en inbyggnad och mer hänsyn till användarvänlighet. Med en översyn av spädsystemet så skulle hela systemet kunna bli mer kompakt och enklare att använda. Det här speciellt då man snabbt och enkelt vill kunna kalibrera spädarna.

Loggningssystemet bör ha en insamlingsfrekvens på minst 10 Hz. Man skulle även kunna öka tidsresponsen på hela systemet genom att räkna antal pulser direkt och medelvärdesbilda i mätsystemet istället för att använda pulsräknarens analogsignal som måste kalibreras med jämna mellanrum.

Att använda tre eller upp till fyra spädare i rad är inte riktigt realistiskt utan man skulle behöva se över möjligheten att t.ex. ha en spädare som bygger på en roterande disk istället för ejektorspädare en s.k. "Rotating disc". Man skulle då fortfarande använda en värmd ejektorspädare som primärspädare eftersom den generellt är mycket stabilare och inte är så känslig för nedsmutsning.

4. Slutsatser

I de här mätningarna så har ett nytt instrument utvärderats med avseende på repe- terbarhet. partiklar räknats i avgaser från två bensinbilar och en dieselbil utrustad med partikelfälla körda i emissionsprovcell. Vidare så har två sotlagringscykler på 50 respektive 60 cykler körts i ett dynamiskt motorprovrum med en dieselmotor utrustad med partikelfälla. Resultatet visar följande:

- EMIR-systemet har visat av det är driftsäkert och att repeterbarheten är god. Om systemet skall användas på mer regelbunden basis så krävs att kalibreringsrutiner för spådarna tas fram, inbyggnad till ett mer lätthanterligt system bör göras samt att man bör se över loggningssystemet om man inte använder provcellens datainsamlingsystem.
- I mätningarna kan man tydligt se skillnader i hur partiklarna skapas i dieselmotorer (med DPF) jämfört med bensinmotorer. Förbränningen i bensinmotorerna är för det mesta homogen och då har man ingen bildning av sotpartiklar. Vid vissa körfall som vid start och vid högre effekter får man sotpartiklar vilket troligen beror på att förbränningen inte är helt homogen. Dieselmotorerna genererar ju partiklar hela tiden och det verkar från mätningarna att en viss del av de här partiklarna passerar filtret hela tiden.
- Emissionerna under startögonblicket för bensinfordonen varierar betydligt. Speciellt första provet visar höga nivåer jämfört efterföljande prov.
- Mätningarna från sotlagringscyklerna visar på kontinuerligt sjunkande partikelnivåer efter motorns DPF allt eftersom fällan fylls upp med sot. Repeterbarheten för de här mätningarna i FPD3 var hög.
- Jämförelse mellan partikelräkning och opacitet visar att det finns viss korrelation för nivåer över en opacitet på 3%.

5. Erkännande

Projektet har finansierats av Verket för Innovationssystem (VINNOVA) och Volvo Personvagnar AB inom ramen för EMIR-1. Vi skulle även speciellt vilja tacka operatörerna, Börje Johansson och Tommy Bergman i EP3 samt David Svensson och Mohammed Alsharifi i FPD3, för deras hjälp.

VINNOVA's publications

May 2007

See www.VINNOVA.se for more information

VINNOVA Analysis

VA 2007:

- 01 Nanoteknikens innovationssystem
- 02 Användningsdriven utveckling av IT i arbetslivet - Effektivvärdering av tjugo års forskning och utveckling kring arbetslivets användning av IT. *For brief version see VA 2007:03*
- 03 Sammanfattning - Användningsdriven utveckling av IT i arbetslivet - Effektivvärdering av tjugo års forskning och utveckling kring arbetslivets användning av IT. *Brief version of VA 2007:02*
- 04 National and regional cluster profiles - Companies in biotechnology, pharmaceuticals and medical technology in Sweden 2004. *Only available as PDF. For Swedish version see VA 2005:02*
- 05 Nationella och regionala klusterprofiler - Företag inom fordonsindustrin i Sverige 2006
- 06 Behovsmotiverade forskningsprogram i sektoriella innovationssystem
- 07 Effekter av den svenske trafikksikkerhetsforakningen 1971-2004. *For brief version in Swedish and English see VA 2007:08 and VA 2007:09*
- 08 Sammanfattning - Effekter av den svenska trafikksikkerhetsforskningen 1971-2004. *Brief version of VA 2007:07, for brief version in English see VA 2007:09*
- 09 Summary - xxxxxxxxxxx. *Brief version of VA 2007:10, for brief version in Swedish see VA 2007:07.*
- 10 Eng versionxxxxxxxx. *For brief version in Swedish and English see VA 2007:08 och VA 2007:09*
- 11 Svenskt deltagande i sjätte ramprogrammet. *Only available as PDF*

VA 2006:

- 01 End of an era? Governance of Swedish innovation policy. *For Swedish version see VA 2005:07*
- 02 Forskning och utveckling vid små och medelstora företag. *Only available as PDF*
- 03 Innovationsinriktad samverkan. *Only available as PDF*
- 04 Teknikbaserat nyföretagande i Sverige 1990 - 2003. *Only available as PDF*
- 05 Offentligt stöd till universitetens samverkansuppgift - en internationell

kartläggning. *Only available as PDF*

- 06 Inkubatorer i Sverige - analys av indikatordimensioner och nyttoeffektivitet. *Only available as PDF*

VA 2005:

- 01 Wood Manufacture - the innovation system that beats the system. *For Swedish version see VA 2004:02*
- 02 Nationella och regionala klusterprofiler - Företag inom bioteknik, läkemedel och medicinsk teknik i Sverige 2004. *For English version see VA 2007:04*
- 03 Innovation policies in South Korea and Taiwan. *Only available as PDF*
- 04 Effektanalys av nackskadeforskningen vid Chalmers - Sammanfattning. *Brief version of VA 2004:07, for brief version in English see VA 2005:05*
- 05 Impacts of neck injuries research at Chalmers University of Technology - Summary. *Brief version of VA 2004:07, for brief version in Swedish see VA 2005:04*
- 06 Forskningsverksamhet inom produktframtagning i Sverige - en ögonblicksbild år 2004
- 07 En lärande innovationspolitik - samordning och samverkan? *For English version see VA 2006:01*
- 08 Svensk trafikksikkerhetsforskning i tätposition - Framträdande forskare och forskningsmiljöer i statligt finansierad trafikksikkerhetsforskning 1949 - 2005

VINNOVA Forum

VFI 2007:

- 01 Universitetet i kunskapsekonomi (*Innovation policy in Focus*)

VINNOVA Information

VI 2007:

- 01 Forska&Väx - Program som främjar forskning, utveckling och innovation hos små och medelstora företag
- 02 MERA-programmet - Projektkatalog. *For English version see VI 2007:03*
- 03 The MERA-program - Projects. *For Swedish version see VI 2007:02*
- 04 DYNAMO 2 - Startkonferens & Projektbeskrivningar
- 05 IT för sjukvård i hemmet - Projektkatalog

- 06 VINNVÄXT - Ett program som sätter fart på Sverige! *For English version see VI 2007:09*

- 07 Årsredovisning 2006
- 08 Het forskning och innovationskraft - VINNOVA 2006
- 09 VINNVÄXT - A programme to get Sweden moving! *For Swedish version see VI 2007:06*

VI 2006:

- 01 VINNOVA's verksamhet inom Transporter. *For English version see VI 2006:07*
- 02 Årsredovisning 2005
- 03 Paving the Road. *For Transport Innovation and Research*
- 04 Drivkraft för tillväxt. VINNOVA 2005. *For English version see VI 2006:08*
- 07 VINNOVA's activities within the Transport Sector. *For Swedish version see VI 2006:01*
- 08 A driving Force for Growth. VINNOVA 2005. *For Swedish version see VI 2006:04*
- 09 Komplexa sammansatta produkter - Projektkatalog 2006
- 10 VINNVINN - Mötesarena för nya affärsmöjligheter och arbetstillfällen
- 13 VINNOVA's Activities in Biotechnology.
- 14 Arbetslivsutveckling - VINNOVA's satsningar inom arbetslivsområdet
- 16 Competence Centres in Figures - Kompetenscentrum i siffror
- 17 E-tjänster i offentlig verksamhet. *For English version see VI 2006:18*
- 18 E-Services in Public Administration. *For Swedish version see VI 2006:17*
- 19 Effektiv Produktframtagning - Projektkatalog 2006
- 20 Forskning och innovation för hållbar tillväxt

VI 2005:

- 02 Årsredovisning 2004
- 04 DYNAMO -Beskrivningar av de 18 projekt som ingår i programmet
- 05 Den dubbla vinsten. VINNOVA 2004
- 06 VINNOVA - For an innovative Sweden!
- 08 Swedish research for growth. A VINNOVA magazine
- 09 Kunskapsbildning och organisering

- Ett program för förnyelse och innovation

- 10 Innovationsprocesser i Norden
- Ett program för organisering av utvecklingsarbete med bred medverkan. *Only available as PDF*

VINNOVA Policy VP 2006:

- 01 På spaning efter innovationssystem. *For English version see VP 2006:02*
02 In search of innovation systems. *For Swedish version see VP 2006:01*

VP 2005:

- 01 Kunskap för säkerhets skull. Förslag till en nationell strategi för säkerhetsforskning. *For English version see VP 2005:03*
02 Strategi för tillväxt - Bioteknik, en livsviktig industri i Sverige
03 Knowledge to safeguard security. Proposals for a national strategy for security research. *For Swedish version see VP 2005:01*
04 Produktionsteknik & Fordonstelematik. Förslag till FoU-program
05 VINNOVA's views on the European Commission's proposal for the Seventh Framework Programme on Research & Technological Development 2007 - 2013. Position paper

VINNOVA Report VR 2007:

- 01 Design of Functional Units for Products by a Total Cost Accounting Approach
02 Structural Funds as instrument to promote Innovation - Theories and practices. *Only available as PDF*
03 Avancerade kollektivtrafiksystem utomlands - mellanformer mellan buss och spårväg. Tillämpningsförutsättningar i Sverige. *Only available as PDF*
04 VINNVÄXTs avtryck i svenska regioner - Slutrapport
05 Utvärdering VINNVINN Initiativet
07 Industry report on exhaust particle measurement - a work within the EMIR1 project. *Only available as PDF*

VR 2006:

- 01 Det förbisedda jämställdhetsdirektivet. Text- och genusanalys av tre utlysningstexter från VINNOVA
02 VINNOVAs FoU-verksamhet ur ett jämställdhetsperspektiv. Yrkesverksamma disputerade

kvinnor och män i VINNOVAs verksamhetsområde

- 03 ASCI: Improving the Agricultural Supply Chain - Case Studies in Uppsala Region. *Only available as PDF*
04 Framtidens e-förvaltning. Scenarier 2016. *For English version see VR 2006:11*
05 Elderly Healthcare, Collaboration and ICT - enabling the Benefits of an enabling Technology. *Only available as PDF*
06 Framtida handel - utveckling inom e-handel med dagligvaror
07 Tillväxt stavas med tre T
08 Vad hände sen? - Långsiktiga effekter av jämställdhetsåtgärder under 1980- och 90-talen
09 Optimal System of Subsidization for Local Public Transport. *Only available as PDF*
10 The Development of Growth oriented high Technology Firms in Sweden. *Only available as PDF*
11 The Future of eGovernment - Scenarios 2016. *For Swedish version see VR 2006:04*
12 Om rörlighet - DYNAMO-programmets seminarium 12 - 13 juni 2006
13 IP-telefoni - En studie av den svenska privatmarknaden ur konsument- & operatörsperspektiv
14 The Innovation Imperative - Globalization and National Competitiveness. Conference Summary
15 Public e-services - A Value Model and Trends Based on a Survey
16 Utvärdering av forskningsprogrammet Wood Design And Technology - WDAT

VR 2005:

- 01 Effektivt arbete i processindustrin Hur man gör. Från strategi till genomförande
02 Teori och metod för val av indikatorer för inkubatorer. *Only available as PDF*
03 Informations- och kommunikationsteknik i USA. En översiktsstudie om satsningar och trender inom politik, forskning och näringsliv.
04 Information and Communications Technology in Japan. A general overview on the current Japanese initiatives and trends in the area of ICT.
05 Information and Communications Technology in China. A general overview of the current Chinese initiatives and trends in the area of

ICT.

- 06 Hälsa & lärande. Frågor för hälso- och sjukvårdssystemet
07 Samhandling för innovationsledd tillväxt
08 Tekniköverföring från landbaserade fordon till mindre fartyg - fas 1. *Only available as PDF*
09 Nya emissionskrav för dieselmotorer - en katalysator för svensk industri? *Only available as PDF*
10 Samarbete mellan KTH och kringliggande industriforskningsinstitut - nuläge och utvecklingsmöjligheter
11 ICT-based Home Healthcare. *Only available as PDF*
12 Kompetensutveckling i små och medelstora företag - SMF. En kvalitativ studie av konferensdeltagares utsagor
13 The KTH Entrepreneurial Faculty Project
14 OLD@HOME Technical Support for Mobile Close Care. Final Report. *Only available as PDF*
15 Värdeskapande innovationsmiljöer



VINNOVA's mission is to promote sustainable growth
by funding needs-driven research
and developing effective innovation systems

VERKET FÖR INNOVATIONSSYSTEM – SWEDISH GOVERNMENTAL AGENCY FOR INNOVATION SYSTEMS

VINNOVA, SE-101 58 Stockholm, Sweden Besök/Office: Mäster Samuelsgatan 56
Tel: +46 (0)8 473 3000 Fax: +46 (0)8 473 3005
VINNOVA@VINNOVA.se www.VINNOVA.se