
Sundhedsskader fra små partikler i byluft

af Poul Bo Larsen¹, Steen Solvang Jensen² og Jes Fenger²

I de seneste år har en række undersøgelser peget på en sammenhæng mellem partikelforurening og sundhedsbelastning i byområder. Resultaterne diskuteres i en rapport "Sundhedsmæssig vurdering af luftforurening fra vejtrafik", der for nylig er udgivet som nr. 352 i Miljøstyrelsens serie af miljøprojekter. Her udpeges partikler som den mest sundhedsbelastende luftforureningskomponent. Med udgangspunkt i rapporten beskrives i denne artikel kilderne til partikelforurening, forureningens egenskaber og niveauer samt påvirkningen af mennesker.

Luftforureningen i Danmarks og andre industrialiserede landes storbyer har i de senere år skiftet karakter. Tidligere var det alvorligste problem svovl- og sodforureningen fra mindre fyringsanlæg, der i ekstreme tilfælde gav anledning til den berygtede "London smog" (efter engelsk: smoke and fog). Dette problem er nu i det store og hele løst ved anvendelse af renere brændsler, forbedret fyringsteknik og indførelse af fjernvarme produceret på store anlæg med røggasrensning og høje skorstene.

I dag er luftforureningen i gadeniveau - og dermed den potentielle sundhedsbelastning - domineret af udstødningen fra biltrafik, og selv om mange af stofferne går igen, er forureningen nu sammensat på en anden måde. I et nyligt afsluttet udredningsprojekt fra Miljøstyrelsen vurderes den sundhedsmæssige virkning af luftforurening fra vejtrafik, og den mest kritiske komponent skønnes at være partikler.

Problemstillingen er imidlertid ikke helt enkel, fordi partikler ikke er en veldefineret forbindelse. Alt efter kilderne og de atmosfæriske forhold varierer de både i fysisk form og størrelse og i kemisk sammensætning. Det giver vanskeligheder, såvel når man skal kortlægge forureningen, som når man skal vurdere effekterne.

Hvor kommer partiklerne fra ?

Partikler i byluften kan opdeles i tre, næsten adskilte størrelsesfraktioner (figur, øverst). De fleste af de mindste partikler har en diameter på under 0,2 µm og er dannet ved forbrændingsprocesser eller ved efterfølgende kondensation af forbrændingsgasser. De har en relativt kort levetid, fordi de har tendens til at hæfte sig til hinanden; herved dannes den næste partikelfraktion med en diameter på mellem 0,2 og 2 µm. I trafikerede byer dominerer partikler fra disse to partikelfraktioner. Kemisk består de overvejende af nitrat, sulfat, ammonium og kulstof. Desuden indeholder de hovedparten af luftens indhold af PAH (Polycykliske Aromatiske Hydrocarboner) og tungmetaller.

Den tredje fraktion består af partikler med en diameter over 2 µm; de skyldes bl.a. støvformige emissioner fra virksomheder, friktionsprocesser (f.eks. dækslid) eller ophvirvling af støv. Denne noget grovere fraktion har som regel et højt indhold af jordmineraller.

Monitering af partikler

Gennem mange år har man registreret luftens indhold af partikler med den såkaldte OECD - metode, der er baseret på måling af sværtning

¹ Institut for Toksikologi,
Veterinær- og Fødevarerdirektoratet

² Afdeling for Atmosfærisk Miljø,
Danmarks Miljøundersøgelser

af filtre, hvorigennem der er suget en given mængde luft. Resultatet angives som "sodindhold", på engelsk forkortet BS (black soot).

Senere er man gået over til også at veje filtrene før og efter eksponering og bestemmer herved luftens totale indhold af partikulært stof, på engelsk forkortet TSP (total suspended particles). Først fra omkring 1990 er man enkelte steder i Europa begyndt at måle størrelsesfraktioner af partiklerne ved at bestemme luftens indhold af såkaldt PM₁₀, der er vægten af partikler (particulate matter) med en diameter under 10 µm. Imidlertid indeholder PM₁₀ naturligt dannede partikler, der generelt er større end de menneskeskabte, og det vil derfor på længere sigt være vigtigt også at bestemme PM_{2,5} (partikler med en diameter under 2,5 µm) samt endnu mindre partikler.

At bestemmelse af størrelsesfordelingen af partiklerne er vigtig, har bl.a. målinger fra Erfurt i det tidligere DDR vist. Her fandt man således, at partikelindholdet målt som PM_{2,5} er faldet markant efter genforeningen, hvor der blev indført opvarmning med gas i stedet for brunkul og skete en udskiftning af østtyske biler med nyere vesteuropæiske modeller. Alligevel er indholdet af endnu mindre partikler (0,01 - 0,1 µm) mere end fordoblet, hvorfor *antallet* af partikler er forøget.

Forureningsniveauerne

I Europa varierer de årlige middelværdier af PM₁₀ fra 10 µg/m³ i renluftområder til over 100 µg/m³ i stærkt industrialiserede områder. De seneste tre år synes der ikke at have været nogen signifikant udvikling, men emissionsopgørelser for Storbritannien, Tyskland og Holland antyder dog, at der er sket et fald i udslip.

I danske byer er partikler monitoreret under LMP (Det landsdækkende luftkvalitetsmåleprogram), der blev oprettet i 1982 og i forskelligt

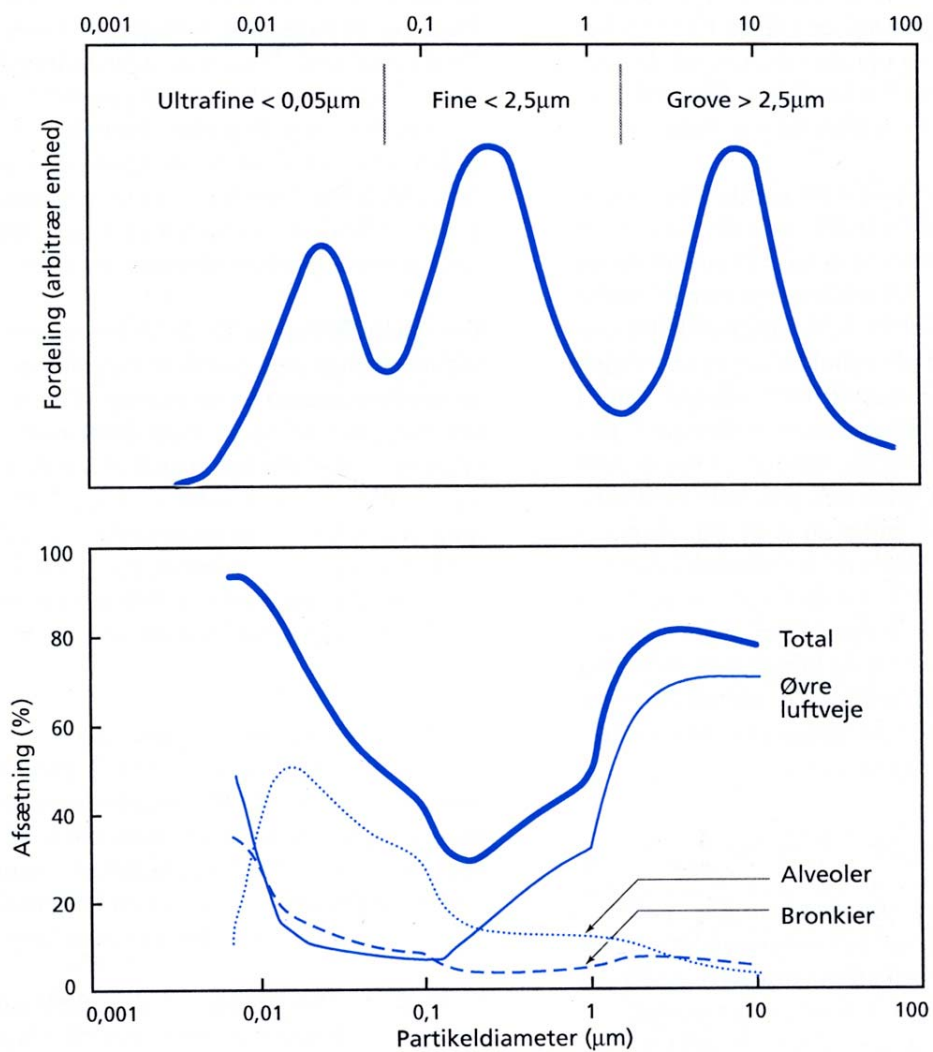
omfang er fortsat siden da (Kemp, Palmgren 1994). Hovedstadsregionen driver de fem amtskommunale enheder i fællesskab et overvågningsprogram (HLU), der er en videreførelse af aktiviteter under det nu nedlagte Hovedstadsråd. Samlet foreligger der målinger tilbage til slutningen af 1960'erne.

I Københavns centrum faldt den årlige middelmiddelt koncentration af sod fra næsten 100 µg/m³ i 1968 til under 20 µg/m³ i slutningen af halvfjerdsenerne. Derefter steg den i nogle år – muligvis p.g.a. forøget kulfyring og vækst i antal af dieselmotorer, men den er nu igen under 20 µg/m³ (HLU 1996).

TSP har været målt siden 1988 i København, Odense og Aalborg, og niveauerne er siden da faldet ca. 25%. I Københavns centrum ligger årsmiddelværdien nu på ca. 60 µg/m³ med ca. 140 µg/m³ som 95-percentil. Orienterende målinger af PM₁₀ i København (Frøsig, Moseholm 1996) antyder et baggrundsniveau på 20-25 µg/m³, mens niveauer på 30-35 µg/m³ er observeret langs en stærkt trafikeret vej.

Befolkningens eksponering

Ved indånding af partikler (figur, nederst) opfanges de grovere partikler (diameter over 10 µm) i de øvre luftveje i næse og svælg. Partikler under 10 µm afsættes også længere nede i luftvejene i bronchier og bronkioler, mens partikler under 5 µm kan trænge helt ud i lungernes yderste forgreninger, alveolerne. I bronchier og bronkioler finder der en forholdsvis hurtig eliminering sted (timer-dage) som følge af den mucociliære transport af slim/partikler op mod svælget. I alveolerne derimod, kan eliminationstiden for uopløselige partikler opgøres til måneder - år. I forbindelse med evt. sundhedsskadelige effekter betyder dette derfor, at man specielt er opmærksom på disse finere partikelfraktioner. Hertil kommer, at finere partikler, modsat de grovere, er i stand til at trænge ind i bygninger og opretholde stort



Figur 1.

Øverst:

Størrelsesfordelingen af luftbårne partikler i byer (efter HMSO 1995).

Nederst:

Partikelafsætningen i forskellige regioner af luftvejene hos en voksen mand (efter HMSO 1995).

set de samme niveauer som i udemiljøet, hvorved man bliver udsat for dem både ude og inde.

Folk udsættes fortrinsvis for partikelforurening, og i særdeleshed fra trafik, hvis de bor i større eller mellemstore byområder. I Danmark drejer det sig om 1,8 - 2,9 millioner personer. Andre betydende faktorer for personers partikeleksponering er den tid, de opholder sig i gademiljøer med direkte eksponering fra trafikken, samt i hvilken grad vejrtrækningen er forøget i forbindelse med forskellige former for fysisk aktivitet. Yderligere synes den generelle sundhedstilstand at kunne spille en rolle for eksponeringen. En forholdsvis ny amerikansk laboratorieundersøgelse har således vist, at personer med kroniske luftvejslidelser p.g.a. ændret vejrtrækningsmønster og luftgennemstrømning i luftvejene ved realistiske partikelniveauer tilbageholdt op til fem gange så mange partikler som raske forsøgspersoner.

Helbredsmæssige virkninger

Effekter ved kortvarige forureningsepisoder

Der er udført talrige befolkningsundersøgelser til vurdering af partikelforureningens sundhedsskadelige effekter. I de fleste undersøgelser har man beskæftiget sig med de akutte effekter, der er optrådt i forbindelse med perioder med forhøjede partikelniveauer. Man har her registreret den umiddelbare påvirkning m.h.t. én eller flere effektparametre, f.eks.: dødeligheden i befolkningen, antal hospitalsindlæggelser forårsaget af luftvejslidelser, forekomsten af luftvejssymptomer og anvendelsen af medicin i forbindelse hermed, lungefunktionen (bestemt ved lungefunktionsmålinger), samt fravær fra skole eller arbejdsplads.

En række udenlandske undersøgelser, fremkommet inden for de seneste fem år, har næsten samstemmende fundet en øget dødelighed i tilknytning til dage med forhøjet luftforurening. Undersøgelserne angiver en øget dødelig-

hed på mellem 0,8 og 1,6% for hver gang PM_{10} -partikelindholdet steg $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Især steg dødeligheden som følge af hjerte-karsygdomme og luftvejslidelser. Over for andre forureningskomponenter fandt man generelt en meget svagere sammenhæng mellem niveauer og effekter.

For sygelighed er der ligeledes fundet markante sammenhænge med partikelforureningen. Ved en sammenfattende gennemgang af de seneste undersøgelser af denne type fandt man, at en stigning i det daglige partikelniveau på $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{10}) er forbundet med 0,5-3,4% stigning i antallet af hospitalsindlæggelser eller skadestuebesøg, en stigning på 1-3% i forekomsten af astmaanfald og luftvejssymptomer, og en reduktion af lungefunktionen på omkring 0,5%.

Effekter ved langvarig eksponering

Andre undersøgelser har vurderet partikelforureningens kroniske effekter, idet man her har sammenlignet dødelighed, forekomst af luftvejssygdomme eller lungefunktion i områder med forskellige niveauer af partikelforurening (målt som gennemsnitsniveauer over lang tid).

Hvad angår dødeligheden skal specielt nævnes to større undersøgelser med henholdsvis 8.000 og 552.000 mennesker fra henholdsvis 6 og 151 byområder i U.S.A. I undersøgelserne fandt man, at der forelå en statistisk sikker sammenhæng mellem dødelighed og luftens indhold af partikler. Det gennemsnitlige partikelniveau for alle byer lå i intervallet 9 til $33,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (målt som $PM_{2,5}$, d.v.s. partikler med diameter mindre end $2,5 \mu\text{m}$). I den første undersøgelse steg dødeligheden 14% ved en øgning af partikelniveauet på $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($PM_{2,5}$) og i den anden var stigningen på 7%. I undersøgelserne var der indhentet oplysninger vedrørende en række samvirkende faktorer såsom alder, race, rygevaner, legemsvægt, alkoholforbrug, erhverv m.m., således at betydningen heraf kunne modregnes. Det skal nævnes, at tilsvarende klare sammenhæng ikke kunne op-

nås over for andre luftforureningskomponenter. Tilsvarende er der udført undersøgelser, der sammenligner sygelighed i områder med forskellige niveauer af luftforurening. En analyse af de seneste af disse undersøgelser angiver, at en stigning af det gennemsnitlige partikelindhold på $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{10}) er relateret til 2% stigning i hospitalsindlæggelser og skadestuebesøg p.g.a. af luftvejslidelser, en 2% nedgang i lungefunktionen og en 10-25% forøgelse af forekomsten af bronkitis og kronisk hoste i befolkningen.

Vurdering af effekterne

Samlet må partikelforureningen vurderes at medføre betydelige sundhedsskadelige effekter. Især personer, der lider af luftvejs- og hjerte-karsygdomme anses for følsomme og i risiko for at få deres tilstand forværret. Den øgede dødelighed, der kan relateres til partikelforureningen, må således tages som udtryk for, at personer, der påvirkes, dør tidligere end de ellers ville have gjort (d.v.s. en negativ påvirkning af den gennemsnitlige levealder).

Ved en vurdering af disse data har man for U.S.A. beregnet, at partikelforureningen er forbundet med ca. 60.000 dødsfald pr. år, mens tilsvarende tal for England og Wales er anslået til ca. 10.000 dødsfald. En hollandsk vurdering angiver et fald i den gennemsnitlige levealder på 1,1 år pr. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ indhold af $\text{PM}_{2,5}$ partikler i luften.

En vurdering af partikeleffekterne i Danmark er naturligvis behæftet med stor usikkerhed, da der ikke herhjemme rutinemæssigt har været målt PM_{10} og slet ikke $\text{PM}_{2,5}$. Niveauerne kan imidlertid skønnes ud fra de orienterende målinger og ved anvendelse af nogle grove omregningsfaktorer fra de målte TSP niveauer.

Danske PM_{10} -niveauer på 20-35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ligger inden for det område, hvorved der er fundet effekter i udenlandske undersøgelser.

Anvendes den anførte dosis-respons sammenhæng, der er fundet i den største af de ovennævnte undersøgelser, hvor en stigning i $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} var forbundet med en øget dødelighed på 3%, da vil en reduktion af de danske byniveauer med ca. 1/3 være relateret til et fald i den årlige dødelighed på 300-400 dødsfald pr. 1 million byboere. Hertil kommer, at et betydeligt større antal personer må forventes at være påvirket af partikelforureningen med en forringelse af sundhedstilstanden og øget sygelighed til følge. De mest følsomme personer vil være at finde blandt personer med luftvejslidelser (ca. 233.000 personer herhjemme iflg. DIKE) og hjerte-karsygdomme (ca. 259.000 personer). Hvor store samlede samfundsøkonomiske konsekvenser disse sundhedseffekter medfører er uafklaret, men de må formodes at være betydelige. Til sammenligning dør der årligt omkring 550 personer ved trafikulykker.

Grænseværdier

EU's grænseværdier, der gælder herhjemme, er på $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ TSP som 95-percentil og $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som årgennemsnit. I de tidligere nævnte undersøgelser er der konstateret effekter ved niveauer væsentligt under disse grænseværdier. Ved den nylige opdatering af WHO's Air Quality Guidelines anføres ikke nogen vejledende grænseværdi for partikler, idet den nedsatte ekspertgruppe fandt, at der ud fra data ikke kunne fastsættes et nedre effektniveau for partikler. I konklusion og anbefalinger henvises i stedet til de dosis-respons sammenhænge, der er fundet m.h.t. ovennævnte effekter. (I 1987 var WHO's vejledende grænseværdi for partikler på $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som TSP og $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som PM_{10}).

Videnbehov og fremtidige tiltag

Generelt har man i Danmark og andre industrialiserede lande observeret en faldende partikelforurening. Men om dette også gælder for de fineste partikelfraktioner er usikkert. Dette kan kun afklares gennem detaljerede målinger, da det måske snarere er antallet af partikler i luften end massen af partiklerne, der bestemmer de sundhedsskadelige effekter.

Monitering af de finere fraktioner er foretaget i udlandet, og fremtidig monitering af disse fraktioner herhjemme vil også blive iværksat under Det Landsdækkende Luftkvalitetsmåleprogram (PM_{2,5} og PM₁₀) i forbindelse med implementering af et nyt EU-direktiv, som fastsætter nye grænseværdier for luftforureningen, herunder partikler, og som kræver løbende målinger.

De sundhedsmæssige effekter og omfanget af disse er ikke undersøgt for danske forhold. Man bør derfor nøjere overveje at gennemføre relevante befolkningsundersøgelser til afklaring heraf. I den forbindelse vil det være vigtigt at opnå en bedre forståelse af befolkningens og især udvalgte undergruppers eksponering med partikler.

Endnu har man ikke fuld klarhed over, hvilke virkningsmekanismer der kan ligge til grund for de effekter, der er fundet relateret til partikelforureningen. Der savnes også afklaring af, i hvor høj grad det er koncentrationen af de helt fine partikler (ultrafine partikler mindre end 0,05 µm), der er hovedansvarlige for de sundhedsskadelige effekter, og hvilken rolle den kemiske sammensætning af partiklerne spiller. Endelig synes kombinationseffekter mellem partikler og de øvrige luftforureningskomponenter at kunne have væsentlig betydning for forureningens samlede effekt.

Litteratur:

DIKE (1995). Sundhed og sygdom i Danmark 1994 - og udviklingen siden 1987. Dansk Institut for Klinisk Epidemiologi.

Frøsig, A., Moseholm, L. (1996). Luftbårne fine partikler som årsag til luftvejssygdomme og overdødelighed. Ugeskrift for Læger 158(42), 5915-5919.

Hannover Medical School (1997). Relationships between respiratory disease and exposure to air pollution. Abstracts from the 6th international inhalation symposium, 24-28 February, Hannover.

HMSO (1995). Non-biological particles and health. Committee on the medical effects of air pollutants. Department of Health, HMSO publication centre, London. 139 s.

HLU (Hovedstadsregionens Luftforureningsenhed) (1996). Luftkvalitet i Hovedstadsregionen. Miljøkontrollen, København. 138 s. incl. bilag. (Seneste årsberetning).

Kemp, K., Palmgren, F. (1994). Luftforurening i danske byer. Temarapport fra DMU no.2. Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde. 40 s.

Kemp, K., Palmgren, F., Mancher, O.H. (1996). The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Report for 1995. Teknisk rapport fra DMU No.180. Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde. 54 s. (Seneste årsberetning)

Larsen, P.B., Larsen, J.C., Fenger, J., Jensen, S.S. (1997). Sundhedsmæssig vurdering af luftforurening fra vejtrafik. Miljøprojekt nr. 352. Miljøstyrelsen, København. 288 s. incl. bilag.

WHO (1995). Update and revision of the air quality guidelines for Europe. Meeting of the working group "Classical" air pollutants, Bilthoven, The Netherlands 11-14 October 1994. WHO regional office for Europe, Copenhagen.