

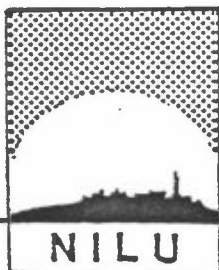
NILU OR : 50/83
(rev.utg.)
REFERANSE: 0-8224
DATO : NOVEMBER 1984

FORPROSJEKT:
MÅLINGER AV UTSLIPP AV SOT OG
ANDRE PARTIKLER FRA PERSONBILER OG
LETTE VAREBILER

Steinar Larssen
Jost Heintzenberg*

Utført etter oppdrag fra
Statens forurensningstilsyn

*Stockholms Universitet
Meteorologiska Institutionen
S-106 91 Stockholm, Sverige



NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING

Postboks 130 - 2001 Lillestrøm

NILU OR : 50/83
(rev.utg.)
REFERANSE: 0-8224
DATO : NOVEMBER 1984

FORPROSJEKT:
MÅLINGER AV UTSLIPP AV SOT OG
ANDRE PARTIKLER FRA PERSONBILER OG
LETTE VAREBILER

Steinar Larssen
Jost Heintzenberg*

Utført etter oppdrag fra
Statens forurensningstilsyn

*Stockholms Universitet
Meteorologiska Institutionen
S-106 91 Stockholm, Sverige

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM
NORGE

ISBN 82-7247-420-4

FORORD

Institutt for forbrenningsmotorer og marint maskineri (IFMM) ved NTH utførte i 1982 et prosjekt for Statens forurensnings-tilsyn (SFT), der partikkelutslippet fra et antall dieseldrevne og bensindrevne kjøretøy ble målt etter standard metoder for utslippsmålinger (ECE 15-03 og ECE 15-04). I forbindelse med dette prosjektet fikk Norsk institutt for luftforskning (NILU) i oppdrag å ta prøver for analyse av partiklenes svertningsgrad. Prøvene ble forutsatt tatt med samme type utstyr, og analysen forutsatt utført etter samme prosedyre som NILU benytter til sotmålinger av partikler i uteluft. Resultater fra slike målinger gjør det mulig å estimere det bidraget som sotutslippet fra bensin- og dieseldrevne kjøretøy gir til sotinnholdet i partikler i uteluft, slik det bestemmes rutinemessig med den standardiserte måle-metode (OECD-metoden).

I tillegg ble det tatt prøver med en annen type utstyr som egner seg for andre metoder for analyse av partiklenes sotinnhold. Dette prosjektet ga en interessant mulighet til å sammenligne ulike analysemetoder for sot på filter.

NILUs prøvetakingsutstyr ble montert av NILU-personell, mens prøvene ble kjørt av personell ved IFMM. Prøvene ble kjørt i tiden mai-juli 1982.

Vi vil takke siv.ing. Øyvind Melhus ved IFMM for hans hjelp under prøvetakingen, og for diskusjoner i forbindelse med tolkingen av resultater fra enkeltprøver.

Første utgave av rapporten (NILU rapport nr. OR 50/83) ble utgitt i september 1983. I denne reviderte utgaven er en del unøyaktigheter i første utgave rettet opp. Kopier av første utgave av rapporten bør makuleres.

SAMMENDRAG

Det er foretatt en undersøkelse av utslipp av partikler, sot og bly fra bensin- og dieseldrevne biler. Undersøkelsen ble foretatt i samarbeid med Institutt for forbrenningsmotorer og marint maskineri (IFMM) ved NTH i Trondheim.

Prøveserien ved IFMM omfattet tilsammen 11 bensindrevne lette kjøretøy (hvorav 2 lette varevogner) og 22 dieseldrevne lette kjøretøy (hvorav 7 lette varevogner). Prøver av partikkelutslipp for analyse ved NILU ble tatt fra 6 av bensinbilene og 17 av dieselbilene. Eldre biler var underrepresentert i utvalget av testbiler.

Analysen viste at dieselbilene hadde et vesentlig større sotutslipp enn bensinbiler. Gjennomsnittlig sotutslipp (g/km) fra de testede dieseldrevne personbiler var ca 150 ganger større enn fra bensinbilene. (En har da sett bort fra én av de syv testede bensinbiler, som hadde et sotutslipp nesten like stort som gjennomsnittet av dieselbilene).

Antall testede biler var for lite til at denne faktoren kan anses generell for norsk bilpark. Spesielt var variasjonen i sotutslippet fra de få bensinbilene svært stor.

Undersøkelsen ga imidlertid grunnlag for å sette opp første estimater av utslippsfaktorer for sot (elementært karbon) fra de ulike bilklasser. Disse estimater er sannsynligvis underestimater av virkelige utslipp fra bilparken, på grunn av underrepresentasjonen av eldre biler.

Undersøkelsen gir også et bedre grunnlag enn man har hatt før til å vurdere de bidrag partikkelutslipp fra dieselbiler og bensinbiler gir til de sotmålinger som foretas rutinemessig, med OECD-metoden, på prøver fra uteluft innen det Statlige overvåkingsprogrammet for forurensning. Således tyder

målingene i denne undersøkelsen på at OECD-metoden overvurderer partikkelutslippet fra dieselbiler med en faktor på mellom ca. 2 og ca. 4.

OECD-metoden kan, etter kalibrering, benyttes til å bestemme innholdet av elementært karbon (EC) i partikkelprøver, bl a i prøver fra eksos fra diesel- og bensinbiler. I rapporten er presentert den kalibreringskurve for EC som analyseresultatene gir grunnlag for.

Hovedkomponenten i partikkelutslipp fra dieselbiler er EC (i gjennomsnitt ca 65% av massen). EC og bly utgjorde i gjennomsnitt bare ca 10-15% av partikkelutslippet fra de 6 bensinbilene som ble testet. Innholdet av bly i partikkelutslippet fra bensinbilene utgjorde 5-25% av det bly som ble tilført motoren i bensinen.

EC-innholdet i utslippsprøvene ble målt med 3 forskjellige optiske metoder, bl.a. OECD-metoden. Dette ga grunnlag for en sammenligning av metodene.

INNHOOLD

	Side
FORORD	3
SAMMENDRAG	5
1 METODIKK	9
1.1 Utslippsprøver	9
1.2 Partikkelprøvetaking	9
1.3 Analyser	12
2 RESULTATER	14
2.1 Utslippsfaktorer for partikler	17
2.2 Partiklenes svertningsgrad	18
2.3 Partiklenes innhold av elementært karbon og bly	19
2.4 Utslippsfaktorer for elementært karbon	22
2.5 Resultater fra den fotoakustiske metoden	23
2.6 Sotmengde (EC) i dieseleksos bestemt ved hjelp av reflektometrisk metode	24
3 KONKLUSJONER	25
4 REFERANSER	27

MÅLINGER AV UTSLIPP AV SOT OG ANDRE PARTIKLER FRA PERSONBILER OG LETTE VAREBILER

1 METODIKK

1.1 Utslippsprøver

Partikkelprøver fra bilutslipp ble tatt fra IFMM's uttynnings-tunnel. Bilene ble kjørt på et chassisdynamometer av type SCHENK 364/230/V100. Eksosutslippet ble tynnet med luft i en uttynnings-tunnel med diameter 300 mm og samlet lengde ca 5 m. Systemet er beskrevet i (1). Uttynningsgraden varierte fra prøve til prøve, men lå oftest innenfor 5-10. Fortynnings-luften ble tatt fra testhallen og filtrert. Temperaturen i uttynnings-tunnelen under testene var følgende:

- bensindrevne biler: 20-30⁰ C
- diesel personbiler: 20-50⁰ C
- diesel varevogner : 25-60⁰ C

Lufttrykket i tunnelen var ca 1% over atmosfæretrykket.

Bilene ble for test av partikkelutslipp kjørt gjennom test-syklus ECE 15-04, som sammen med kriterier for utvelgelse av testbiler er beskrevet i (2).

1.2 Partikkelprøvetaking

Ved siden av IFMMs egen prøvetaking ble det for NILU tatt prøver av partikkelutslippet med to ulike prøvetakere (tabell 1). Prøvene ble tatt ved utløpsenden av tunnelen gjennom 1/2" sonder som pekte motstrøms i gasstrømmen, som skissert i figur 1.

Tabell 1: Prøvetakere og filtertyper anvendt.

Prøvetaker	Type	Filtertyper
NILU automatiske luftprøvetaker	FK	Whatman 40 Cellulosefiber
NILU automatiske luftprøvetaker	EK	Nuclepore, porestørrelse 0.4 μm

Prøvetakertype FK med filtermateriale Whatman 40 er identisk med det som anvendes av NILU til sot-analyser i uteluft etter OECD-metoden (se kapittel 1.3).

Prøvetaker type EK ble anvendt for å få partikkelprøver på et filtermateriale (Nuclepore, 0.4 μm porestørrelse) som egnet seg både for gravimetrisk bestemmelse av partikkelmengde (vekt), samt partiklernes innhold av elementært karbon.

Begge disse filtertypene er sannsynligvis noe mindre enn 100% effektive i oppsamling av primærpartikler i bileksos, men analysemetodene satte sine begrensninger i valg av materiale. Glassfiberfiltre, som vel må regnes å være av de mest effektive filtertyper, egner seg ikke for karbonanalyser.

Prøvevolumet måtte avpasses etter partikkelkonsentrasjonen i bileksosen og filtrets kapasitet til å filtrere uten å gå tett.

Whatman-filtrene for sotanalyser ble kjørt med ca 15 liter luft pr prøve i starten. Dette førte til svært svarte filtre, slik at prøvemengden ble redusert til ca 8 liter pr prøve etter at de 6 første prøvene (16, 17, 18, 19, 21 og 22) var kjørt. Dette tilsvarer lufthastigheter i prøvetakeren fra ca 1.2 til ca 0.6 l/min (tilsvarende 2-4 cm/s gjennom filterflaten). Ved prøvetaking i uteluft er lufthastigheten ca 2.5 l/min. Lufthastigheten kan påvirke filtrets utskillingsgrad for partikler, og kan også påvirke hvor dypt partiklene avsettes i filtret. Det er imidlertid ikke klarlagt om denne

forskjell i lufthastigheten har betydning når det gjelder den respons som partikkelprøven på filtret gir i den etterfølgende svertningsanalyse (kapittel 1.3).

Nucleopore-filtrene for vektbestemmelser og for analyse av karbon og bly ble til å begynne med (de første 3 prøver) kjørt med ca 50 liter luft pr prøve. Dette ble etter 3 prøver redusert til ca 30 liter pr prøve, og ytterligere til ca 20 liter pr prøve mot slutten av programmet (tilsvarende 6-14 cm/s gjennom filterflaten). Prøvene fra bensinbiler fikk noe større luftvolum enn prøvene fra dieserbiler.

Tabell 2 viser prøvevolumene for de enkelte prøver. Prøvenumrene er identisk med de som ble benyttet av IFMM under testingen. Det henvises til tabell 3 når det gjelder hvilke bilmodeller som ble testet.

Tabell 2: Prøvevolum for de enkelte tester (liter).

Prøvenr.	Prøvetaker		Bilklasse
	FK	EK	
13B	-	45.1	Diesel
14B	-	48.1	"
15B	-	55.1	Bensin
16B	-	34.6	"
17B	10.7	31.7	Diesel
18B	11.8	28.3	"
19B	11.3	27.5	"
20B	7.2	20.6	"
21B	9.9	36.8	"
22B	11.6	33.5	"
23B	7.9	19.7	"
24B	-	21.0	"
25B	7.7	27.4	Bensin
26B	7.3	42.5	"
28B	7.6	21.1	Diesel
29B	7.3	20.4	"
30B	7.4	12.0	"
31B	6.5	16.8	"
32B	7.4	18.1	"
33B	7.0	20.1	"
34B	7.0	20.0	"
I	7.4	22.5	Bensin
II	7.7	37.0	"

Denne endringen i prøvevolum fra prøve til prøve, og dermed endring i lufthastigheten i sondeinntakene i tunnelen, førte til at avvikene fra iso-kinetiske prøvetakingsforhold i sonden varierte fra prøve til prøve. Fordi den overveiende del av partiklene i bileksos er mindre enn 1 μm , er dette avviket fra iso-kinetiske forhold av liten betydning for prøvetakings-effektiviteten dvs. at partikkelkonsentrasjonen i luften som suges inn i og gjennom sondene avviker svært lite fra konsentrasjonen i luften i uttynningstunnelen som passerer sondene.

1.3 Analyser

Reflektometrisk partikkelbestemmelse

Eksospartiklenes svertning av filteroverflaten ble bestemt reflektometrisk, dvs. ved å belyse filtret og måle reflektert lysintensitet fra filtret. Metoden er standardisert for måling av svertningsgraden på filterprøver av partikler i uteluft. Metoden ble opprinnelig standardisert i England, og senere adoptert av OECD (3). NILU benytter en modifisert form av metoden. Svertningsgraden omregnes til partikkelmengde ved hjelp av en standard kalibreringskurve som stammer fra prøvetaking i ulike europeiske byer på 60-tallet. Kurven blir i det følgende kalt OECD-kurven. Denne metoden reagerer først og fremst på innholdet av mørke, lysabsorberende partikler i prøven, de partikler vi kan kalle sot. Om sot-andelen i partikkelprøver er noenlunde konstant, kan metoden etter kalibrering benyttes til å anslå samlet partikkelmengde, og dette var filosofien bak OECD-kurven. Dersom sotandelen i partikkelprøver f.eks. endrer seg over tid, eller er forskjellig på forskjellige lokaliteter, faller brukbarheten av metoden til å gi samlet partikkelmengde sammen. Metoden kan imidlertid etter kalibrering benyttes til å gi sotinnholdet i partikkelprøver.

Sot-bestemmelse ved hjelp av fotoakustisk spektroskopi-måling

FK-filtrene ble også analysert ved hjelp av en metode der partiklenes evne til å absorbere lysenergi måles akustisk. Teknikken er beskrevet generelt i (4). I det eksperimentelle oppsett ved NILU var lyskilden en prosjektorlampe.

Det er de mørke sotpartiklene som absorberer lysenergi mest effektivt. Denne metoden er derfor også i første rekke en metode til å bestemme en partikkelprøves innhold av sot.

Vektbestemmelse

Vekten av partiklene på EK-filtrene ble bestemt ved at tara-vekten av filtret ble målt før prøvetaking, etter kondisjonering i ett døgn i et rom med konstant temperatur og luftfuktighet (20°C , 50% RF). Vekten av filter og partikkeldeposisjon ble bestemt etter prøvetaking, etter samme kondisjonering. Nettovekten av partiklene ble korrigert etter den vektendring en fant i gjennomsnitt på 3 blindfiltre, som fulgte samme prosedyre og forsendelser som prøvefiltrene. Filtrene ble veid 1-3 uker etter at selve utslippstesten ble foretatt.

Analyse av elementært karbon ved hjelp av sot-fotometer

En halvpart av alle Nuclepore-filtre gikk til analyse med sot-fotometer. Analysen foretas ved at partiklene suspenderes i ethylenklorid ved hjelp av ultralyd. Væske/partikkel-suspensjonen fylles i et kammer med sfærisk geometri, og absorpsjonen av lysenergi i partiklene måles ved å måle svekkelsen av lys transmittert gjennom suspensjonen. Metoden er beskrevet i (6). Metoden kalibreres ved hjelp av suspensjoner av innveide mengder av "carbon black", en kvalitet som består av partikler av diameter ca $0.08\ \mu\text{m}$, inneholdende 95% elementært karbon pluss 5% flyktig materiale. Materialet har en spesifikk

lysabsorpsjon på $9.68 \text{ m}^2/\text{g}$ ved en bølgelengde $\lambda=0.546 \text{ }\mu\text{m}$. Dette er nær den spesifikke absorpsjon for acetylen-sot.

Når resultatene er basert på kalibrering med "carbon black", gir resultatene fra denne analysen ekvivalentinnholdet av elementært karbon i partikkelprøven.

Blyanalyse

Nuclepore-filtrene ble delt i to. Den halvpart som gikk til bly-analyse ble utlaket i salpetersyre ved 80°C . Syreløsningen ble deretter analysert for blyinnhold ved atomabsorpsjons-spektrofotometri (5).

2 RESULTATER

Tabell 3 viser resultatene fra alle analyser. IFMMs målte partikkelutslipp (i g/km) er satt opp i første kolonne. I kolonne 2 og 3 er satt opp sammenlignbare tall for partikkelutslipp målt av IFMM og NILU. En har da gått ut fra partikkelvektene på IFMMs og NILUs filtre, og korrigert til samme prøveluftvolum. I kolonne 4 kommer partikkelkonsentrasjonen (i mg/m^3) i uttynningstunnelen, som målt av NILU. Videre kommer de øvrige analyseresultater fra filtrene. Til slutt i kolonne 11 er satt opp blyinnholdet i den bensin som de ulike bensinbiler benyttet.

Det er ikke utført analyser som kan gi bakgrunn for å beregne nøyaktigheten av de enkelte analyser. Enkelte parallel-analyser er utført. Disse framkommer på figurene.

Det er nødvendig med en spesiell kommentar til resultatene fra prøvene 18B og 19B. Det er inkonsistens mellom resultatene fra Whatman-filtrene og fra Nuclepore-filtrene. Nuclepore-filtrene har fått mye mindre stoff enn Whatman-filtrene. Det kan synes som EK-prøvetakeren ikke har vært i funksjon gjennom hele

prøven, eller det foreligger en kraftig lekkasje. En årsak til uoverensstemmelsen er ikke funnet. IFMM-resultater foreligger heller ikke fra disse prøvene. Testene 18B og 19B er derfor utelatt fra sammenligninger mellom resultater fra Whatman-filtrene på den ene side og Nuclepore-filtrene på den annen side. Ved sammenligning av analysemetoder på Whatman-filtrene for seg og Nuclepore-filtrene for seg, er imidlertid prøvene gyldige.

Tabell 3 viser også at de fleste bilene var modeller fra 1979-1982. Unntak var én bensinbil fra 1973 og to dieslbiler fra 1974. Gjennomsnittsalderen for bilene var derved betydelig lavere enn for norsk bilpark som helhet.

Tabell 3: Analyseresultater

Testnr./biltype	Utløpp IFM ¹ g/km	Partikkel- vekt på filter, NILU µg	Sammenlignbar part.mengde, mg IFM NILU	Part.kons. NILU mg/m ³	Reflektio- metrisk måling %	Akustisk emisjon V	Elem. karbon µg	Bly på filter i bensin µg	Bly i bensin g/l
<u>Bensin personbiler</u>									
168 Datsun 120Y (1978)	0.15	432	2.6	1.9	-	-	263	16.8	0.4
258 Ford Taunus 1.6 (1973)	0.44	892	7.5	4.9	88	80	17.2	28.0	0.30
268 Opel Kadett (1981)	0.16	358	2.8	1.3	99	4	1.0	8.1	0.15
II Volvo 245 GLE	-	64	-	-	99	5	0.61	6.5	0.4
I Volvo 245 turbo	-	248	-	-	98	10	0.62	22.4	0.4
<u>Bensin lett varevogn</u>									
158 Ford Transit (1980)	0.018	114	0.3	0.33	-	-	4.35	27.8	0.4
<u>Diesel personbiler</u>									
148 Audi 100 SD (1979)	0.35	1130	5.9	3.6	-	-	499	-	-
178 Mercedes Benz 300 TQ (1979)	0.44	863	7.8	4.4	14	1410	619	-	-
188 VW Passat Cd (1981)	-	327	-	~1.8	24	1270	742	-	-
198 VW Golf 0 ₃	-	345	-	~2.0	22	1340	282	-	-
208 Mercedes Benz 2200 (1974)	0.68	958	10.9	6.9	20	1340	283	-	-
218 Peugeot 505 SRD (1982)	0.29	645	4.0	2.8	30	1020	77	0.24	-
228 Mercedes Benz 2000 (1981)	0.47	1040	7.8	4.7	14	1730	86	-	-
238 Datsun Bluebird 2.0GL (1982)	0.18	224	3.1	1.8	75	240	1023	-	-
248 Datsun Laurel 2.80 (1981)	0.23	349	3.9	2.5	-	-	78	-	-
288 Fiat Ritmo 0 (1982)	0.20	309	3.6	2.4	61	375	132	-	-
298 Mitsubishi Galant 2.8 Turbo 0 (1982)	0.40	332	6.6	2.4	54	540	144	0.48	-
318 Toyota Cressida DX Diesel (1982)	0.25	244	4.1	1.9	60	420	362	-	-
<u>Diesel lette varevogn</u>									
138 Mercedes Benz 3070 (1980)	0.98	3173	18.0	11.8	-	-	2033	-	-
328 Toyota Hi-ace (1982)	0.39	425	6.4	3.5	56	480	2497	-	-
308 Ford Transit 1300 (1974)	0.54	414	9.0	5.3	54	500	87	-	-
338 Toyota Hiace Diesel (1982)	0.30	305	5.0	2.3	52	600	271	-	-
348 Datsun Urban Diesel (1982)	0.52	759	8.2	5.5	22	1260	269	-	-

1) Luftstrømmen gjennom Nuclepore-filtret sank kraftig i løpet av testen.

2) Estimert verdi ut fra en forlenget OECD-kurve.

3) Det er inkonsistens mellom resultatene fra Nuclepore-filtrene og Whatman-filtrene fra disse testene.

2.1 Utslippsfaktorer for partikler

IFMMs målte utslippsfaktorer er satt opp i tabell 4. Tabellen viser at det var stor spredning i partikkelutslippet innen de enkelte bilklasser. Spredningen var vesentlig større blant bensinbilene enn blant diesebilene.

Tabell 4: IFMMs målte partikkelutslippsfaktorer for ulike biltyper.

Bilklasse	Midlere utslippsfaktor g/km	Total variasjon g/km	Antall biler
Bensin personbiler	0.12	0.015-0.44	7
Bensin lette varebiler	0.08	0.015-0.17	2
Diesel personbiler	0.28	0.17-0.68	16
Diesel lette varebiler	0.60	0.30-0.98	7

Diesel personbiler hadde i gjennomsnitt et partikkelutslipp på vel det dobbelte av utslippet fra bensin personbiler, mens tilsvarende forhold for lette varebiler var ca 7. Dette siste forholdstallet er mindre signifikant, fordi bare to bensin varebiler ble testet.

NILUs vektanalyser fra Nuclepore-filtrene kan benyttes til sammenligning med IFMMs målinger. I figur 2 er plottet sammenlignbare tall for partikkelutslippet, målt av IFMM og av NILU (kolonnene 3 og 4 i tabell 3).

Figuren viser at det er god sammenheng (korrelasjonskoeffisient 0.979) mellom IFMMs og NILUs resultater. NILUs tall ligger imidlertid lavere, på ca. 65% av IFMMs tall. Sannsynlige årsaker kan være ulik filtereffektivitet (IFMM benyttet glassfiberfiltre, NILU Nuclepore 0.4 μm) eller systematiske feil i luftvolum-måling eller vektanalyse.

Det er grunn til å søke å klarlegge årsaken(e) til avviket.

For test 29B (Mitsubishi Galant 2.8 Turbo D) var avviket vesentlig større enn for de øvrige.

I den videre tekst fram til kapittel 3 (Konklusjoner) er det alltid NILUs vektanalyse det refereres til når en omtaler vekten av partiklene.

2.2 Partiklenes svertningsgrad

I figur 3 er plottet refleksjonsverdier (fra den reflektometriske analyse av Whatman-filtrene) mot partikkelvekt på Nucleporefiltrene, etter korreksjon til samme luftvolum. Høy refleksjonsverdi (henimot 100%) angir lite sotinnhold på filterene.

Forskjellen mellom dieserbiler og bensinbiler trer tydelig fram. Bortsett fra test 268 (Datsun 120Y, 1978) var svertningen på bensinbil-filtrene knapt merkbar.

OECD-kurven er også plottet inn på figuren. Alle punktene ligger over, til dels høyt over, OECD-kurven. Partikkelutslippet fra dieserbiler sverter altså vesentlig mer enn de partikler som lå til grunn for OECD-kurven, dvs. partikler i luft fra europeiske byer på 60-tallet. En kan ikke ut fra denne figuren si om det samme er tilfelle med utslippet fra bensinbiler.

I figur 4 er de partikkelmengder en kan beregne fra refleksjonsverdiene og OECD-kurven plottet mot veidd partikkelmengde. Punktene for de prøvene som har refleksjonsverdi mindre enn 60% er satt i parentes, fordi den opprinnelige OECD-kurve bare gjelder for området 100-60% refleksjon. Kurven er ekstrapolert til lavere refleksjonsverdier, men verdiene blir da usikre.

Figuren viser at OECD-kurven overestimerer partikkelinnholdet i prøven vesentlig. Overestimatet er i gjennomsnitt en faktor

ca. 2 ved høye refleksjonsverdier (>60%) og ca. 4 ved lavere refleksjonsverdier (<60%).

Årsaken til at OECD-metoden overvurderer partikkelutslippet fra dieselmotorer ligger i at sotinnholdet i dieselavgass er høyt, vesentlig høyere enn sotinnholdet i støvet som OECD-kurven er basert på. Sot i dieselmotor kan sammenlignes med sot fra acetylen-flammer samt aktivt kull, som har en lysabsorpsjonskoeffisient på 10-15 m²/g. OECD-kurven svarer til en koeffisient vesentlig mindre enn dette, anslagsvis 1.5 m²/g stoff i prøven (7).

Den store spredningen i punktene på figuren antyder at sotinnholdet i eksospartiklene varierer mye fra bil til bil.

Figuren synes å antyde at dieselmotorer er delt i to grupper. Den ene har et vesentlig større partikkelutslipp enn den andre, og synes å sverte filtret svært mye mere. Den vesentlig økte svertningsgraden (og dermed vesentlig høyere beregnet partikkelutslipp) for gruppen med stort partikkelutslipp er trolig ikke reell, men skyldes sannsynligvis forhold ved den reflektometriske analysemetoden som inntreffer ved refleksjonsverdier en del lavere enn 60%. Figurene 5 og 8, der partikkelmengde beregnet fra OECD-kurven er plottet mot resultatene fra henholdsvis sotfotometer-målingene og den fotoakustiske målingen, underbygger dette. Også der avviker de høye partikkelverdiene fra linearitet.

2.3 Partiklernes innhold av elementært karbon og bly

Figur 6 viser sammenhengen mellom partikkelvekt og elementært karbon-innhold (EC-innhold) målt med sotfotometer-metoden.

Det er relativt stor spredning i resultatene. De to prøvene der sotfotometer-analysen er utført to ganger, antyder reproduserbarheten av den metoden.

Test 21B og 32B skiller seg spesielt ut fra de øvrige. Det er

forøvrig stor forskjell mellom diesel- og bensinutslipp, bortsett fra bensinbil 16B.

Tabell 5 gir en oversikt over EC-andelen i prosent av partikkelmengden fra de ulike bilklasser, basert på NILUs vektanalyse og sotfotometer-analysen.

Tabell 5: Andelen av elementært karbon i partikler i utslippet fra ulike bilklasser.

Biltype	Antall	Gjennomsnitt %	Var.område %
Dieseldrevne personbiler	12	62	12-109
Dieseldrevne lette varevogner	5	67	20- 91
Bensindrevne personbiler (ekskl. 16B)	4	0.85	0.25-1.9
Test 16B	1	61	-
Bensindrevne lette varevogner	1	3.8	-

EC-andelen i partikkelutslippet fra diesebilene var i gjennomsnitt ca 65%, med stor variasjon fra bil til bil. Det synes å være liten systematisk forskjell mellom personbiler og lette varevogner.

Når det gjelder bensinbiler skiller test 16B seg vesentlig ut fra de øvrige, med en EC-andel på ca 60%, altså omtrent som gjennomsnitt for dieserbiler.

For de øvrige 4 bensin personbiler var andelen i gjennomsnitt 0.85%, mens en bensin lett varevogn hadde 3.8% EC i partikkelutslippet.

Blyinnholdet i partiklene i utslippet fra bensinbilene er satt opp i tabell 6. Det varierte svært mye, fra 2.3% til 24.4%, i middel ca 9%. Bare en del av denne variasjonen kan tilskrives at bilene benyttet bensin med ulikt oktantal og dermed blyinnhold.

Tabell 6: Blyinnholdet i utslippet fra bensinbiler basert på analyse av bly på Nucleopore-filtrene.

Test nr	Biltype	Pb-utslipp		Bensin	
		mg/km	% vekt	Oktantall	Blyinnhold g/l
16B	Datsun 120Y(1978)	4.5	4.0	98	0.4
25B	Ford Taunus 1.6 (1973)	9.2	3.1	96	0.3
26B	Opel Kadett (1981)	1.8	2.3	92	0.15
I	Volvo 245 turbo	9.0	9.0	98	0.4
II	Volvo 245 GL	1.6	10.2	98	0.4
15B	Ford Transit (1980)	4.6	24.4	98	0.4
Middel for 98 oktan		4.9	11.9	98	0.4

Utslippsfaktoren for bly varierte mellom 1.7 mg/km og 9.3 mg/km. For de fire biler som brukte 98 oktan bensin varierte faktoren innenfor 1.6-9.0 mg/km (middelverdi 4.9 mg/km). Dette er 5-25%, i middel ca 12%, av det bly som tilføres motoren i bensinen. (Bensinforbruket ble ikke målt, men vi antar at det ikke skiller seg vesentlig fra 0.1 l/km i gjennomsnitt).

Blyinnholdet på partiklene på Whatman 40-filtrene (fra OECD-metoden) ble også analysert. Blymengden på disse filtre ga bly-utslippstall som lå ca 25% lavere enn det tabell 6 gir. Dette kan si noe om forskjellen i disse to filtertyper, når det gjelder oppsamlingseffektiviteten for slike partikler. Forskjellen kan imidlertid også ha andre årsaker.

Ved målinger av bly ved trafikkerte gater har NILU tidligere funnet at ca 35-40% av det bly som tilføres bilen med bensinen finnes igjen i svevestøvet ($d_p < 10-20 \mu\text{m}$) i luften i gaten (8). (Dette estimatet var basert på sammenligning mellom målte CO- og bly-konsentrasjoner i gater, og bruk av utslippsfaktor for CO som referanse). De øvrige 60-65% antas å være gassformig bly (ca 5-10%) og bly som avsettes i motoren, avgasssystemet og på bakken.

I utslippsprøvene det refereres til her, fant en derimot altså igjen bare ca 12% av blyet i bensinen. Dersom IFMMs utslipps-tall viser seg å være de korrekte (se kapittel 2.1), og regre-

sjonen for bly antas å være den samme som for partikler totalt, blir 12%-tallet korrigert opp til ca 19%.

Forskjellen mellom blyinnholdet i utslippsprøvene fra ECE-testen og blyinnholdet i støvprøver fra gateluft kan skyldes forskjellen i gjennomsnittlig kjørehastighet (ca 20 km/h for ECE-testen og ca 30-35 km/h for trafikken i bygater). Det er vist at instantant blyutslipp på små partikler øker med kjørehastighet (9). Et instantant blyutslipp på 10-20% ved lave hastigheter, som målt her, er også i kvalitativ overensstemmelse med data fra andre undersøkelser (9). Det er ønskelig med ytterligere undersøkelser av blyutslipp for å forbedre utslippsfaktorene på dette området.

2.4 Utslippsfaktorer for elementært karbon

Basert på IFMMs utslippstall for partikler (tabell 4) og resultatene fra sot-fotometer-analysen (tabell 5), kan en anslå følgende utslippstall for EC som gjelder for ECE test-syklus med kaldstart ved 20⁰ C:

Bensindrevne lette biler	:	1-8 mg EC/km
Dieseldrevne personbiler	:	200 mg EC/km
Dieseldrevne lette vare-		
vogner	:	400 mg EC/km

Diesalbiler har altså et flere hundre ganger større EC-utslipp enn tilsvarende bensinbiler.

En har da antatt at det finnes en viss andel bensinbiler med sot- utslipp som bilen i test 168. Den hadde et EC-utslipp på ca 90 mg/km. Om 1% av bensinbilene er sammenlignbare med denne, blir gjennomsnittsutslippet fra bensinbiler ca 2-4 mg EC/km, og 3% slike biler gir ca 4-8 mg EC/km fra bensinbiler i gjennomsnitt. De anslåtte utslippstall for EC må brukes med varsomhet. De er basert på et lite datamateriale. Et utvidet testprogram er nødvendig for å forbedre anslagene.

2.5 Resultater fra den fotoakustiske metoden

Den fotoakustiske metoden gir størst respons på svarte partikler, når synlig lys brukes som energikilde. I figur 7 er resultater fra den fotoakustiske metoden plottet mot resultater fra den reflektometriske metoden, begge analyser utført på Whatman 40-filtrene. Figuren viser god sammenheng mellom μV -verdiene og refleksjonsverdiene over hele området fra ca 15% til 100%. De ulike bilklasser faller alle inn på samme kurve.

I figur 8 er μV -verdiene plottet mot μg partikler, beregnet fra reflektometerverdiene etter OECD-kurven. Her er sammenhengen nokså nær lineær for lave verdier (tilsvarende reflektometerverdier større enn 60%). Dette tyder på at i dette området er metodene nær likeverdige, når det gjelder respons på partikler i utslipp fra bensin- eller dieselmotorer. Metoden bør derfor kunne erstatte OECD-metoden til bestemmelse av sotmengden på filtre.

I figur 9 er μV -verdiene fra den fotoakustiske analyse plottet mot samlet partikkelmengde. Her skiller diesel- og bensinbiler seg fra hverandre.

For dieselmotorer gir prøvematerialet grunn til å si at sammenhengen mellom μV -utslag i det akustiske fotometret og partikkelmassen er lineær. Spredningen rundt en regresjonslinje er såpass liten at den enkle fotoakustiske metoden vil kunne være brukbar til indirekte måling av partikkelutslipp fra dieselmotorer. Sammenhengen er lineær for partikkelutslipp fra ca 0.2 g/km til ca 0.7 g/km. Det vil være interessant å undersøke om det lineære området går videre til vesentlig høyere utslipps-tall, f.eks. fra tunge dieselmotorer.

Prøvematerialet fra bensinmotorer er for begrenset. Sannsynligvis vil variasjonen i EC-andel i partikkelutslipp fra bensinmotorer være for stor til at den foto-akustiske metoden, som

tilnærmet måler EC-utslippet, kan benyttes til indirekte måling av samlet partikkelutslipp fra bensinbiler.

I figur 10 er resultater fra den fotoakustiske metode plottet mot sotfotometer-metoden. Test 21B skiller seg ut. Bortsett fra denne er det god korrelasjon mellom de to metodene. Et større antall prøver ville sannsynligvis gi en tilnærmet lineær sammenheng mellom disse to metoder over området 0-2000 μV /0-1000 $\mu\text{g C}$.

2.6 Sotmengde (EC) i dieseleksos bestemt ved hjelp av reflektometrisk metode

Under kapittel 2.2 er beskrevet hvordan reflektometrisk metode sammen med OECD-kurven overvurderer partikkelutslippet fra dieseldrevne biler. Sammenligningen av OECD-metoden med fotoakustisk metode (figur 8) bekrefter imidlertid at OECD-metoden gir en respons på sotinnholdet i prøven som er lineær i området 50-100% refleksjon.

Ved å kalibrere refleksjonsverdier mot innhold av sot eller elementært karbon (EC) i prøven, kan den reflektometriske metode benyttes til enkel måling av sot eller EC.

I figur 11 er plottet samhørende verdier av refleksjonsverdi og elementært karbon for de 8 prøvene der refleksjonsverdien lå mellom 99% og 50%. Det er en rimelig god sammenheng for refleksjonsverdier over ca 55 - 60%. Ved lavere refleksjonsverdier gir EC-analysen (sot-fotometret) svært høye verdier, uten at refleksjonsmålingen gir tilsvarende utslag. Figur 7 og 8 viser at sammenhengen mellom refleksjonsmålingen og den fotoakustiske målingen er rimelig entydig og lineær.

Flere målinger er nødvendig for å komme fram til en representativ sammenheng mellom refleksjonsverdi og EC. Basert på de

få målinger en har er et foreløpig forslag til kalibreringskurve for EC stiplet på figur 11 (EC-kurve) for refleksjonsverdier mellom 100% og 60%. Kurven er gitt samme form som OECD-kurven, som også er tegnet inn i figuren.

Edwards et al. (11) har også utført en kalibrering av OECD-metoden for elementært karbon. Deres resultater skiller seg en del fra de presentert her.

Flere prøver er nødvendig for å bekrefte, evt justere denne foreslåtte sotkurven.

Bailey et.al. (10) har kalibrert OECD-metoden mot innholdet av totalt karbon i prøven for omgivelsesluft. Den resulterende kalibreringskurve er også antydnet på figur 11.

Forskjellen mellom denne og sot-kurven konstruert på basis av målingene i dette prosjektet, ligger i at bare en del av totalt karbon er sot (eller EC).

3 KONKLUSJONER

Prøvematerialet fra testene av partikkelutslipp ved IFMM tyder på at dieseldrevne personbiler har et vel dobbelt så stort partikkelutslipp som bensindrevne personbiler, regnet i g/km. For lette varebiler er forholdet en del større. NILUs tall for totalt partikkelutslipp fra bilene korrelerte svært godt med IFMMs tall, men NILUs tall lå ca 35% lavere. Årsaken(e) til dette bør avklares.

Utslipet av elementært karbon (EC) fra diesebilene i testen var vesentlig større enn fra bensinbilene. Pr. vektenhet partikler i utslippet var EC-utslippet fra diesebilene i middel 40-70 ganger større enn fra bensinbiler. (En har da sett bort fra én av syv bensinbiler som hadde et eksepsjonelt stort EC-utslipp). Om dette er representativt, blir derved utslippsfaktoren for EC (i g/km) fra diesel personbilene

100-200 ganger større enn fra bensin personbilene. For lette varevogner vil forholdstallet være enda en del større.

De følgende to avsnitt er basert på at NILUs tall for partikkelutslipp (vekt) er korrekte, og at det ikke er vesentlig forskjell mellom Whatman 40-filtre og Nuclepore 0.4 µm-filtre i oppsamlingseffektivitet for primærpartikler fra bileksos. Avklaring i disse spørsmål kan føre til at konklusjonene fra dette forprosjektet må korrigeres.

Ca 70% av partikkelutslippet (vekt) fra dieselmotorer var EC. I bensinbil-utslippet var EC-innholdet mye lavere, rundt 1-2%.

Prøvene fra bensinbilene tyder på at det kan være store variasjoner i EC-utslippet fra disse. En av de syv bensinbiler som ble testet hadde et EC-utslipp vesentlig større (ca 100 ganger større) enn de øvrige bensinbiler. Hvis norsk bilpark inneholder 2% bensinbiler med så høyt EC-utslipp, vil forholdstallet mellom utslippsfaktorene for EC fra diesel og bensin personbiler gå fra 100-200 ned til 30-70.

Et større antall prøver, spesielt fra eldre biler, er nødvendig for å gi utslippstall for EC som er representative for norsk bilpark.

På bakgrunn av dette materialet kan imidlertid følgende foreløpige utslippsfaktorer for EC foreslås for kjøreforhold tilsvarende ECE-syklusen (kaldstart ved 20⁰C):

	Estimerte utslippfaktorer for EC, mg/km
Bensindrevne personbiler og lette varebiler	1-8
Dieseldrevne personbiler	200
Dieseldrevne lette varebiler	400

Disse faktorene er basert på at IFMMs vektanalyse av partikkelene er korrekt. Dette er gjort for å få konsistens mellom partikkelutslippsfaktorene fra IFMM i tabell 4 og EC-utslippsfaktorene. En oppklaring av uoverensstemmelsen mellom IFMMs og NILUs vektanalyse kan føre til en justering av faktorene mot lavere tall. Utslippsfaktorene er videre usikre fordi en har et lite antall prøver, og variasjonen fra bil til bil er stor. Estimatene bør forbedres ved blant annet å gjøre utslippstester på flere biler. På grunn av at eldre biler var underrepresentert i utvalget av biler, er disse faktorene sannsynligvis et underestimat for bilparken som helhet.

Tre målemetoder for sot/EC ble benyttet i denne undersøkelsen: reflektometrisk metode (OECD-metoden), sotfotometer-metode og fotoakustisk metode. Det var svært god korrelasjon mellom resultatene fra den fotoakustiske metoden og den reflektometriske metoden. Sotfotometermetoden korrelerte også godt med den fotoakustiske metode. Den fotoakustiske målemetoden har en lineær respons til partikkelutslippet fra dieserbiler over et bredt område. Denne enkle metoden kan benyttes til å estimere partikkelutslippet fra dieserbiler uten å gå veien om gravimetrisk analyse.

OECD-metoden overestimerer partikkelutslippet fra dieserbiler med en faktor på mellom 2 og 4. Overestimatet skyldes at OECD-metoden er kalibrert med bystøv med en viss gjennomsnittlig lysabsorpsjonskoeffisient, mens partikler i dieseleksos i gjennomsnitt har en vesentlig sterkere lysabsorpsjon.

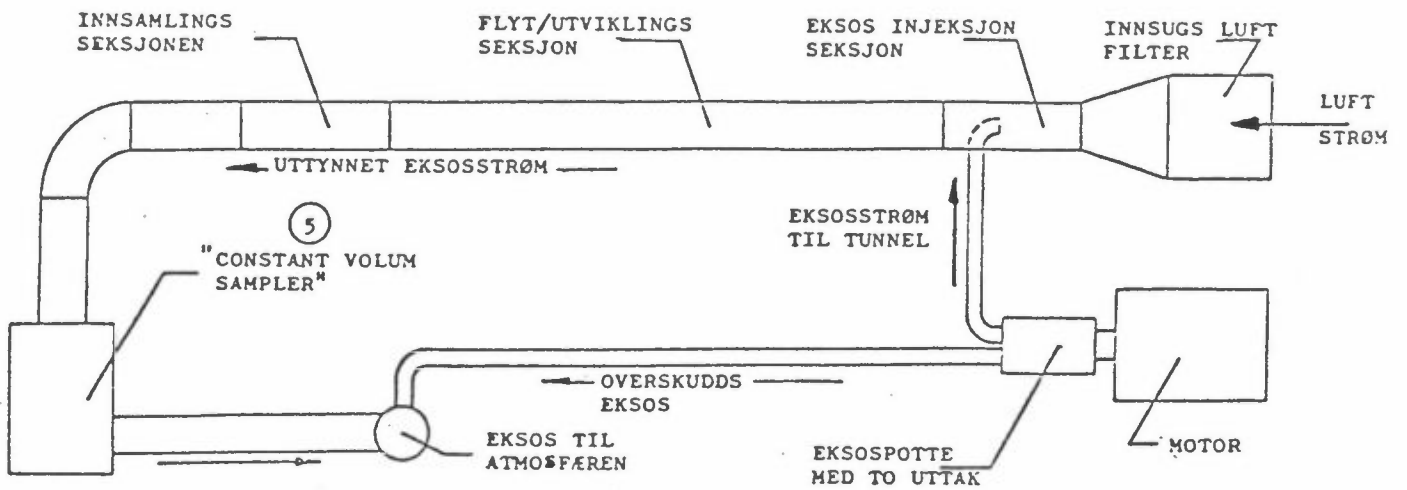
OECD-metoden kan, etter kalibrering, benyttes til å bestemme innholdet av sot (eller elementært karbon) i partikkelprøver på filter. En kalibreringskurve for dette er foreslått i denne rapporten. Kurven bør bekreftes, eventuelt justeres, ved at flere målinger av den type som er beskrevet her, blir utført.

Blyinnholdet i partikkelutslippet fra 6 testede bensinbiler var i middel ca 12%. Dette tilsvarte 5-15% av det bly som tilføres motoren med bensinen. Ytterligere målinger av utslipp av bly fra bensinbiler bør utføres for å forbedre utslippsfaktorene.

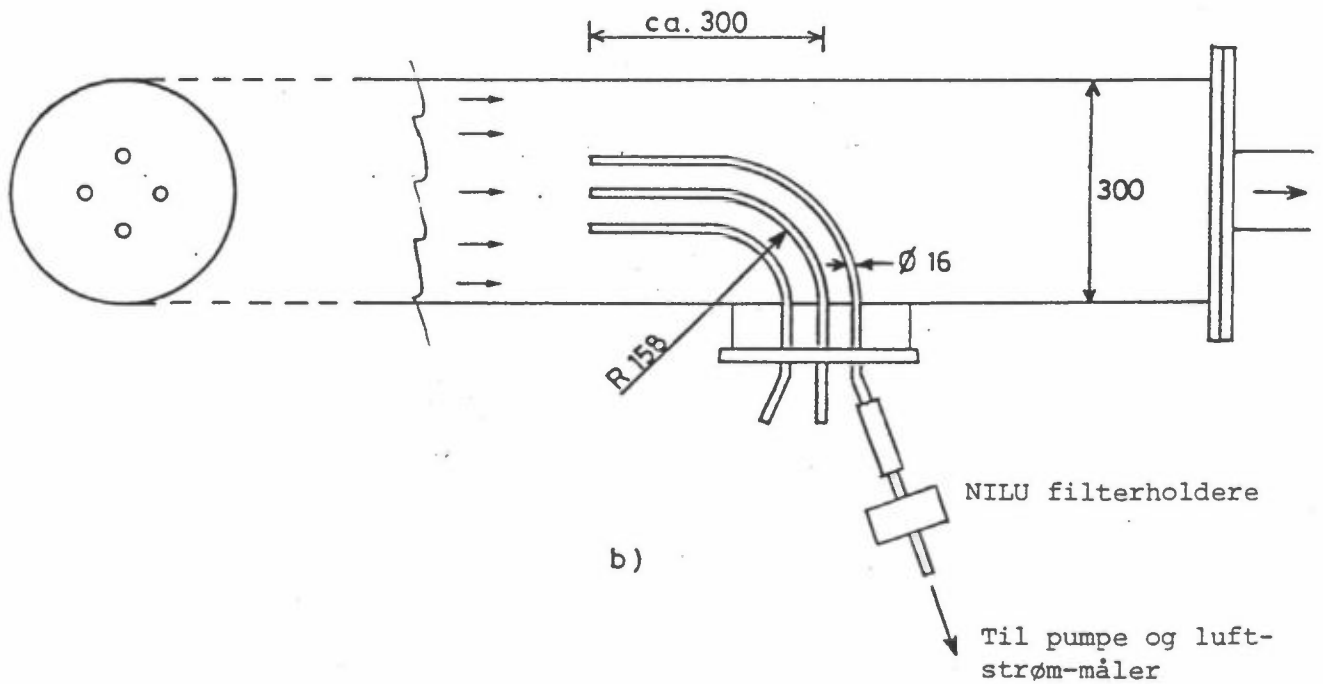
4 REFERANSER

- (1) Henriksen, A. Partikulær forurensning fra kjøretøymotorer med hovedvekt på dieselmotorer. Trondheim 1981. (Fagseksjon - forbrenningsmotorer ved institutt for forbrenningsmotorer og marint maskineri - NTH. Oppdragsrapport nr 8037-83.)
- (2) Melhus, Ø. Avgass- og partikkelutslipp fra person- og varebiler i den norske bilpark, spesielt fra biler med dieselmotorer. Trondheim, NTH, Institutt for forbrenningsmotorer og marint maskineri, 1982.
- (3) Organisation for Economic Co-operation and Development Methods of measuring air pollution. Paris 1964, Chapter two, Smoke.
- (4) Kanstad, S.O. Nordahl, P.-E. Fotoakustisk teknikk til støv- og aerosolanalyse. Oslo, SI, 1980. (SI-rapport 790806-1.)
- (5) Norges Standardiseringsforbund Luftundersøkelser. Uteluft. Bestemmelse av partikulært bly. Oslo 1981. (Norsk Standard NS 4854).
- (6) Heintzenberg, J. Size-segregated particulate elemental carbon and aerosol light-absorption at remote arctic locations. Atmos. Environ., 16, 2461-2469 (1982).
- (7) Semb, A. Utslippsfaktorer og målemetoder for sot og partikler.
I: Beregning av spredning og eksponeringsforhold for visse luftforurensningskomponenter i Oslo. Lillestrøm 1982. (NILU OR 8/82, Vedlegg I.)
- (8) Larssen, S. Beregning av forurensningskonsentrasjoner i sterkt trafikkerte gater.
I: Beregning av spredning og eksponeringsforhold for visse luftforurensningskomponenter i Oslo. Lillestrøm 1982. (NILU OR 8/82, Vedlegg G.)

- (9) Ganley, J.T.
Springer, G.S. Physical and chemical characteristics of particulates in Spark Ignition engine exhaust. Env. Sci. & Technol., 8, 340-347 (1974).
- (10) Bailey, D.L.R.
Clayton, P. The measurement of suspended particle and total carbon concentrations in the atmosphere using standard smoke shade methods. Atmos. Environ., 16, 2683-2690 (1982).
- (11) Edwards, J.D.
Ogren, J.A.
Weiss, R.E.
Charlson, R.J. Particulate air pollutants: A comparison of British "Smoke" with optical absorption coefficient and elemental carbon concentration. Atmos. Environ., 17, 2337-2341 (1983).

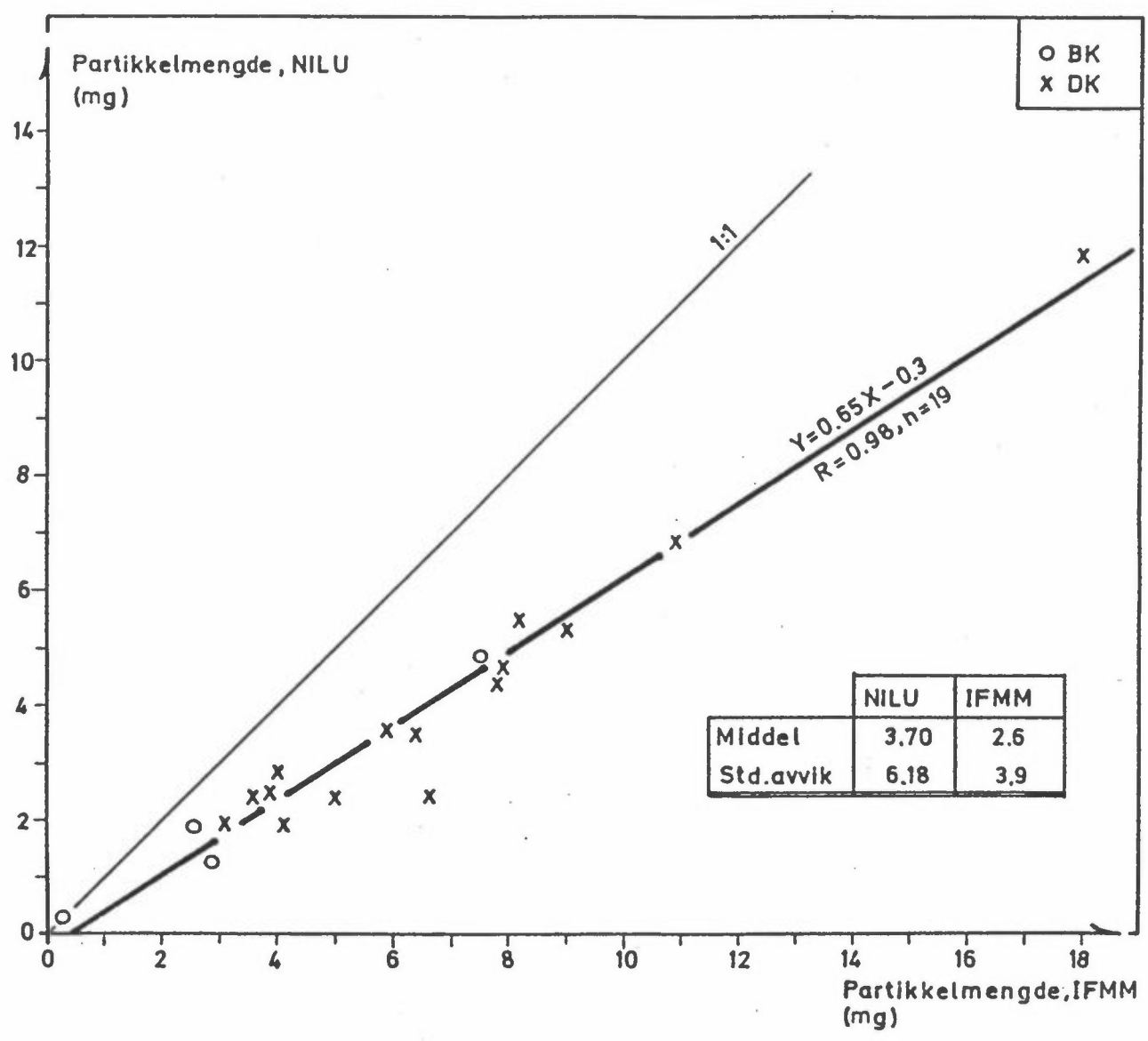


a)

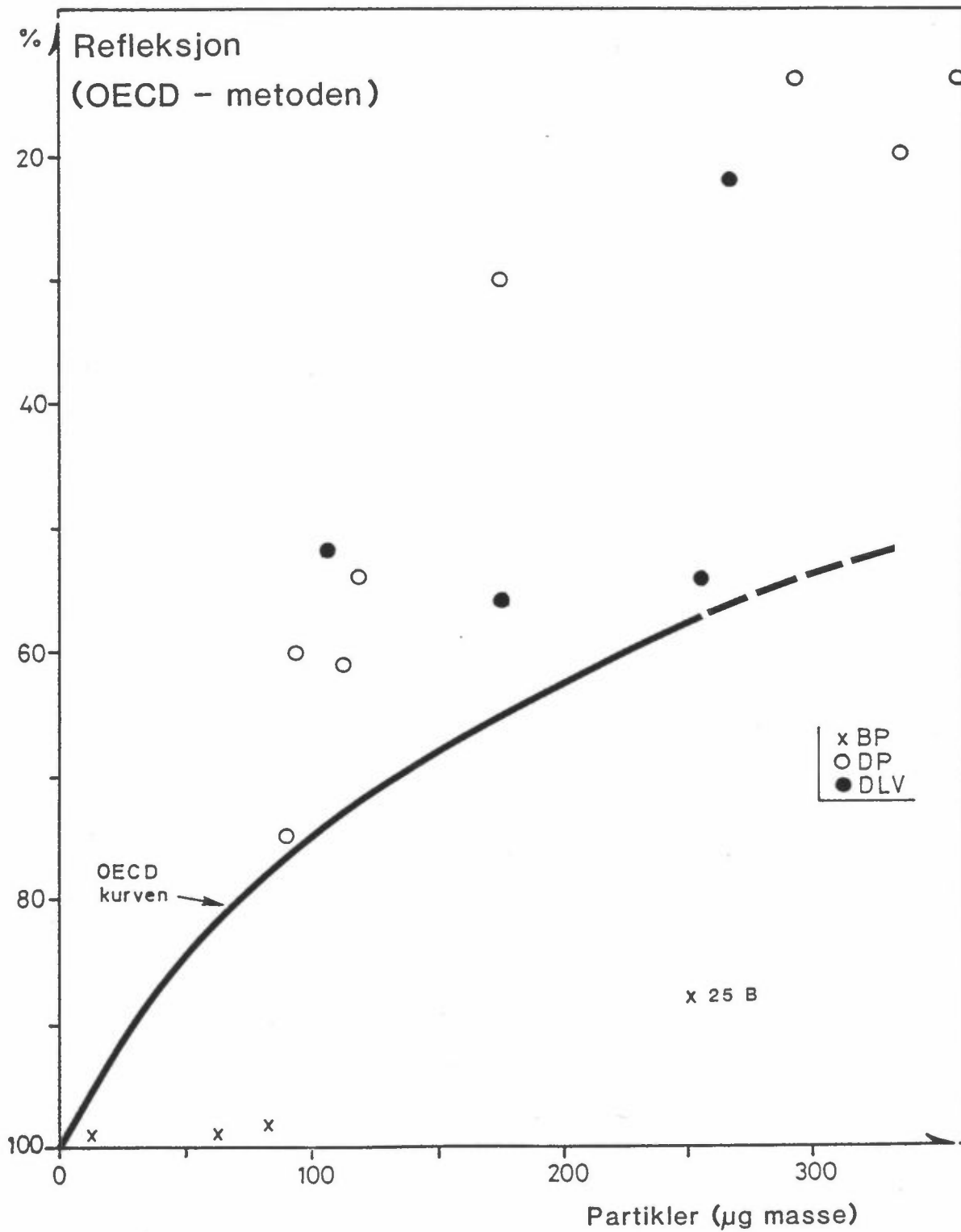


b)

Figur 1: Skisse av a) partikkelprøvetakingssystem (fra ref. 1) og b) innsamlingsseksjonen med plassering av NILUs filterbeholdere.



Figur 2: Sammenlignbare resultater av partikkelutslipp målt av IFMM og NILU.

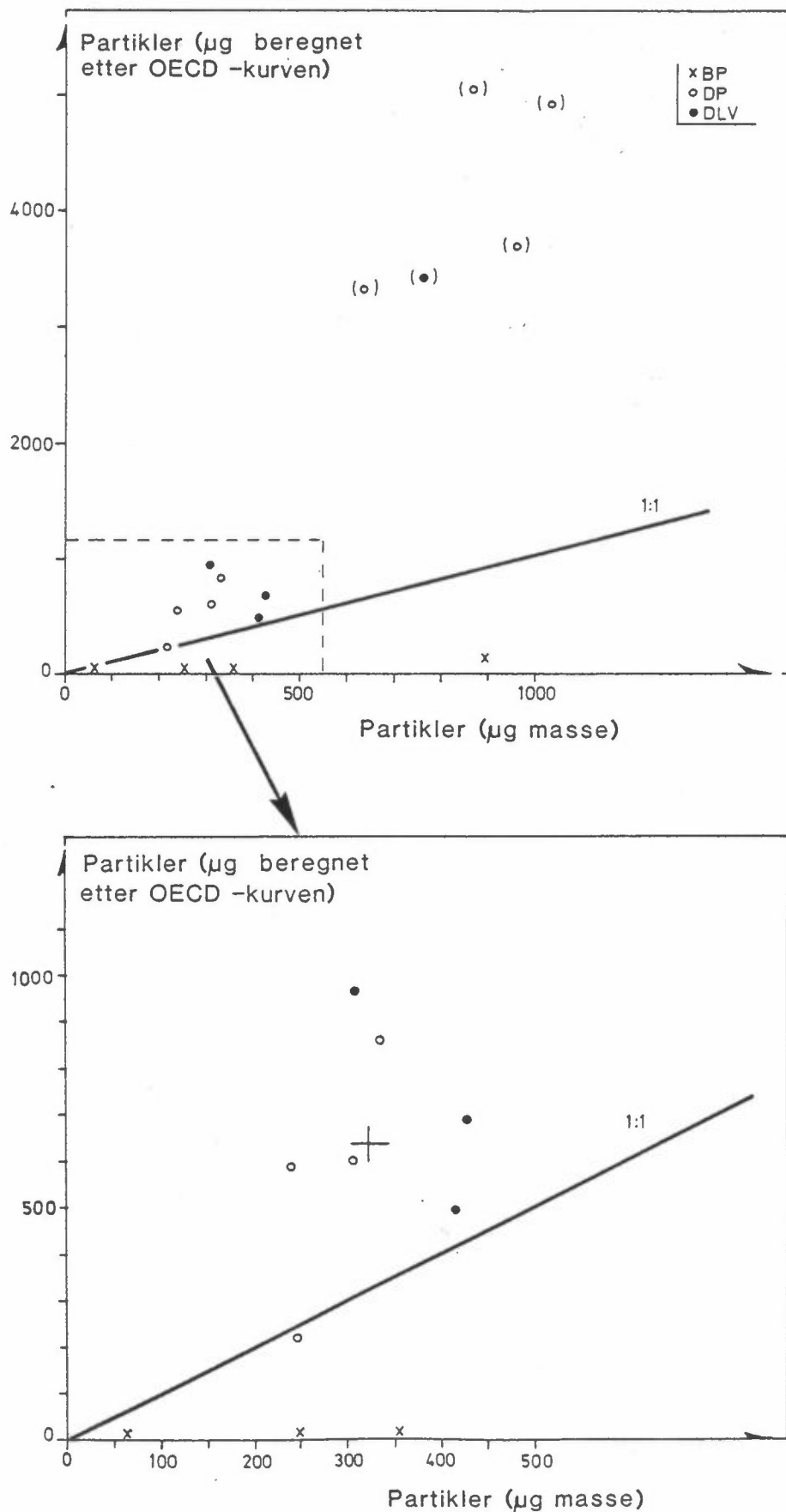


Figur 3: Partikkelutslippets svertningsgrad (reflektometrisk metode) som funksjon av partikkelmasse og bilklasse.

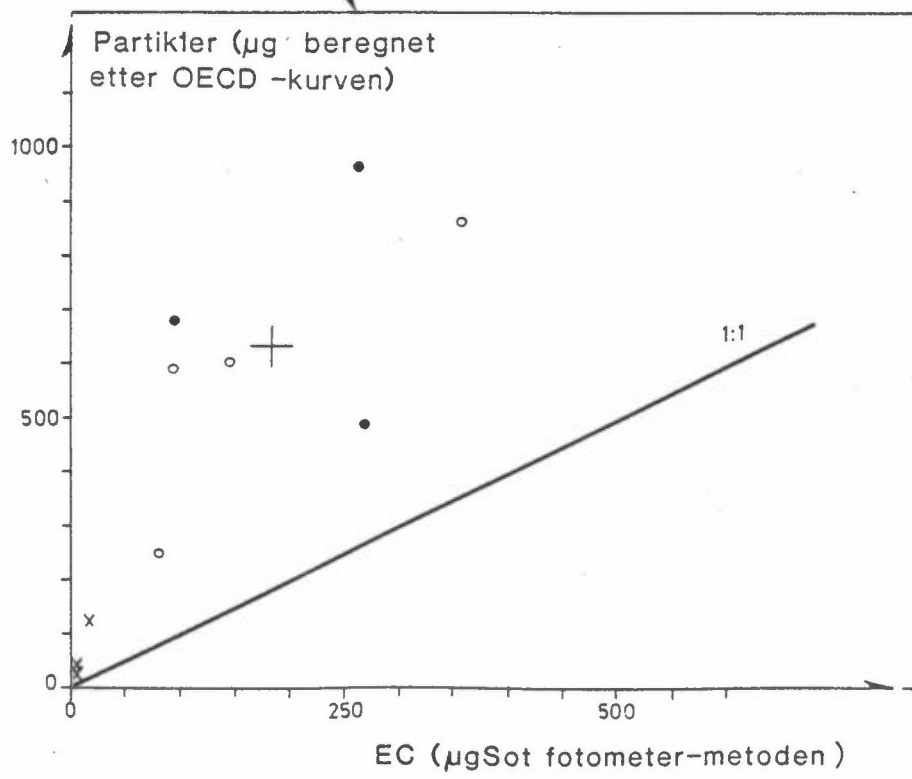
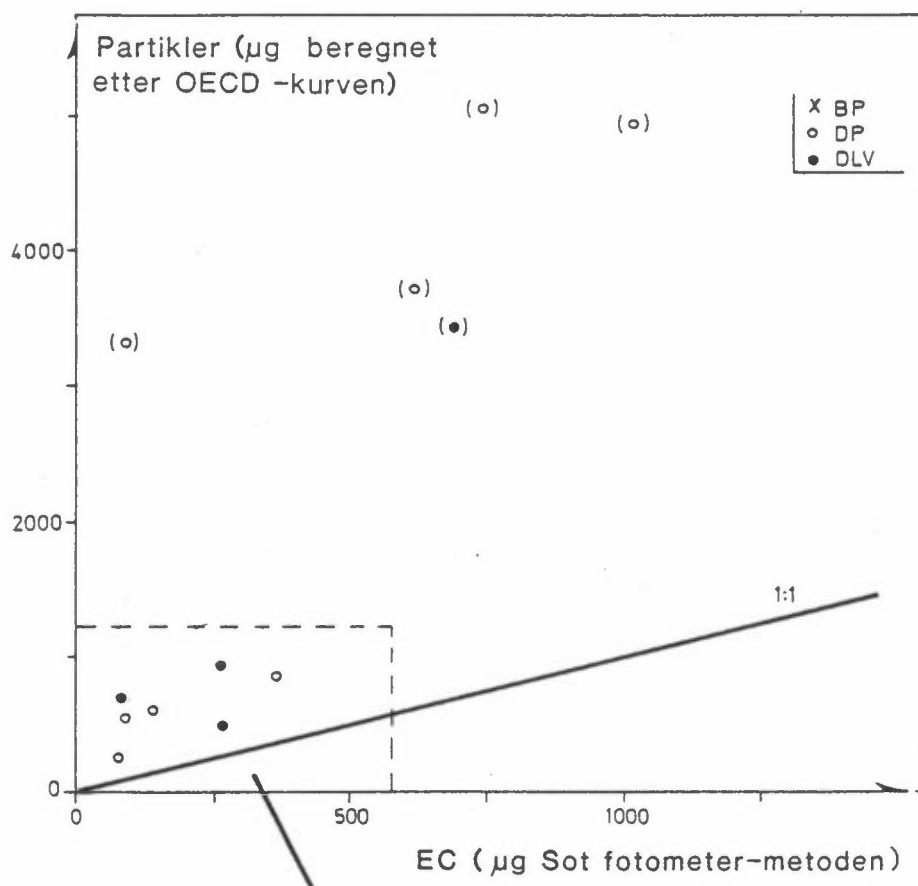
BP - bensindrevne personbiler

DP - dieseldrevne personbiler

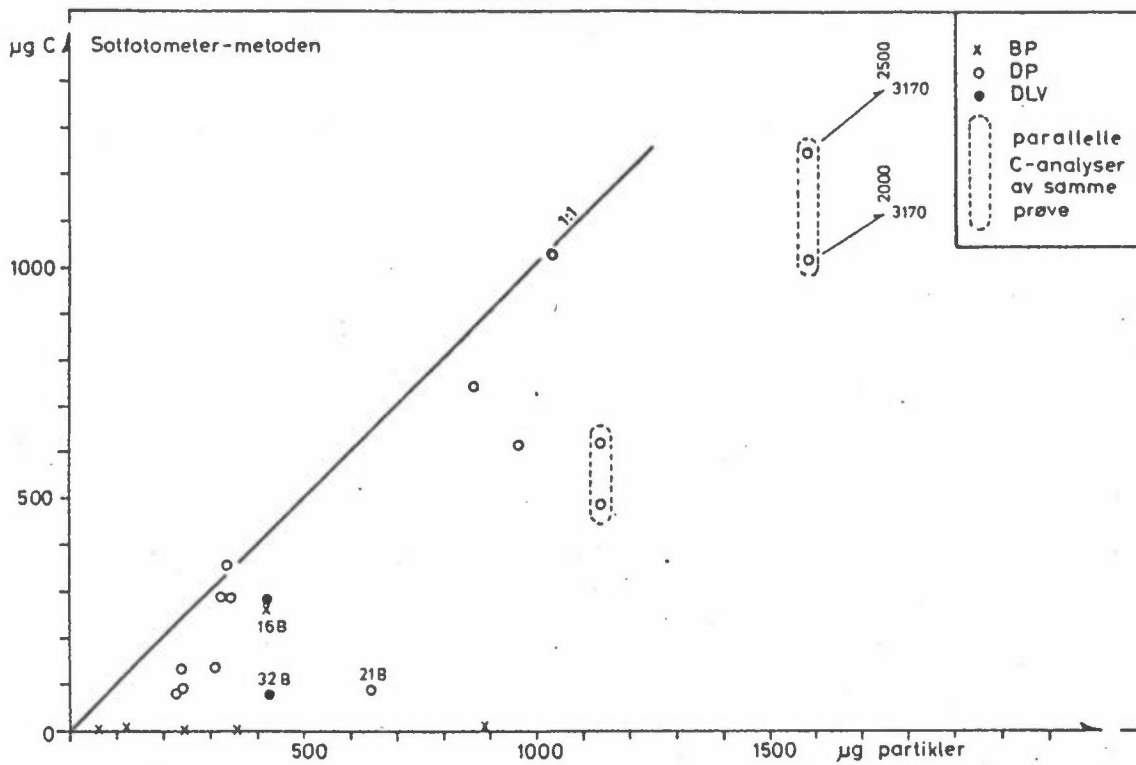
DLV - dieseldrevne lette varevogner.



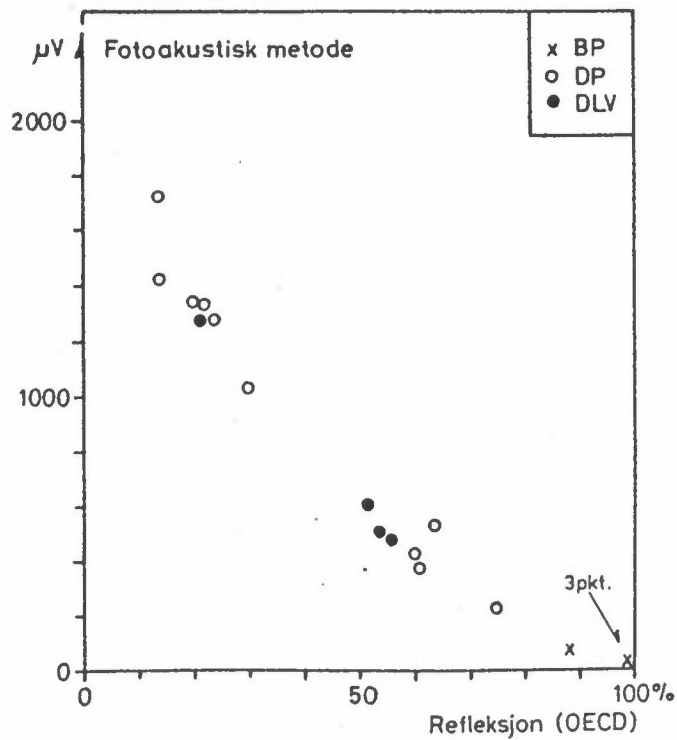
Figur 4: Sotutslipp (beregnet etter OECD-metoden) som funksjon av partikkelmasse og bilklasse.
+ middelerdi for diesalbiler.



Figur 5: Sotfotometer-metoden sammenlignet med reflektometrisk metode.

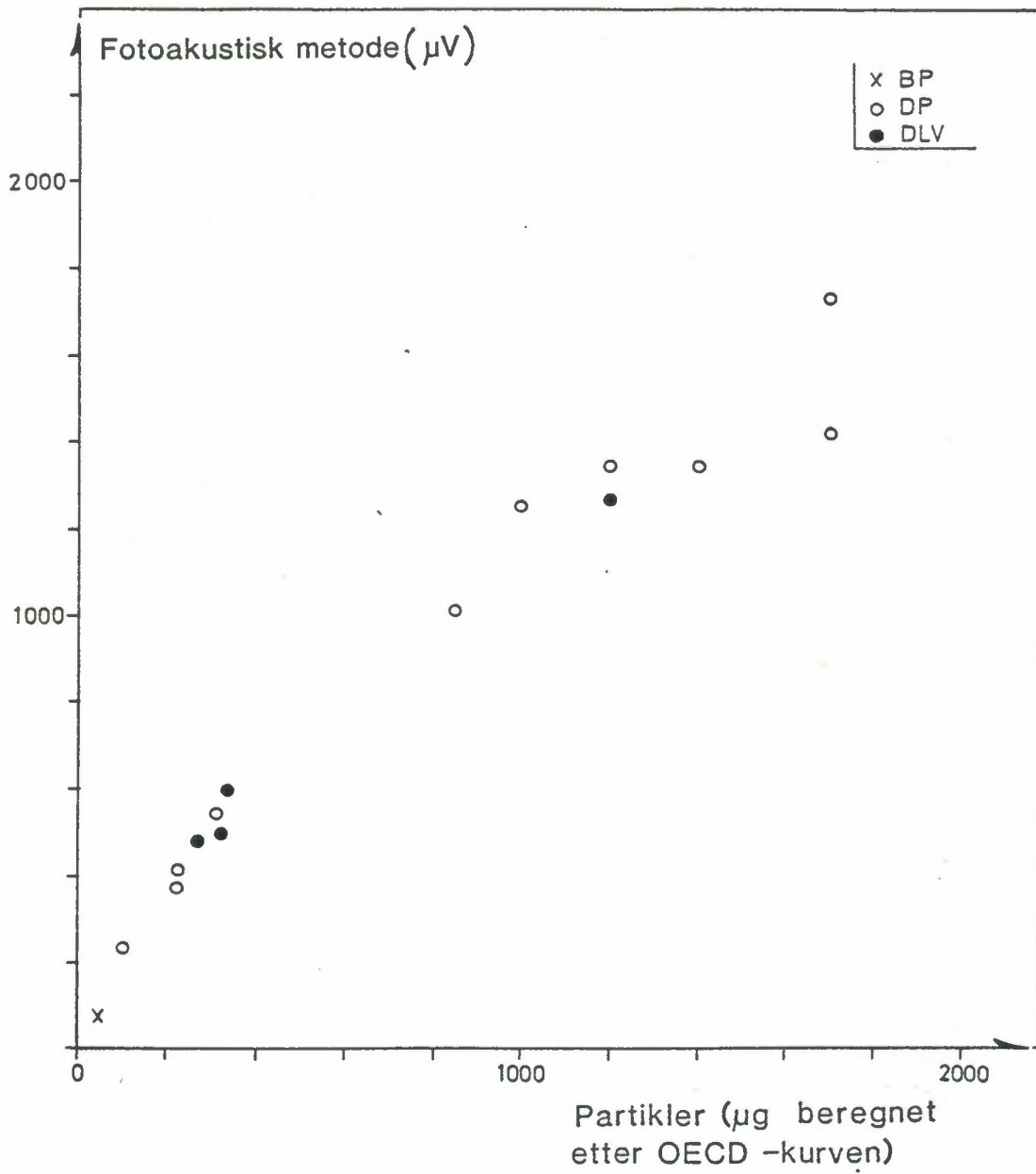


Figur 6: Partiklernes innhold av karbon, analysert med solfotometer (5) plottet mot samlet partikkelmengde. (Analyser utført på Nuclepore-filtre).

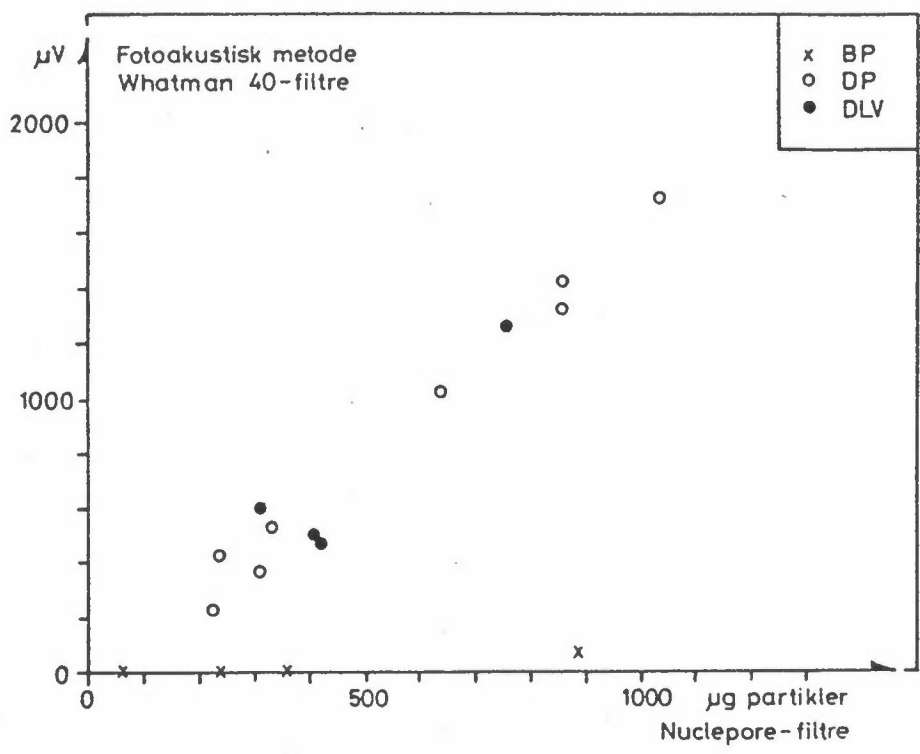


Figur 7: Sammenhengen mellom fotoakustisk metode og den reflektometriske metode. (Analyser på Whatman 40-filtre).

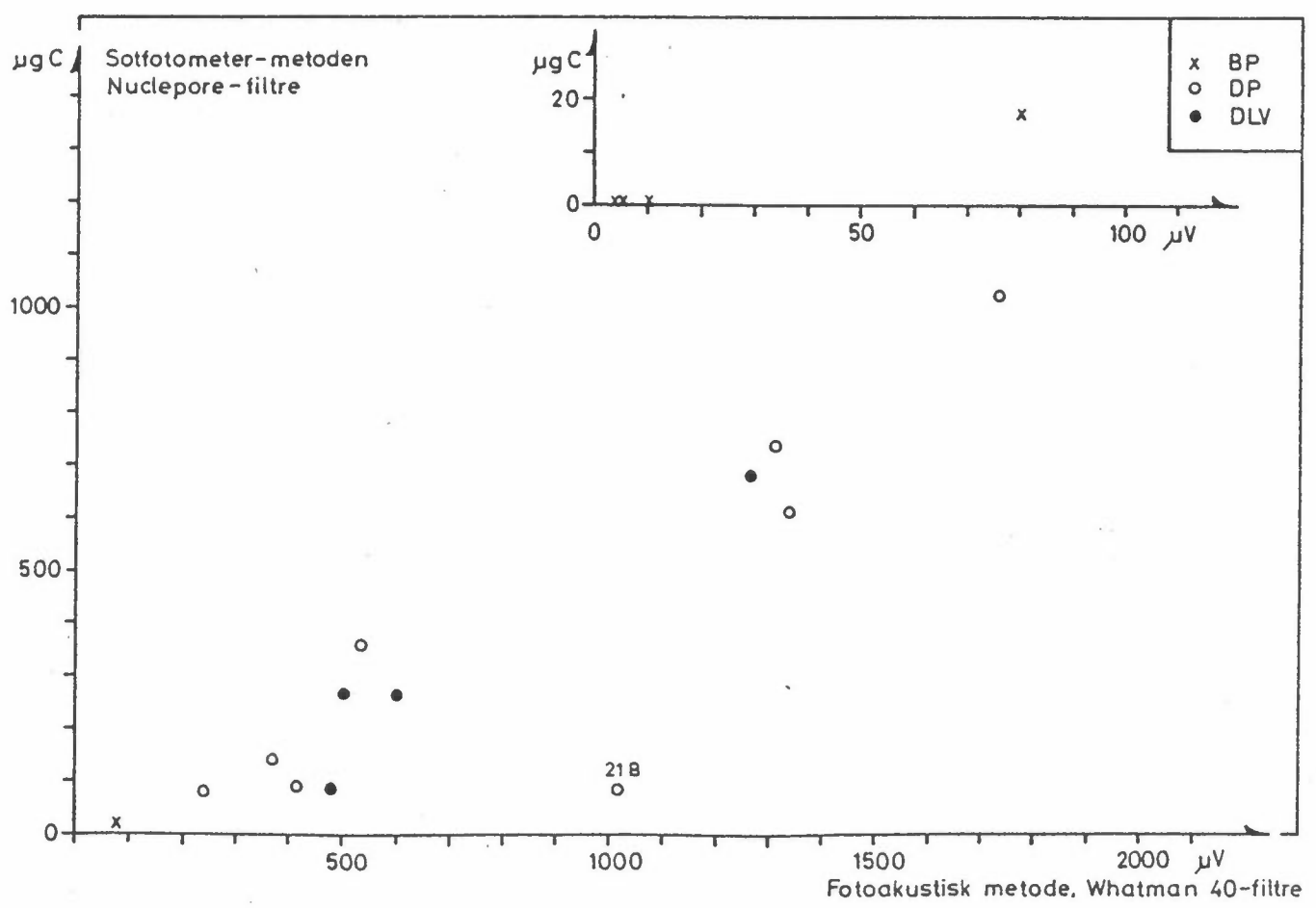
26



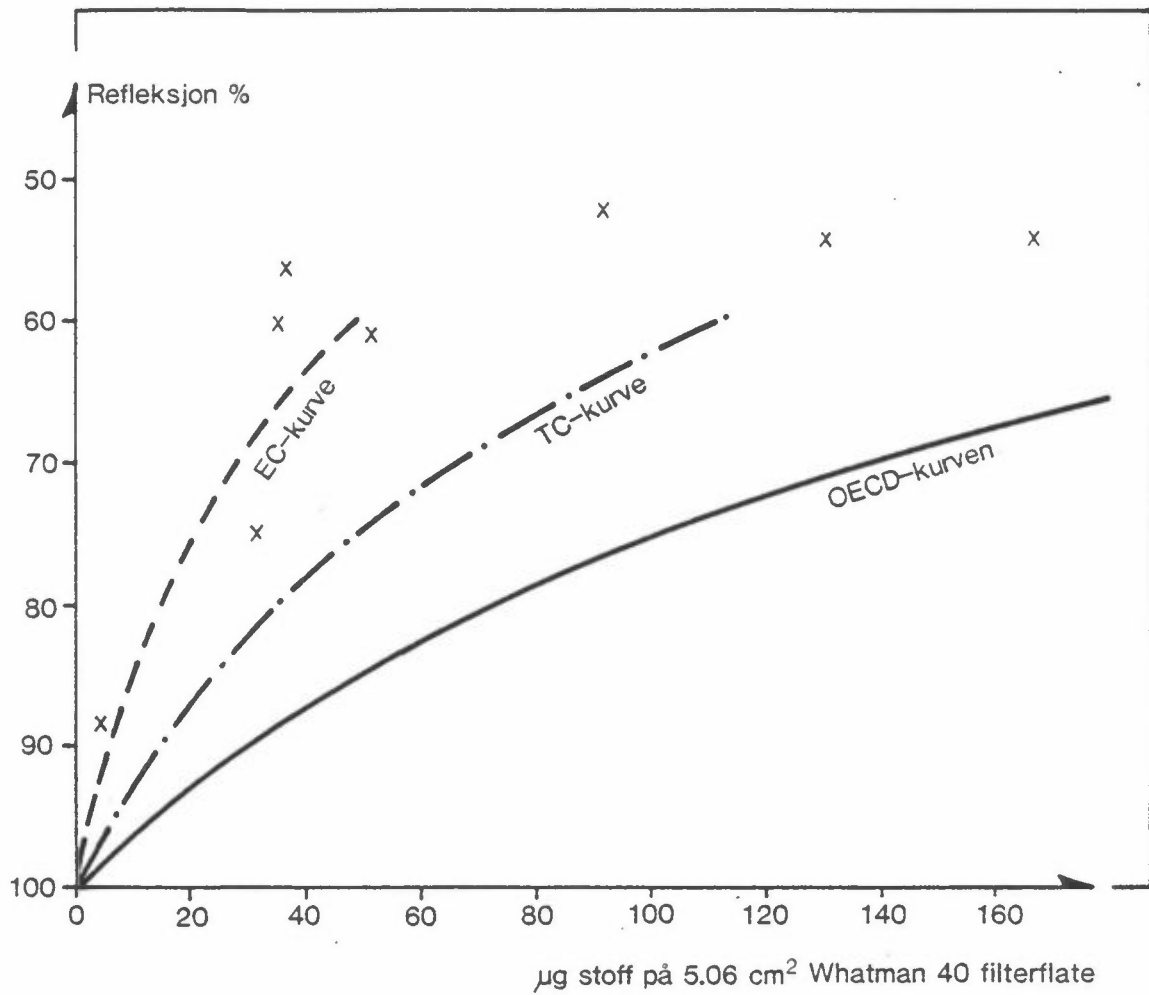
Figur 8: Sammenheng mellom fotoakustisk metode og reflektometrisk bestemt sotmengde etter OECD-kurven. (Analyser på Whatman 40-filtre).



Figur 9: Respons på fotoakustisk metode som funksjon av partikkelmasse.



Figur 10: Sammenheng mellom fotoakustisk metode og sotfotometer-metoden.



Figur 11: Foreslått "EC"-kurve for bestemmelse av EC-mengde på filter fra standard reflektometrisk svertningmåling. Figuren gjelder en effektiv filterflate på ca 5 cm^2 (partikkeldeposisjonsdiameter: 2.5 cm).
 EC - elementært karbon
 TC - totalt karbon (fra Bailey et.al., 1982)

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING (NILU)
NORWEGIAN INSTITUTE FOR AIR RESEARCH

(NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FORSKNINGSRÅD)

POSTBOKS 130, 2001 LILLESTRØM (ELVEGT. 52), NORGE

RAPPORTTYPE Oppdragsrapport	RAPPORTNR. OR 50/83 rev.utgave	ISBN-82-7247-420-4	
DATO NOVEMBER 1984	ANSV. SIGN. <i>Steinar Larssen</i>	ANT. SIDER 38	PRIS
TITTEL Målinger av partikkel- og sotutslipp fra personbiler og lette varebiler		PROSJEKTLEDER Steinar Larssen	
		NILU PROSJEKT NR. 0-8224	
FORFATTER(E) Steinar Larssen Jost Heintzenberg		TILGJENGELIGHET* A	
		OPPDRAKSGIVERS REF.	
OPPDRAKSGIVER (NAVN OG ADRESSE) Statens forurensningstilsyn Postboks 8100 DEP, Oslo 1			
3 STIKKORD (å maks. 20 anslag) Biltrafikk Partikkelutslipp Sotutslipp			
REFERAT (maks. 300 anslag, 7 linjer) Det ble tatt prøver av partikkelutslippet fra 11 bensindrevne biler og 22 dieseldrevne biler, etter kjøresyklus ECE 15-.04. Prøvene ble tatt slik at det vil være mulig å estimere bidragene fra diesel- og bensinbiler til sotkonsentrasjonen i uteluft, målt etter OECD-metoden. Sotutslippet ble målt med tre ulike metoder: OECD-metoden (reflektometrisk), en fotoakustisk metode og sotfotometer-metode.			

TITLE Measurements of particle and soot emission factors from light gasoline and diesel engine powered vehicles.
ABSTRACT (max. 300 characters, 7 lines) Measurements were performed on 11 gasoline and 22 diesel engine vehicles, all light vehicles. The test cycle used was ECE-15-04. The measurements were made such that the contributions from particle emissions from gasoline and diesel engine vehicles to the soot content of particles in ambient air, as measured with the OECD smoke method, can be estimated. The soot emissions were determined by three methods: The OECD method (reflectometric), a photo acoustic method, and a soot photometer method.

*Kategorier: Åpen - kan bestilles fra NILU A
Må bestilles gjennom oppdragsgiver B
Kan ikke utleveres C