

Betydningen af partikelfiltre for luftkvalitet og sundhedseffekter

Steen Solvang Jensen¹, Ole Hertel¹, Ruwim Berkowicz¹, Peter Wåhlin¹, Finn Palmgren¹
Ole Raaschou-Nielsen² og Steffen Loft³

¹Danmarks Miljøundersøgelser (DMU), Afdelingen for Atmosfærisk Miljø, ssj@dmu.dk

²Kræftens Bekæmpelse

³Institut for Folkesundhedsvidenskab, Københavns Universitet

Abstract

Konsekvenser for emission, luftkvalitet, befolkningseksponering og sundhedseffekter af montering af partikelfiltre med en effektivitet på 80% på alle tunge dieseldrøjetøjer i Danmark er vurderet på eksisterende data. Sundhedsmæssige vurderinger er baseret på en metode udviklet af WHO, som tager udgangspunkt i PM₁₀ i bybaggrundsluften. Beregningerne, der er behæftet med meget stor usikkerhed, viser at forureningen med PM₁₀ kun reduceres lidt (skønsmæssigt omkring 2%) i byernes baggrundsluft. Den beskedne reduktion skyldes, at en meget stor del af denne forurening er regional, d.v.s. fra hele Europa, samt at dieselpartikler hovedsageligt er ultrafine med meget lav masse. De sundhedsmæssige gevinster bliver derfor tilsyneladende beskedne. Beregningerne med WHO's metode resulterer således kun i en reduktion på 22 for tidligere dødsfald, som kunne spares ved montering af filtre. Imidlertid mistænkes de ultrafine partikler i dieseemission for at være ansvarlige for en væsentlig del af de partikelrelaterede helbredseffekter, og de ultrafine partikler reduceres med omkring 1/3 ved montering af filtre. Derfor må helbredseffekten antages at underestimeres ved den anvendte WHO metode.

1. Formål og baggrund

Formålet med undersøgelsen er at vurdere konsekvenserne for emission, luftkvalitet, befolkningseksponering og sundhedseffekter ved montering af partikelfiltre med en effektivitet på 80% på samtlige tunge dieseldrøjetøjer (> 3,5 tons) i Danmark. Undersøgelsen er beskrevet i detaljer i en teknisk rapport (Palmgren et al. 2001).

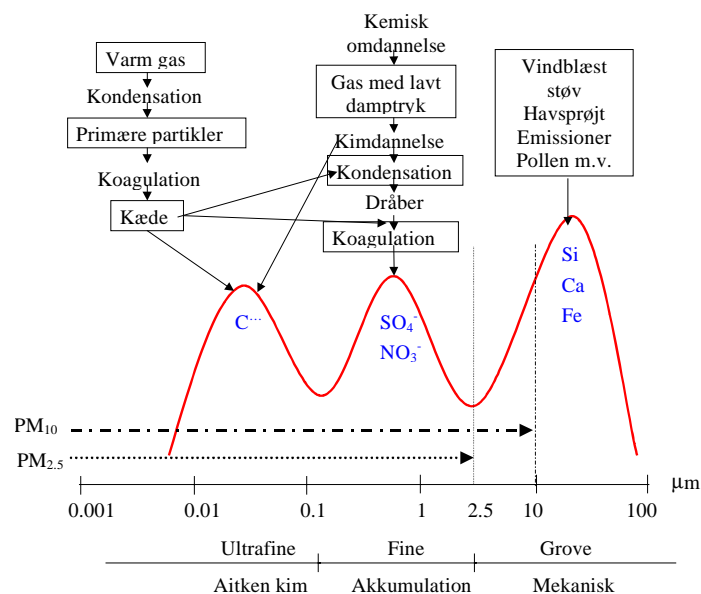
Så godt som alle tunge køretøjer er dieseldrevne, og den tunge trafik kører især i landområder (69% af trafikarbejdet) og mindre i byområder (31% af trafikarbejdet). I byområder udgør den tunge trafik omkring 7% af den totale trafik (Vejdirektoratet 1998). Baseret på nationale emissionsopgørelser udgør partikelemissionen fra udstødningsrøret fra tunge køretøjer samlet omkring 33% ud af den totale emission fra vejtrafikken i byområder fordelt med 65% på lastbiler og 35% på busser (Iversen 2001). Nationale emissionsopgørelser er imidlertid ikke velegnet til vurdering af betydningen af partikelfiltre for luftkvaliteten, befolkningseksponering og sundhedseffekter, idet en lang række forhold har indflydelse herpå.

Luftforureningen i en gade er en sum af bidrag fra trafikken i gaden (gadebidrag), fra trafikken i de øvrige gader og andre kilder i byen (bybaggrundsbidrag), samt regionens kilder og øvrige danske og udenlandske kilder (regionalt bidrag). De enkelte bidrag varierer i tid som følge af emissionernes

Betydningen af partikelfiltre for luftkvalitet og sundhedseffekter

størrelse, omdannelse af forureningen, afsætning på overflader og de meteorologiske forhold, for eksempel vindretning, vindhastighed, stabilitet mv. Dette gælder naturligvis også for partikler. Imidlertid er beskrivelse og vurdering af forureningen med partikler mere kompliceret end de fleste øvrige luftforureninger, fordi partiklerne ud over deres koncentration også er karakteriseret af: partiklernes kemiske sammensætning, deres fysiske egenskaber, størrelsesfordelingen og omdannelse af partiklerne. Masseangivelser som PM_{10} og $PM_{2.5}$ er den hidtil mest almindelige måde, og disse mål er da også blevet anvendt over hele Verden, bl.a. af verdenssundhedsorganisationen WHO, ved fastsættelse af grænseværdier for emissioner og luftkvalitet.

Mange kilder emitterer forskellige typer af partikler, i forskellige størrelser og kemisk sammensætning. Vejtrafikken er et eksempel på, at den samme kilde skaber partikler af vidt forskellig art afhængigt af dannelsesprocesserne. En del af partiklerne dannes i motoren, i udstødningssystemet eller umiddelbart udenfor udstødningsrøret. Denne direkte emission bidrager især til den ultrafine størrelsesfraktion af partikler i gaden ($PM_{0.1}$ – partikler under $0,1 \mu m$). Trafikken bidrager imidlertid også med mekanisk dannede partikler i form af ophvirvlede partikler fra kørebanen, kørebaneslid, dækslid samt slid på bremses, koblinger m.v. Disse partikler findes især i den grove størrelsesfraktion (partikler større end $PM_{2.5}$), og disse oftest grovere partikler bidrager væsentligt til PM_{10} . Fine partikler i størrelsesintervallet $0,1-2,5 \mu m$ er for en stor del sekundære partikler dvs. kemisk dannede partikler i atmosfæren ud fra emission af kvælstofoxider (NO_x), NH_3 (ammoniak) og svovldioxid (SO_2). De sekundære partikler er især partikulært bundet ammoniumsulfat og ammoniumnitrat. De fine partikler er primært langtransporteret luftforurening, og trafikken bidrager indirekte hertil gennem emission af især NO_x og kun i beskedent omfang gennem emission af NH_3 og SO_2 . Trafikrelateret partikelforurening omfatter derfor den direkte emission, mekanisk dannede partikler og ophvirvling samt de sekundære partikler, se figur 1. WHO har for Østrig, Schweiz og Frankrig vurderet, at 31-38% af PM_{10} i by- og landbaggrunden er trafikrelateret (WHO 1999).



Figur 1 Skematisk tegning af størrelsesfordelingen af partikler i byluft. Den lodrette akse har en arbitrær skala. Formen på fordelingen afhænger af denne akse; hvis den lodrette akse er massen vil den ultrafine del af fordelingen forsvinde og hvis den vertikale akse er antal af partikler vil den grove del af fordelingen være ubetydelig.

Det er almindeligt accepteret, at partikler har negative helbredseffekter, hvilket er dokumenteret gennem talrige epidemiologiske og eksperimentelle undersøgelser (se fx referencer i Larsen et al. 1997). De mange undersøgelser, der belyser kvantitative sammenhænge mellem eksponering for partikler og helbredseffekter i USA og Europa, har imidlertid kun omfattet PM_{10} og i nogen grad $PM_{2.5}$. Det er uklart, hvilke egenskaber ved partiklerne, der gør dem skadelige. De få foreliggende undersøgelser peger på, at de meget små (ultrafine og fine) partikler er de farligste, og at disse måske kan forklare størstedelen af de effekter, der tilskrives partikler. I denne undersøgelse har det ikke været muligt at skaffe nye data, derfor er vurderingerne foretaget på grundlag af ovennævnte undersøgelser af sammenhængen mellem helbredsskader og PM_{10} .

Ovennævnte undersøgelser af den kvantitative sammenhæng mellem dødsrate, andre helbredsudfald og partikelforureningen i USA og Europa er udført ved sammenligning mellem forskellige geografiske områder med forskellige forureningsniveauer eller ved at følge områder over tid med udsving i niveauerne. De er alle gennemført på grundlag af en meget forenklet vurdering af befolkningens eksponering, idet man har anvendt koncentrationen af PM_{10} i den såkaldte bybaggrund, dvs. i en vis afstand fra gader og forureningskilder, som man finder i parker, i boligkvarterer uden væsentlig trafik, over hustagene eller bag husrækker langs gader. Disse målestationer er såkaldte bybaggrundsstationer, som er forskellige fra gadestationer, hvor koncentrationer er højere og regionale baggrundsstationer uden for byerne, hvor koncentrationerne er lavere end for bybaggrunden. Bybaggrundsmålestationer er anvendt ud fra den betragtning, at befolkningen er eksponeret svarende til luften udenfor deres boliger, men ikke i gader. Der er således ikke taget hensyn til, at en stor del af befolkningen er udsat for stærk forurening fra trafikken under transport i for eksempel trafikerede gader mellem hjem og arbejdsplads. Der er heller ikke taget hensyn til at kortvarig høj eksponering kan være mere skadelig end tilsvarende lavere eksponering over lang tid.

2. Metode og empirisk grundlag

2.1 WHO eksponerings- og sundhedsmetode

Den metode, som er lagt til grund for den sundhedsmæssige vurdering af partikelforureningen i nærværende projekt er baseret på en grov metode opstillet af WHO med Østrig, Frankrig og Schweiz som cases (WHO 1999). Denne metode foreskriver, at befolkningsdata (antal mennesker i procent) inddeles efter forskellige forureningskategorier baseret på årsmiddelniveauer af PM_{10} niveauer i bybaggrunden og i den regionale baggrund på landet. Endvidere er ændringen i den befolkningsvægtede koncentration beregnet som følge af montering af partikelfiltre. Ændringen i den befolkningsvægtede koncentration ligger herefter til grund for bestemmelse af dødelighed og sygelighed. Den befolkningsvægtede koncentration er beregnet på baggrund af vurderinger af PM_{10} i by og regional baggrund samt af befolkningens fordeling. Sundhedsvurderingen baserer sig på danske data for dødsfald og sygelighed samt relative risikoestimer opstillet af WHO.

Til eksponeringsvurderingen er vha. GIS foretaget en geografisk opdeling af befolkningen på byområder, bystørrelser og landområder, baseret på forskellige bearbejdede og kombinerede datasæt. Det drejer sig om et kort udarbejdet af Kort- og Matrikelstyrelsen for byområder i Danmark med den geografiske udstrækning af byer, men ikke befolkningsdata. Danmarks Statistiks oversigt over byer, som indholder indbyggere i byer over 1.000 indbyggere, men ingen geografisk reference, samt et datasæt med indbyggertallet i kommunerne, og et kort over kommunerne.

2.2 Luftkvaliteten af partikler

Der foreligger ikke målinger af PM_{10} i bybaggrund i Danmark. Endvidere har det kun været muligt, at foretage detaljerede modelberegninger og dataanalyse for PM_{10} i bybaggrunden i København ud fra en eksisterende bybaggrundsmodel baseret på NO_x ($NO + NO_2$). Beregninger er udført med Urban Background Model (UBM) udviklet af DMU (Berkowicz 2000). Kortlægning af trafikken i København er baseret på et tidligere arbejde udført af Vejdirektoratet i forbindelse med et projekt under det Strategiske Miljøforsningsprogram (Vejdirektoratet 1996).

Emissionen af PM_{10} er bestemt ved to forskellige metoder. Den første er baseret på emissionsfaktorer fra den danske nationale emissionsopgørelse (Europæiske Emissionsmodel COPERT II), hvor emissionsfaktorerne er baseret på trafikens sammensætning i 1999-2000. Den anden metode tager udgangspunkt i NO_x -emissionerne og relationen mellem PM_{10} og NO_x emissionsfaktorer for de fire hovedkategorier af køretøjer. Emissionsfaktorerne er udregnet på basis af data fra en engelsk Emissions Database (UK Emissions Database 2001). PM_{10} - NO_x forholdet afhænger stærkt af køretøjskategori m.m., men synes i øvrigt at være ret konstant og omtrent det samme i forskellige byer.

Til luftkvalitetsberegningerne har endvidere været anvendt meteorologiske data fra taget af H.C. Ørsted Institutet i København (Det Landsdækkende Luftkvalitetsmåleprogram - LMP). Yderligere er der anvendt målinger af NO_x -koncentrationer fra baggrundsmålestationen i Lille Valby (LMP) ved Roskilde for at beskrive den regionale baggrund for København.

For at vurdere PM_{10} niveauet i de forskellige bystørrelser er der anvendt en simpel nedskalering af PM_{10} niveauet i bybaggrunden i København efter en metode i Jensen (1998). Nedskaleringen afhænger af emissionstætheden, byområdets udstrækning (radius) og spredningshøjden (gns. taghøjde). Disse parametre er skønnet for forskellige byer. Metoden er opstillet for NO_x fra trafikken, og det antages, at det samme gælder for PM_{10} .

3. Resultater

3.1 Beregnet PM_{10} i bybaggrunden i København

PM_{10}/NO_x forholdet beregnet vha. den første metode ved brug af emissionsfaktorer fra den engelske emissionsdatabase er vist i tabel 1.

Tabel 1 Forholdet mellem PM_{10}/NO_x emissionsfaktorer bestemt ud fra den engelske Emissions Database.

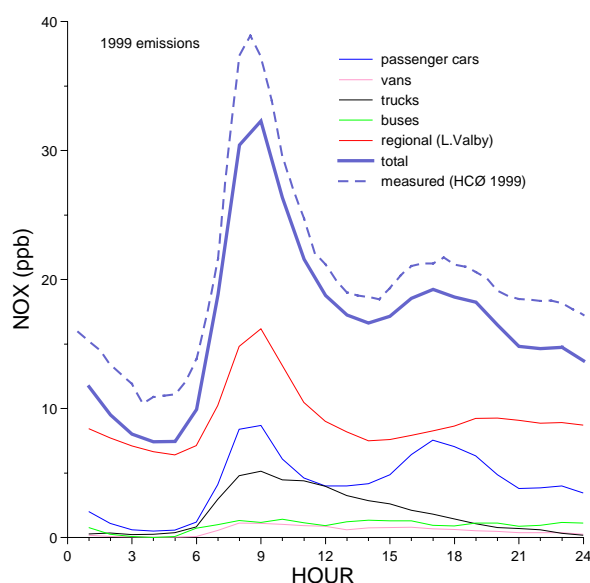
Køretøjskategori	PM_{10}/NO_x forhold (g/g)
Personbiler	0,03
Varebiler	0,28
Lastbiler	0,10
Busser	0,06

Beregnet og målt gennemsnitlig døgnvariation af NO_x for LMP bybaggrundsstationen i København (H.C. Ørsted Institutet, HCØ) er vist i figur 2. Udover bidraget fra den københavnske trafik er der også medtaget bidrag fra de regionale emissioner. Dette bidrag antages at være lig med målte

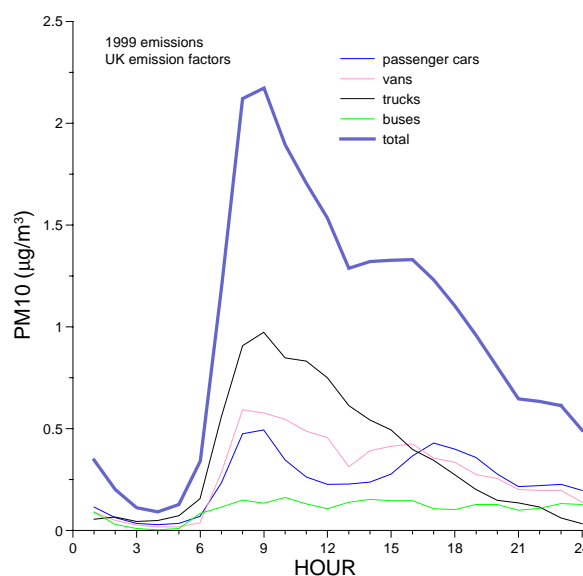
Betydningen af partikelfiltre for luftkvalitet og sundhedseffekter

koncentrationer ved Lille Valby. Som det ses af figuren, udgør det regionale bidrag lidt mere end halvdelen af NO_x koncentrationerne i København, og desuden har det en markant døgnvariation. Sammenligning med de målte koncentrationer viser, at modellen undervurderer NO_x koncentrationerne lidt i København, men ellers er den observerede døgnvariation godt reproduceret af modellen.

Tilsvarende modelresultater for PM₁₀ er vist i figur 3. Der foreligger ingen målinger af døgnvariationen af de regionale PM₁₀ koncentrationer. De viste resultater angiver altså kun bidraget fra trafikken i København, som i gennemsnit udgør omkring 1 µg/m³ af PM₁₀ og lidt over 2 µg/m³ af PM₁₀ om morgenen. Målingerne af døgnmiddelværdier i Lille Valby indikerer en koncentration i den regionale baggrund på ca. 22 µg/m³ PM₁₀. Dette er mere end 20 gange større end bidraget fra den københavnske trafik bestemt ved hjælp af UBM.



Figur 2 De beregnede og de målte NO_x koncentrationer for LMP målestationen på H.C. Ørsted Institutttet i København (bybaggrund)



Figur 3 De beregnede PM₁₀ koncentrationer for LMP målestationen på H.C. Ørsted Institutttet i København. Dette er kun bidraget fra trafikken i København; den regionale baggrund på ca. 22 µg/m³ PM₁₀ er ikke medtaget, ligesom bidrag fra andre kilder i byen.

Resultaterne af de beregnede bidrag til årgennemsnit af PM₁₀ koncentrationer i København fordelt på de 4 køretøjskategorier er vist i tabel 2. Beregningsresultater er kun vist for målestationen på H.C. Ørsted Institutttet i København. Lidt højere værdier forekommer i udkanten af byen, hvor andelen af tung trafik er større. De foreliggende koncentrationer skal ses i sammenhæng med den målte regionale baggrund på 22 µg/m³. En del af denne baggrund må formodes ligeledes at stamme fra trafikken, men det foreliggende datagrundlag er utilstrækkeligt til at kunne foretage en kvalificeret vurdering.

Tabel 2 Trafikkens bidrag til PM₁₀ i bybaggrunden i København (HCØ)

Køretøjskategori:	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(%)
Personbiler	0,24	25
Varebiler	0,28	28
Lastbiler	0,36	36
Busser	0,10	11
I alt	0,98	100

Da der ikke foreligger PM₁₀ målinger i bybaggrunden i København, er der foretaget en indirekte vurdering af nøjagtigheden af modelberegningerne ved at se på tilsvarende forhold i London, hvor der forefindes omfattende måledata (London 2001). De gennemsnitlige døgnvariationer af NO_x og PM₁₀ målt på en bybaggrundsstation i London og en regional baggrundsstation i Harwell uden for London er analyseret. Forskellen mellem disse to målestationer må formodes at give bidraget fra bytrafikken i London. Forholdet mellem målt PM₁₀/NO_x i London fratrukket den regionale baggrund og det beregnede forhold i København viste sig at være i rimelig god overensstemmelse, hvis emissionsfaktorerne var baseret på den engelske emissions database (anden metode), mens der var langt dårligere overensstemmelse, når emissionsfaktorerne fra den danske nationale emissionsdatabase blev anvendt (første metode). Vurderingerne er derfor baseret på de engelske emissionsfaktorer.

Som det fremgår af tabel 3 vil den tunge trafiks bidrag til PM₁₀ i København blive reduceret med ca. 0,37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fra ca. 0,98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ til ca. 0,61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ved filtre på alle tunge køretøjer i København. Den procentvise reduktion af trafikens bidrag er således omkring 38%, men da det regionale bidrag er dominerende, svarer denne reduktion kun til ca. 2% af det samlede PM₁₀ niveau i bybaggrunden.

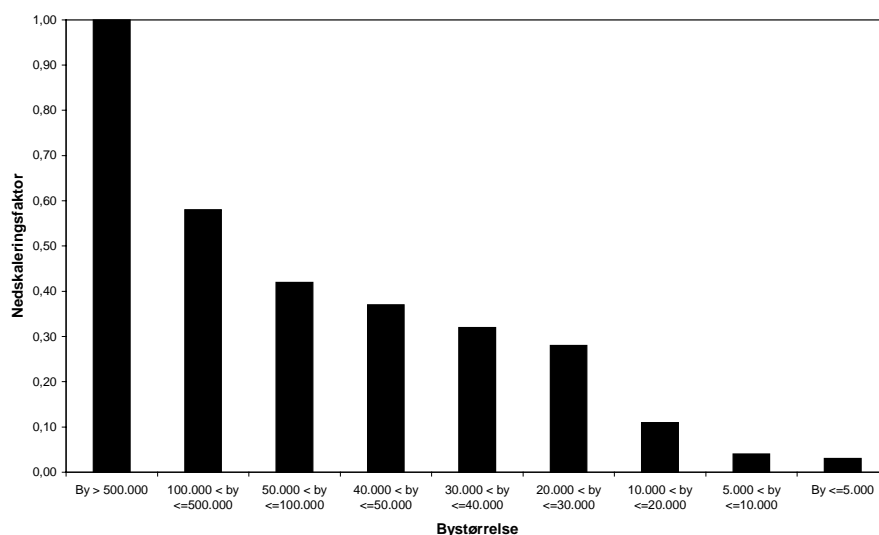
Tabel 3 PM₁₀ niveauer i København ved montering af partikelfiltre på tunge køretøjer

Område:	Referenceår (2000) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Partikelfiltre på tunge køretøjer ¹ i København ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Regional baggrund	22	22
Trafikkens bidrag til bybaggrund i København	0,98	0,61
Bybaggrund i København	22,98	22,61

Note 1: Partikelemissionen fra tunge køretøjer reduceres med 80% pga. partikelfiltre

Note 2: Tallene er angivet med flere decimaler end usikkerheden på tallene berettiger til

Estimeringen af PM₁₀ niveauet i forskellige bystørrelser fremgår af figur 4.



Figur 4. Faktorer for nedskalering af PM₁₀ niveauet fra trafikken i København til andre bystørrelser

3.2 Befolkningsvægtet eksponering

Med ovenstående forudsætninger kan det befolkningsvægtede PM₁₀ årsniveau beregnes, som indgår i beregningerne af dødelighed og sygelighed som følge af partikelforureningen med PM₁₀ efter WHO's metode, se tabel 4. Der sker kun en mindre reduktion i det befolkningsvægtede eksponeringsniveau, dan den regionale baggrund er helt dominerende.

Tabel 4 Befolkningsvægtet PM₁₀ årsniveau

Befolkning	Indbyggertal (%)	Referenceår (2000) (µg/m ³)	Partikelfiltre på tunge køretøjer ¹ (µg/m ³)
Bybefolkning	69	22,38	22,24
Landbefolkning	31	22,00	22,00
I alt	100	22,26	22,17

Note 1: Partikelemissionen fra tunge køretøjer reduceres med 80% pga. partikelfiltre

Note 2: Tallene er angivet med flere decimaler end usikkerheden på tallene berettiger til.

3.3 Sundhedsmæssig vurdering af partikler

Der er foretaget en sundhedsvurdering af konsekvenserne ved montering af filtre på tunge køretøjer baseret på WHO's kvantitative metode ud fra PM₁₀ i bybaggrunden samt en mere kvalitativ sundhedsvurdering af reduktionen i luftkoncentrationen af ultrafine partikler.

3.3.1 Sundhedsvurdering efter WHO's metode

De tilgængelige data, der beskriver kvantitative sammenhænge mellem partikeleksponering og helbredsudfald, bygger overvejende på PM₁₀, som det er benyttet i WHO's rapporten "Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution" fra 1999 (WHO 1999). Nærværende estimeringer af

Betydningen af partikelfiltre for luftkvalitet og sundhedseffekter

helbredseffekter er baseret på WHO rapportens vurderinger af de kvantitative sammenhænge med et givet niveau af PM₁₀. Der er valgt en lineær sammenhæng mellem ændring i basisforekomst af helbredsudfald og ændring i PM₁₀.

For mortalitet har man i WHO rapporten valgt at benytte kumuleret total mortalitet i relation til geografiske forskelle frem for akut mortalitet i relation til ændringer over tid til at vurdere kvantitative sammenhænge med PM₁₀ niveauer. Dette giver et væsentligt højere effektestimater med relativ risiko (RR) på 1,043 per 10 µg/m³ PM₁₀, end tidligere benyttet i anden sammenhæng i WHO, hvor estimatet var 1,01 per 10 µg/m³ PM₁₀. Det lavere estimat blev fx benyttet i Stadslægens rapport "Bli'r man syg af luften i København" fra 1999 (Stadslægen et al. 1999). Imidlertid argumenter WHO rapporten (1999) for at kun den kumulerede mortalitet viser det sande billede, idet forsinkede og langtidsrelaterede effekter ikke kan belyses fyldestgørende i tidsserieanalyser. En relativ risiko (RR) på 1,043 betyder, at antallet af ekstra for tidligere dødsfald stiger 4,3% per 10 µg/m³ stigning i PM₁₀.

For andre helbredsmål er tidsserieanalyser benyttet. De øvrige helbredsmål, der indgår i WHO vurderingen, omfatter indlæggelser for hjertesygdomme og luftvejssygdomme blandt voksne, incidens af kronisk bronkitis hos voksne, et-års periodeprævalens af akut bronkitis hos børn, dage med begrænset aktivitet pga. luftvejsgener hos voksne og antal astmaanfald hos børn og voksne. Helbredsmålene er valgt således, at de skulle have mindst muligt overlap. Mulige vigtige helbredsmål i relation til dieselemmission, bl.a. lungekræft og påvirkning af forsterudvikling indgår ikke i WHO rapporten, og er derfor ikke medtaget. For alle helbredseffektmaal gælder, at der ikke er danske undersøgelser, som har belyst sammenhænge med partikulær luftforurening.

Tabel 5 viser den beregnede effekt på det befolkningsvægtede PM₁₀ som følge af montering af filtre på tunge køretøjer, samt den tænkte scenario, hvor al PM₁₀ fjernes. Sidstnævnte er naturligvis ikke realistisk, eftersom der altid vil være væsentlige bidrag fra naturlige kilder.

Tabel 5 Scenarier for PM₁₀ eksponering i Danmark

Scenario	% af befolkningen	Befolkningsvægtet årgennemsnit, PM ₁₀ (µg/m ³)
Eksisterende forhold		
Land	31	22,00
By	69	22,38
Hele	100	22,26
Filtre på tung trafik		
Land	31	22,00
By	69	22,24
Hele	100	22,17
Ingen PM10 i Danmark		
Land	31	0
By	69	0
Hele	100	0

Betydningen af partikelfiltre for luftkvalitet og sundhedseffekter

På grundlag heraf beregnes ændringen i antal tilfælde, hvis der sættes filtre på tunge køretøjer, og hvis al PM_{10} fjernes, tabel 5. Scenariet, hvor al PM_{10} forurening fjernes er teoretisk, da der vil være et naturligt forekommende baggrundsniveau selv uden menneskeskabte emissioner. Dette scenario skal illustrere de maksimale sundhedskonsekvenser, som kan tilskrives PM_{10} forurening ud fra den nuværende viden.

Anvendelse af filtre på tunge køretøjer vil kun medføre en beskedne reduktion i PM_{10} i bybaggrund, da den partikulære dieselemmission fortrinsvis udgøres af ultrafine partikler med ringe masse (Tabel 3). Reduktionen i gadeplan vil naturligvis være større, men dette kan ikke benyttes til kvantitative risikoestimer for befolkningen. Ved vurderinger baseret på PM_{10} , kan man derfor få indtryk af beskedne positive helbredseffekter af filtre på tunge dieselkøretøjer (Tabel 6). Da ultrafine partikler i dieselemmission imidlertid mistænkes for at være ansvarlige for en væsentlig del af de partikelrelaterede helbredseffekter, kan effekten af filtre være langt større. Da filtre på tunge køretøjer kan fjerne ca. 33% af de ultrafine partikler i byen, må den formodede øvre grænse være 33% af de samlede helbredseffekt relateret til PM_{10} , som er vist i Tabel 6.

Tabel 6 Skøn over antal færre tilfælde af helbredseffekter ved nedsættelse af befolkningens eksponering for partikler baseret på sammenhæng med PM_{10} . Ændring i eksponering for PM_{10} svarer til to scenarier: a) partikelfiltre på den tunge trafik i Danmark og b) ingen PM_{10} forurening i Danmark (teoretisk antagelse)

Helbredseffekt	Alders-gruppe	Antal færre tilfælde i Danmark	
		Partikelfiltre	Ingen PM_{10} forurening
Mortalitet	30+	> 22	5.000
Kredsløbssygdomme (hospitalsindlæggelser)	Alle	> 14	3.300
Luftvejssygdomme			
- Hospitalsindlæggelser	Alle	> 10	2.250
- Kronisk bronkitis	25+	> 21	5.000
- Akut bronkitis	≤15	> 76	17.500
- Dage med begrænset aktivitet pga. luftvejssygdom	20+	> 11.974	2.700
- Astmaanfald	15+	>1.300	210.000
- Astmaanfald	<15	> 175	28.000

3.3.2 Ultrafine partikler

Som nævnt er de ultrafine partikler måske den farligste fraktion af alle partikler, selvom de kun bidrager lidt til PM_{10} , men der er indtil nu ikke i den internationale litteratur givet kvantitative vurderinger af relaterede helbredseffekter. Et af problemerne er, at de nødvendige data ikke foreligger til gennemførelse af fx større epidemiologiske studier. De enkelte mindre undersøgelser, der foreligger, peger på at ultrafine partikler målt i bybaggrund er væsentlige for død relateret til hjerte- og lungesygdomme og bedre forklarer astmaanfald hos voksne end fine og grove partikler. Eksperimentelle studier med forsøgsdyr og eksponering af mennesker støtter særligt kraftige effekter af ultrafine partikler i forhold til fine og grove. Der peges på de ultrafine partiklers store overflade, kemiske sammensætning og evne til diffusion og vævstransport som mulige forklaringer. Dieselemmission er vist kræftfremkaldende i dyreforsøg. Den internationale officielle konklusion på

studier med erhvervsmæssig eksponering er, at dieselemmission sandsynligvis er kræftfremkaldende hos mennesker.

I Danmark har DMU gennemført undersøgelser af trafikens bidrag til de ultrafine partikler og deres størrelsesfordelinger. De foreløbige undersøgelser tyder på et ret konstant forhold mellem antal partikler under $0,1 \mu\text{m}$ og NO_x . Analyse af samtidige målinger af NO_x og ultrafine partikler på Jagtvej i København samt på Albanigade i Odense har således vist, at antallet af ultrafine partikler fra et gennemsnits dieseldrevne køretøj er 370 ultrafine partikler pr. cm^3 pr. 1 ppb NO_x . For benzindrevne køretøjer er det næsten tilsvarende 400 ultrafine partikler pr. cm^3 pr. 1 ppb NO_x . Da NO_x emissionen er større pr. køretøj for dieseldrevne køretøjer er emissionen af ultrafine partikler dog større for dieseldrevne køretøjer i forhold til benzindrevne køretøjer. Den regionale baggrund af ultrafine partikler ser endvidere ud til at være meget lav. Der er foretaget indledende undersøgelser af enkelte filters og katalysators effektivitet overfor de ultrafine partikler, som viser, at katalysatorer og visse filtertyper har høj effektivitet, $>80\%$.

I det følgende er det derfor antaget, at ovenstående forhold mellem antallet af ultrafine partikler og NO_x er det samme for alle køretøjskategorier. Den tunge trafik bidrager med ca. 41% af NO_x emissionen i Storkøbenhavn. Da benzin- og dieseldrevne køretøjer stort set bidrager med lige mange ultrafine partikler pr. NO_x , kan antallet af ultrafine partikler reduceres med ca. 33% (80% af 41%) ved montering af partikelfiltre med 80% effektivitet. Det gennemsnitlige antal ultrafine partikler i gaderum i København vil altså reduceres med omkring 1/3 ved montering af partikelfiltre på tunge køretøjer. 2/3 af reduktionen skyldes filtre på lastbiler og omkring 1/3 filtre på busser. Da de ultrafine partikler formodes at have størst sundhedseffekt kan en reduktion på 1/3 i antallet af ultrafine partikler have en væsentlig sundhedsmæssig effekt.

4. Diskussion af usikkerheder

Som det fremgår er der ganske store usikkerheder i beregningerne af luftkoncentrationer, eksponeringen af befolkning og helbredseffekter.

Der er p.t. meget få data for PM_{10} forureningen i Danmark, både hvad angår luftkvalitets- og emissionsdata. Endvidere er der stor usikkerhed i de tilgængelige emissionsdata fra vejtrafikken, som svinger mindst en faktor 2, afhængig af beregningsmetode. Der er uklarhed om i hvilket omfang emissionsdata indeholder alle bidrag, i.e. udstødning, bremses, kobling, dæk, vejstøv m.v. De anvendte data fra den engelske database synes dog at passe bedst med de relativt få måledata vi har til rådighed i Danmark.

De foreliggende data giver ikke mulighed for at vurdere de danske bilers bidrag til den regionale baggrund. En stor del af baggrundsforureningen stammer fra trafikken i Europa, bl.a. udslip af NO_x og andre gasser, som omdannes til partikler undervejs til Danmark. Disse partikler fra den Europæiske eller danske bilpark vil ikke fjernes med partikelfiltre, fordi de emitteres som gasser.

Befolkningens eksponering med PM_{10} er vurderet meget forenklet på basis af gennemsnitlig bybaggrunds niveauer af PM_{10} , svarende til den meget forenkledede vurdering af helbredseffekter, som ligger til grund for WHO studiet. Der er fx ikke taget hensyn til partiklernes sammensætning,

størrelsesfordeling, tidslige variation (meget høj eksponering i korte tidsrum), inde/ude eksponering, og geografiske variation (gade/bybaggrund).

Alt i alt må man regne med en meget stor samlet usikkerhed indtil der foreligger væsentligt bedre data.

5. Konklusion

Der er gennemført beregninger af virkningen af at montere filtre på tunge køretøjer i Danmark. Beregningerne, der er behæftet med meget stor usikkerhed, viser bl.a. at forureningen med PM_{10} kun reduceres lidt (skønsmæssigt omkring 2%) i byernes baggrund, hvis der sættes filtre på alle tunge køretøjer. Den beskedne reduktionen skyldes, at en meget stor del af forureningen er regional, dvs. fra hele Danmark og Europa, samt at dieselpartikler hovedsageligt er ultrafinae med meget lav masse. Den dominerende trafikkilde til PM_{10} emission er lastbiler, der bidrager med knapt 40% af trafikens andel. Busser udgør kun omkring 10%. Benzindrevne biler bidrager med ca. 30% og varebiler med godt 20%. Det har ikke været muligt at vurdere dansk vejtrafiks bidrag til den regionale baggrund.

Ved vurdering af effekter af filtre på tunge køretøjer baseret på PM_{10} kan man få indtryk af beskedne positive helbredseffekter af filtre på tunge dieselskøretøjer, idet beregningerne med WHO's metode kun resulterede i 22 for tidlige dødsfald, som kunne spares ved montering af filtre. Imidlertid mistænkes de ultrafinae partikler i dieseemission for at være ansvarlige for en væsentlig del af de partikelrelaterede helbredseffekter. De forekommer især i byområder, og der er kun et mindre regional bidrag, fordi de relativt hurtigt omdannes og/eller afsættes. Derfor vil montering af effektive filtre på tunge køretøjer samt katalysatorer på benzindrevne biler effektivt kunne reducere forekomsten af ultrafinae partikler. De helbredsmæssige virkninger kan i dag ikke vurderes kvantitativt, men man må formode, at en væsentlig del af de partikelrelaterede helbredseffekter reelt kan reduceres. Da filtre på tunge køretøjer kan fjerne op til 33% af de ultrafinae partikler i byen må den formodede øvre grænse for positive effekter være ca. 33% reduktion af de samlede helbredseffekter, som er vurderet til 5000 for tidlige dødsfald i Danmark såfremt alt PM_{10} kunne fjernes.

Alt i alt må denne undersøgelse betragtes som meget foreløbig, fordi den er baseret på et meget usikkert og utilstrækkeligt viden- og datagrundlag. Imidlertid er der satset kraftigt på at forbedre dette grundlag, både i Danmark og internationalt, fordi det vurderes, at partikelforureningen, specielt fra trafikken, er et af de største luftforureningsproblemer med de største negative sundhedseffekter.

Taksigelser

Nærværende undersøgelse er finansieret af Færdselsstyrelsen, som en del af beslutningsgrundlaget for et eventuelt krav om montering af filtre på tunge køretøjer i Danmark (Færdselsstyrelsen 2001). Undersøgelsen er gennemført af Danmarks Miljøundersøgelser, som har forestået luftkvalitets- og eksponeringsvurderinger, i samarbejde med Kræftens Bekæmpelse og Institut for Folkesundhedsvidenskab, Københavns Universitet, som har gennemført de sundhedsmæssige vurderinger (Palmgren et al. 2001).

Referencer

- Berkowicz, R. (2000): A simple model for urban background pollution. *Environmental Monitoring and Assessment* 65: 259-267, 2000.
- Færdselsstyrelsen (2001): Partikelfiltre på tunge køretøjer. Rapport fra arbejdsgruppen til belysning af mulighederne for at fremme udbredelsen af partikelfiltre til lastbiler og busser i Danmark. Juni 2001. 87 s. (On-line besøgt august 2001, www.fstyr.dk/publikation/Publikationer/Arbejdsgruppe%20rapport%20om%20fremme%20af%20partikelfiltre%2010501.pdf)
- Iversen (2001): Partikelforurening fra vejtrafik. Notat, 4. januar 2001, 413-0110, EI/17, Transport- og Luftkvalitetskontoret, Miljøstyrelsen.
- Jensen, S.S. (1998): Background Concentrations for Use in the Operational Street Pollution Model (OSPM), NERI Technical Report No. 234. 1998. 107 p.
- Larsen, P.B., Larsen, J.C., Fenger, J., Jensen, S.S. (1997): Sundhedsmæssig vurdering af luftforurening fra vejtrafik, Miljøprojekt nr. 352, Miljøstyrelsen.
- Palmgren, F., Wåhlin, P., Berkowicz, R., Hertel, O., Jensen, S.S., Loft, S., Raaschou-Nielsen, O. (2001): Partikelfiltre på tunge køretøjer i Danmark. Luftkvalitets- og sundhedsvurdering. Danmarks Miljøundersøgelser. Foreløbig udgave. 81 s.
- Stadslægen et al. 1999: Bli'r man syg af luften i Storkøbenhavn. Rapport udarbejdet af Stadslægen, Københavns Kommune; Miljøkontrollen, Københavns Kommune, Embedslægeinstitutionen for Københavns Amt og Frederiksberg; Miljø- og Levnedsmiddelkontrollen, Frederiksberg Kommune; Teknisk Forvaltning, Københavns Amt. 69 s.
- Vejdirektoratet (1996): Byområdets trafikskabte luftforurening. Rapport 43. Vejdirektoratet. 147 s.
- Vejdirektoratet (1998): Vejtrafikken 1983-96. Udvikling og fordeling på vejkatégorier. Resultater fra 60-punkts tællinger. Rapport nr. 145.
- WHO (1999): Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution. An impact assessment project of Austria, France and Switzerland. PM10 Population Exposure. Technical Report on Air Pollution. Prepared for the WHO Ministeral conference for Environment and Health, London June 1999. 80 s.
- UK Emissions Database (2001): www.rsk.co.uk/ukefd/roads.htm
- London (2001): PM10 målingerne i London og Harwell www.aeat.co.uk/netcen/airqual/index.html.