

Ken Friis Hansen, sektionsleder

Teknologisk Institut, Energi/Motorteknik

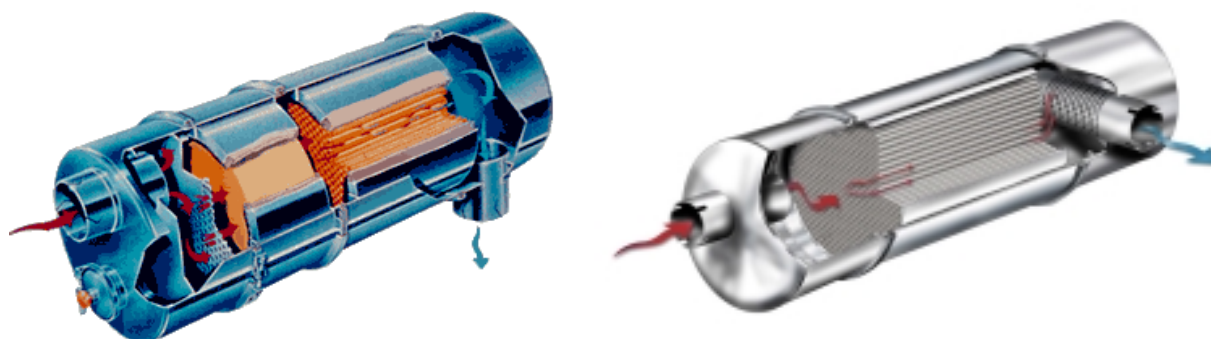
Baggrund

I forbindelse med Færdselsstyrelsens storskala-demonstrationsforsøg med partikelfiltre i Odense gennemføres et opfølgingsprojekt med det formål at måle, indsamle, bearbejde og rapportere data fra Odense. Opfølgningen omfatter bl.a:

1. Registrering af brændstofforbrug, servicebehov og driftsomkostninger
2. Måling af emissioner fra udvalgte køretøjer
3. Luftkvalitetsmålinger i to af Odenses mest trafikerede gader

Driftsafdelingerne fører logbog over de køretøjer, der indgår i forsøget. I forbindelse hermed registreres brændstofforbruget for de enkelte køretøjer. Servicebehov og fejlmeldinger i forbindelse med filtrene registreres også. Desuden gennemføres en løbende funktionskontrol med filtrene. Endelig gennemføres der interview- eller spørgeskemaundersøgelser blandt personale omfattet af projektet. Herved ønsker man at belyse, om det skaber problemer eller ses som en forbedring af den daglige arbejdssituation, når partikelfiltrene anvendes.

For hver enkelt filtertype gennemfører Teknologisk Institut en serie grundige målinger, som skal belyse filtrenes rensningsgrad, når det gælder partikler, ultrafine partikler og andre miljøskadelige stoffer. Målingerne udføres ved projektets start og efter henholdsvis 1 og 2 års drift. Desuden måler Danmarks Miljøundersøgelser luftkvaliteten i to af Odenses mest trafikerede gader både før og efter, at projektet er igangsat. Endelig gennemføres der interview- eller spørgeskemaundersøgelser blandt borgere (f.eks. handlende og buspassagerer) berørt af projektet.



Figur 1. To eksempler på partikelfiltre: CRT (tv) og Ferrita (th).

Anvendte filterteknologier

Der findes efterhånden mange filterteknologier på markedet. Fælles for dem alle er at de har en virkningsgrad på partikler på 95-99% under laboratorieforhold og større end 80% under praktiske forhold. Nogle filter er kombineret med en katalysator og kan dermed også reducere HC og CO – i nogle tilfælde stiger NO₂-emissionen desværre. Nyt på markedet er teknologier til reduktion af NO_x.

Der anvendes nu følgende teknologier i Odense:

- **Johnson Matthey, CRT**
Passivt filter som kontinuert regenereres ved hjælp af NO₂, som dannes i en for-katalysator. Kan kun anvendes på turbo-motorer og kræver <75 ppm svovl i brændstoffet
- **Erland Nielson, CRT+EGR**
Johnson Matthey CRT filter kombineret med et eftermonteret EGR (exhaust gas recirculation) system. EGR recirkulerer en del af udstødningsgassen til motorens indsugningsluft og nedsætter dermed NO_x-emissionen
- **Volvo, CRT**
Johnson Matthey CRT system, som sælges som originalt Volvo tilbehør.
- **Ferrita (Engelhard DPX)**
Passivt filter som kontinuert regenereres ved hjælp af NO₂, som dannes i selve filteret, der er katalytisk belagt. Kræver <75 ppm svovl i brændstoffet
- **Ferrita+EGR**
Ferrita filter kombineret med et eftermonteret EGR system
- **Silentor**
Passivt filter som regenereres ved hjælp af et additiv, som skal tilsættes brændstoffet. Filtrene i Odense er uden katalysator, men Silentor kan også fås med kat.
- **Ceryx, QuadCat**
Aktivt filter som regenereres ved sekundær brændstofindsprøjtning. QuadCat indeholder desuden både en oxidationskatalysator, som fjerner HC og CO og en deNO_x-katalystor, som reducerer NO_x.
- **Energietechnik Bremen, ELR**
Aktivt filter som regenereres ved hjælp af strøm fra køretøjets generator. Specielt velegnet til køretøjer med lav udstødningstemperatur, f.eks. renovationsbiler.

Nedenfor er skematisk opsummeret *forventningerne* til de enkelte teknologier. Der er givet fra 1 til 3 plusser/minusser efter den *forventede* effekt. De *målte* effekter af de enkelte teknologier vil fremgå af de efterfølgende afsnit.

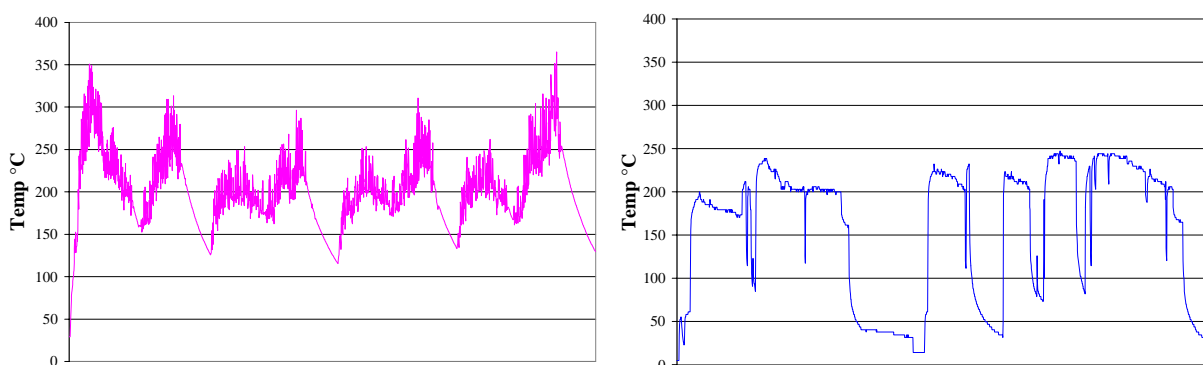
Teknologi	Partikler	HC/CO	NOx	NO ₂	Forbrug	Forudsætning	Pris niveau
CRT	+++	+++	0	÷ ÷	÷	Turbo, <75 ppm S	÷
CRT+EGR	+++	+++	+	÷	÷ ÷	Turbo, <75 ppm S	÷ ÷ ÷
Ferrita	+++	+++	0	÷ ÷	÷	<75 ppm S	÷
Ferrita+EGR	+++	+++	+	÷	÷ ÷	<75 ppm S	÷ ÷ ÷
Silentor	+++	0	0	0	÷	Additiv	÷
QuadCat	+++	+++	+	+	÷ ÷	Styresystem	÷
ELR	+++	0	0	0	÷ ÷	Styresystem	÷ ÷

Montering af filtre

I Odense skulle der monteres filtre på en række forskellige køretøjer fra Odense Bytrafik, Park- og Vejafdelingen og Renovation. Køretøjerne omfatter et stort antal busser, renovationsbiler, dvs. lastbiler i distributions-størrelse, og køretøjer hos Park- og Vejafdelingen, heraf et par større lastbiler og et par fejmaskiner. Ordren skulle udbydes i licitation og der blev derfor udarbejdet et licitationsmateriale, som bla. omfattende en teknisk kravspecifikation til filtrene¹.

For at give potentielle leverandører mulighed for at udvælge de bedst egnede produkter er det også nødvendigt med et rimeligt detaljeret kendskab til de køretøjer, som ønskes monteret med filtre. Der kan f.eks. stilles forskellige krav til motorteknologi (med/uden turbo), emissionsnorm, vedligeholdelsesstand (målt som røgtæthed), alder/km-stand, brug brændstof med lavt svovlindhold (typisk <75 ppm svovl) og udstødningstemperatur (typisk over 250-300° C i en vis procentdel af driftstiden). Disse leverandørkrav afgjorde i nogen grad hvilke filtre der blev monteret på hvilke køretøjer i Odense.

I Odense var alle ovennævnte informationer tilgængelige på nær udstødningstemperaturen. Da udstødningstemperaturen i mange tilfælde er afgørende for valget af filter, blev der gennemført målinger af udstødningstemperaturer på forskellige køretøjer.



Figur 2. Udstødningstemperatur målt for bybus (tv) og renovationsvogn (th)

Ovenstående figur illustrerer dels den markante forskel mellem en bus og en renovationsbil, dels vanskeligheden ved at montere filtre på renovationsbiler hvor udstødningstemperaturen sjældent, eller aldrig, kommer op i det nødvendige område omkring 250-300°C.

Erfaringerne fra Odense er at det er gået relativt smertefrit at montere filtrene. De filterleverandører, som også er køretøjsleverandører, har naturligt haft det noget lettere med tilpasning af systemerne til køretøjerne.

¹ Den tekniske kravspecifikation kan findes på Færdselsstyrelsens hjemmeside www.fstyr.dk hvor man også kan finde meget andet uddybende materiale om Odense projektet

Praktiske erfaringer

Da alle partikelfiltre øger modtrykket på motoren er en marginal (1-2%) stigning i brændstofforbruget forventelig. For at eftervise denne effekt føres der meget nøje kontrol med brændstofforbruget for alle berørte køretøjer i Odense. Det har dog ikke været muligt at påvise nogen signifikant ændring af brændstofforbruget i projektets første halvår. Dette skyldes bl.a. opstartsproblemer med registreringen, samt at den forventede stigning er meget lille, og at andre forhold, f.eks. vejret, også påvirker brændstofforbruget.

For QuadCat filteret, som anvender sekundær brændstoftilsætning for regenerering, og ELR filteret, som regenereres elektrisk ombord, forventes større stigning (2-4%) i brændstofforbruget. Da begge disse filtertyper er monteret i sommeren 2000 foreligger der endnu ingen data fra Odense.

Der har hos Bytrafikken og Park- og Vejafdelingen været behov for at reparere nogle få motorer, da de viste sig at have for høj partikelemission til at køre med filter. Den høje forurening skyldes indsprøjtningssudrustningen, og blev afhjulpet ved reovering af pumpe og udskiftning af dysser.

Service og vedligehold på filtrene er begrænset til at filtrene skal støvsuges og vendes ca. 1 gang hvert år for at fjerne aske og andre uforbændte stoffer, som ellers ville stoppe filteret. På nogle køretøjer har det dog vist sig nødvendigt at vende filtrene allerede (efter 3-6 måneder) pga. højt modtryk (oftest registreret som lavt turbotryk).

Der har dog i opstartsfasen været en del andre problemer med filtrene. Nogle problemer har været relateret til køretøjets driftsmønster og filterets placering, som har medført at temperaturen i filteret for sjældent blev høj nok til regenerering. Et andet problem har været systematiske problemer med svejsninger på et bestemt fabrikat, som er blevet afhjulpet.

Heller ikke de eftermonterede EGR systemer har været problemfri. Det ene system måtte afmonteres pga. en utæt køler, og der opstod sågar et motorhavari i forbindelse med montering af EGR-systemet. Men disse problemer må tilskrives at teknologien er helt ny og uprøvet, og der arbejdes naturligvis på at afhjælpe de konstaterede problemer.

Der har også været en del opstartsproblemer med doseringen af additiv til brændstoffet, som er nødvendig ved brug af Silentorfilteret. Disse doseringsproblemer har både medført nogle driftproblemer med filteret og forhindret en troværdig registrering af additivforbruget.

Emissionsmålinger

For hver enkelt filtertype gennemfører Teknologisk Institut en serie målinger, som skal belyse filtrenes rensningsgrad, når det gælder partikler, ultrafine partikler og andre miljøskadelige stoffer. Målingerne udføres ved projektets start og efter henholdsvis 1 og 2 års drift. I nedenstående skema er anført resultaterne fra målingerne ved projektstart², hvor ikke alle ovennævnte teknologier var i brug:

Filter	-	intet	Silentor	Volvo CRT	Ferrita	CRT
NO _x	g/kWh	11,8	10,7	10,9	8,69	13,5
NO ₂	g/kWh	0,44	0,43	1,61	1,56	1,77
HC	g/kWh	0,22	0,23	0,07	0,05	0,04
CO	g/kWh	0,62	0,57	0,08	0,01	0,18
PM	g/kWh	0,33	0,04	0,18	0,03	0,13

De mest bemærkelsesværdige resultater er uden tvivl de høje partikelemissioner for de to CRT-filtre. Begge resultater, som ligger langt over det forventede, skyldes en meget høj partikelemission ved driftspunktet max. moment (mode 6), som vægter 25% i det samlede resultat. Emissionen er også høj ved max. effekt (mode 8), som vægter 16% men ikke så udtalt.

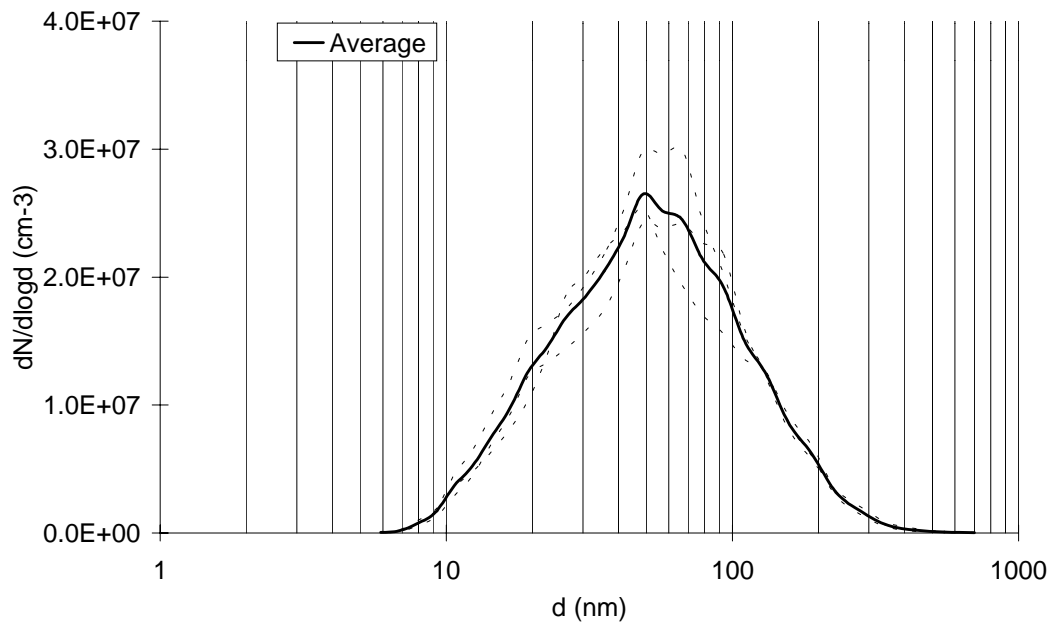
Resultaterne har været forelagt Johnson Matthey, der producerer CRT-filtrene, og producenten har givet en forklaring på fænomenet. I korte træk går forklaringen ud på at sulfat, som dannes af svovl fra brændstoffet, lagres i wash-coaten i CRT-filterets for-katalysator ved temperaturer under 380°C og afgives ved temperaturer derover. Da udstødningstemperaturen ved mode 6 og 8 er lige omkring 380°C synes forklaringen sandsynlig.

Resultaterne for NO_x og NO₂ (som er en delmængde af NO_x) viser, at mens NO₂ kun udgør ca. 4% af NO_x-emissionen på bussen uden partikelfilter og på bussen med Silentor-filter, så er andelen steget til ca. 14% ved de to CRT-filtre og ca. 18% ved Ferrita-filtret. Dette skyldes, at CRT- og Ferrita-filtrene bruger NO₂ til regenerering (afbrænding af opsamlede partikler), og derfor er stigningen ikke uventet, men uønsket, da NO₂ er giftig.

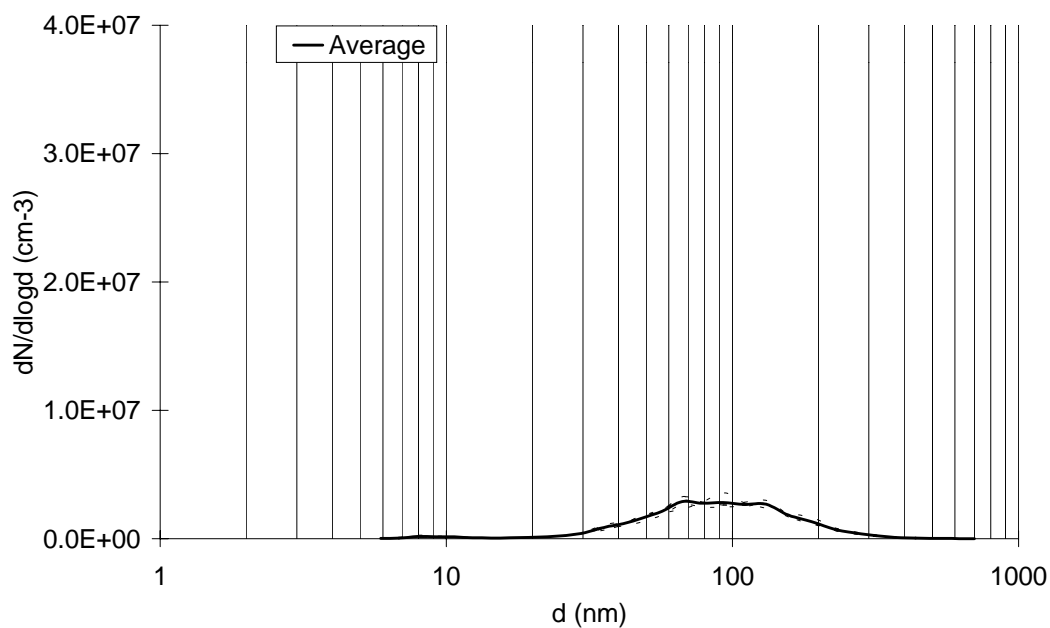
Det fremgår også, at filtrene med indbygget oxidationskatalysator som forventet er i stand til at reducere emissionen af HC og CO.

Der er også målt størrelsesfordeling af partiklerne, som viste følgende resultater: De største partikelkoncentrationer omregnet til rå udstødning blev målt i mode 3 (1400 rpm, 25% af maksimal effekt). Disse størrelsesfordelinger er vist i figurerne nedenfor.

² Rapporten over emissionsmålingerne kan ses i helhed på www.fstyr.dk



Figur 3: Volvo DH10A 285, Odense Bytrafik. Mode 3 (1400 rpm, 25%) uden filter. Partikelkoncentrationer målt i fortyndet udstødning, men omregnet til rå udstødning.



Figur 4: Volvo DH10A 285, Odense Bytrafik. Mode 3 (1400 rpm, 25%) med Silentor-filter. Partikelkoncentrationer målt i fortyndet udstødning, men omregnet til rå udstødning.

Det ses af de to figurer, at Silentor-filteret giver en kraftig reduktion i partikelkoncentrationerne. Det ses også, at Silentor-filteret har været særligt effektivt for de helt små partikelstørrelser (partikelantallet reduceres til 9%, partikelvolumenet til 20%).

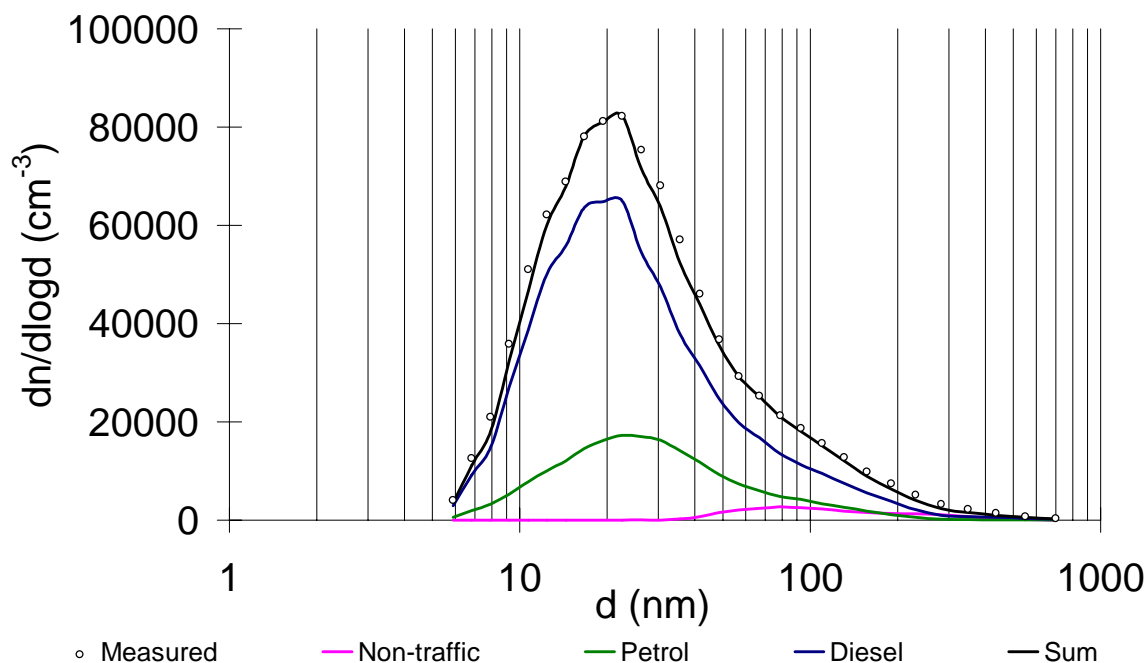
Målinger af luftkvalitet i Odense

Danmarks Miljøundersøgelser har gennemført en undersøgelse for at bestemme størrelsesfordelingen og koncentrationen af luftens partikelindhold i Odense, specielt den del af partiklerne, som emitteres fra dieselmotorer.

Der er gennemført to "før-målinger" i henholdsvis Albanigade og Vestergade. Målingerne fra Albanigade er afrapporteret³ og ses på figurerne nedenfor. Målingen fra Vestergade viser ret lave niveauer (dels på grund af en for målingerne uheldig vindretning i det meste af måleperioden, dels på grund af lav trafikintensitet i gaden).

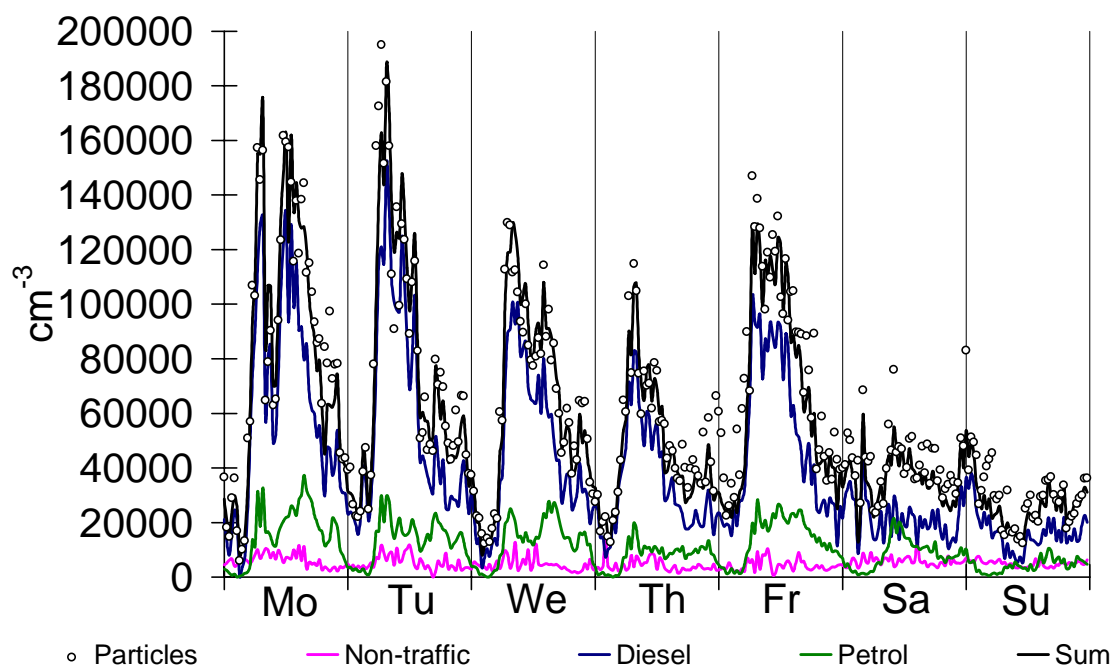
"Efter-måling" i Albanigade er gennemført fra medio marts til medio april, men er endnu ikke afrapporteret. Park- og Vejafdelingen har primo marts oplyst, at bustrafikken nu er omlagt på grund af anlægsarbejde, og at busserne først kommer tilbage i Vestergade i 2001. Dette er i projektsammenhæng meget uheldigt, da den gennemførte "før-måling" ikke har nogen værdi for projektet uden en tilsvarende "efter-måling". Færdselsstyrelsen vil, i samråd med Danmarks Miljøundersøgelser, overveje værdien af en eftermåling gennemført i 2001.

Det mest interessante at påpege ved sammenligningen mellem laboratoriemålingerne og gademålingerne er, at dieselspektret på gaden topper omkring 20 nm, mens det topper omkring 50-60 nm for de to busser. Dette hænger formentlig sammen med den hurtige fortynding og afkøling på gaden.



Figur 5. Gennemsnitligt partikelspektrum (med fordeling på kilder) målt på Albanigade i Odense i perioden 3.-20. maj 1999

³ Rapporten over luftkvalitetsmålingerne kan ses i helhed på www.fstyr.dk



Figur 6. Gennemsnitlig ugevariation (med fordeling på kilder) af den totale partikelkoncentration målt på Albanigade i perioden 3.-20. maj 1999