

Sundhedsmæssig vurdering af luftforurening fra vejtrafik - med særlig fokus på partikler

Steen Solvang Jensen, Afdeling for Atmosfærisk Miljø, Danmarks Miljøundersøgelser
Poul Bo Larsen, Institutet for Toksikologi, Levnedsmiddelstyrelsen
Jes Fenger, Afdeling for Atmosfærisk Miljø, Danmarks Miljøundersøgelser

Abstract

En lang række undersøgelser peger på en sammenhæng mellem luftforurening og sundhedsbelastning i byområder. Disse forhold er nærmere diskuteret i rapporten "Sundhedsmæssig vurdering af luftforurening fra vejtrafik", der i foråret 1997 er udgivet som nr. 352 i Miljøstyrelsens serie af miljøprojekter. Blandt de mange forskellige stoffer, som udsendes fra vejtrafik udpeger rapporten de kritiske luftforureningskomponenter. Partikler og i særdeleshed små partikler vurderes som den mest sundhedsbelastende luftforureningskomponent. Derfor fokuseres i det følgende mere detaljeret på kilderne til partikelforurening, forureningens egenskaber og niveauer samt påvirkning af mennesker.

Indledning

Trafik dominerende forureningskilde

Luftforureningen i storbyer i Danmark og andre industrialiserede lande 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 sammensætningen anderledes.

Udsættelse for luftforurening

En række forhold har indflydelse på udviklingen af sundhedsskadelige effekter i befolkningen. Jo højere niveauer en person eksponeres for og jo længere det varer jo større er risikoen for sundhedsskadelige effekter. Koncentrationen af luftforurenende stoffer vil, alt andet lige, stige med bystørrelsen og trafikintensiteten, falde fra bycenteret mod forstæderne og yderligere ud til landområderne. En persons tids- og aktivitetsmønsteret dvs. hvor lang tid en person opholder sig i forskellige mikromiljøer med forskellige forureningsniveauer (fx indendørs hjemme, udendørs hjemme, på arbejde eller i trafikerede gader) er derfor afgørende for personens samlede eksponering, og den kan være meget forskelligt fra person til person. Den dosis, dvs. den mængde som optages, er afgørende for de sundhedsskadelige effekter og afhænger af vedkommendes fysiologi (fx udtrykt ved alder) og fysiske aktivitetsniveau (fx udtrykt ved mængde inhaleret luft). Hertil kommer en stor variation i følsomheden overfor luftforurening, således at ikke alle befolkningsgrupper påvirkes i samme grad.

Luftforureningskoncentrationen i udemiljøet er afgørende for en persons samlede eksponering, fordi den påvirker såvel udendørs- som indendørsniveauet. Ophold indendørs i bygninger yder dog en vis beskyttelse mod indtrængende luftforurening. I nogle tilfælde kan indendørskilder dog bidrage med de samme stoffer som trafik. Hvis en person derfor er udsat for indendørs udslip fx fra passiv rygning, fra et gaskomfur eller fra frigivelse af forurenende stoffer fra byggematerialer, kan dette væsentligt påvirke den samlede eksponering, idet en dansker i gennemsnit opholder sig indendørs ca. 22 timer i døgnet.

Udsatte og følsomme befolkningsgrupper

Personer som har bopæl eller arbejdssted langs stærkt trafikerede gader vil være særligt udsatte. Det gælder specielt i lukkede gaderum, hvor luftforureningen spredes dårligt. Her vil pendlere med lang transporttid i bil eller bus være særligt udsatte. Det samme gør sig gældende for gående og cyklister. I forbindelse med særlige aktiviteter udsættes befolkningen for en forhøjet eksponering, det gælder fx ophold i lukkede parkeringshuse og -kældre, ved tankpåfyldning på benzinstation mv.

Erhvervsgrupper som udsættes for høj eksponering i udemiljøet er især de mennesker, som arbejder udendørs i trafikerede bymiljøer, og som samtidig er fysisk aktive fx postbude, cykelbude i større byer, arbejdere som udfører vedligeholdelsesarbejder i forbindelse med vejbelægninger og infrastruktur placeret i eller ved gader fx belysning, el, gas, vand, telefon mv. Chauffører og andre erhvervsgrupper som kører meget vil ligeledes være udsatte, især bus- og taxachauffører, som kører i trafikerede gader i de større byer.

Således skønner man, at luftforureningen forværrer tilstanden hos personer med luftvejslidelser og hjerte-karsygdomme samt øger forekomsten af visse kræftformer fx lungekræft. Der er således specielt følsomme grupper, som er i risiko for at blive berørt med øget sygelighed eller dødelighed til følge, hvor selv forholdsvis moderate luftforureningsniveauer kan påvirke svækkede og syge personer, personer med luftvejslidelser, samt evt. børn og ældre.

Sundhedsskadelige effekter

Undersøgelsesmetoder

Vurdering af de skadelige effekter af luftforurening sker på baggrund af en samlet vurdering af befolkningsundersøgelser, kontrollede laboratorieforsøg og dyreforsøg. Ved befolkningsundersøgelser (epidemiologiske undersøgelser) vurderes i princippet effekten af den samlede forurening, hvor sammenhængen mellem luftforurening og effekt typisk vurderes med effektmålene: dødelighed, sygelighed, antal lægebesøg/indlæggelser, lungefunktionsmål, forekomst af generende symptomer o. lign. I kontrollerede laboratorieforsøg undersøges effekten hos frivillige forsøgspersoner, som udsættes for bestemte koncentrationer af en eller flere luftforureningskomponenter i en veldefineret kortere varighed. I laboratorieforsøg med dyr udføres typisk et større antal forsøg, og der kan anvendes højere koncentrationer og mere tilbundsående undersøgelser af væv og organer, end der er muligt med forsøgspersoner. Disse undersøgelser bruges til at bestemme kritiske stoffer og vurdere sammenhængen mellem eksponering og effekt (dosis-respons sammenhænge).

Kritiske stoffer, grænseværdier og effekter

De sundhedsmæssigt mest kritiske luftforureningskomponenter fra vejtrafik vurderet ud fra eksisterende niveauer i Danmark er vist i nedenstående tabel med angivelse af niveauer, grænseværdier og deres sundhedsskadelige effekt.

Tabel 1 Kritiske luftforureningskomponenter fra vejtrafik og deres sundhedsskadelige effekter^f

Kritiske luftforurenende stoffer fra trafik	Byniveau, DK ^a Tg/m ³	Bindende og vejledende grænseværdier, Tg/m ³	Sundhedsskadelig effekt		
			Irritation	Kræft	Allergi
Partikler	døgnværdi: 109-139 Tg/m ³ TSP, 95-percentil (sv.t. 60-76 Tg/m ³ PM ₁₀ , 95-percentil) årsværdi: 51-70 Tg/m ³ TSP, middelværdi (sv.t. 28-39 Tg/m ³ PM ₁₀ , middelværdi)	døgnværdi: 300 Tg/m ³ TSP, 95- percentil ^b (sv.t. 165 Tg/m ³ PM ₁₀ , 95- percentil) årsværdi: 150 Tg/m ³ TSP, middelværdi ^b (sv.t. 83 Tg/m ³ PM ₁₀ , middelværdi)	^e	(x) ^e	(x) ^e
NO ₂	timeværdi: 100 Tg/m ³ (98- percentil) årsværdi: 40-50 Tg/m ³ (middelværdi)	timeværdi: 200 Tg/m ³ (98-percentil) ^b årsværdi: 40-50 Tg/m ³ (middelværdi) ^c	x		
Ozon	timeværdi: 100 Tg/m ³ (98- percentil) 50 Tg/m ³ (middelværdi)	8-timers værdi: 110 Tg/m ³ (middelværdi) ^b 120 Tg/m ³ (middelværdi) ^c	x		(x)
Hydrocarboner: - PAH	årsværdi: 1-4 ng/m ³ BaP (middelværdi)	årsværdi: 0,01 ng/m ³ BaP (middelværdi) ^d		x	
- Benzen	5-20 Tg/m ³ (middelværdi)	årsværdi: 0,13 Tg/m ³ (middelværdi) ^d		x	
- 1,3-butadien	ca. 1 Tg/m ³ (middelværdi)	årsværdi: 0,01 Tg/m ³ (middelværdi) ^d		x	
- formaldehyd		30-minuttersværdi: 10 Tg/m ³ (98-percentil)	x	x	
- acrolein	ca. 4 Tg/m ³ (middelværdi, vinter)	årsværdi: 1 Tg/m ³ (middelværdi) ^d			
	ca. 1-2 Tg/m ³ (middelværdi)	30-minuttersværdi: 10 Tg/m ³ (98-percentil) årsværdi: 1 Tg/m ³ (middelværdi) ^d	x		

a: målt eller skønnet niveau på målestationer i større danske byer; disse stationer er normalt placeret i relativt stærkt trafikerede områder og repræsenterer derfor ikke gennemsnitlige forureningsniveauer

b: gældende dansk tærskelværdi for sundhed se EØF 1992 (bindende grænseværdi)

c: WHO-værdi (vejledende værdi)

d: kvalitetskriterie = 10⁻⁶ livstidsrisikoniveau for udvikling af cancer efter Miljøstyrelsens retningslinier

e: se iverigt efterfølgende beskrivelse i teksten, idet de nævnte effektområder ikke alene beskriver effekten for partikler

f: tabellen er baseret på Larsen et al. 1997

(x): indikerer en medvirkende faktor

Luftforureningskomponenter som CO, SO₂ og bly, som tidligere har været udpeget som kritiske, er gennem en årrække reduceret så meget, at de ikke forekommer i sundhedsmæssige kritiske niveauer. CO vil yderligere blive reduceret fremover som følge af udbredelsen af katalysatorer. SO₂, som

primært stammer fra kul- og olieafbrænding, er blevet reduceret væsentligt gennem røgrensning og brændsler med lavere svovlindhold. Bly tilsættes ikke længere i benzin, heller ikke i "blyholdig benzin".

Der er kun bindende grænseværdier for NO₂, ozon og TSP (Total Suspended Particles). Selvom de bindende grænseværdier ikke er overskredet vurderes luftforureningen at have væsentlige sundhedsmæssige konsekvenser for befolkningen. EU og WHO arbejder med revision af de bindende og vejledende grænseværdier, som vil blive skærpet i de kommende år.

Luftvejsirritanter, kræftfremkaldende stoffer og allergi

Stofferne NO₂, ozon, formaldehyd og acrolein virker luftvejsirriterende, og er især et problem for personer som lider af luftvejssygdomme som astma og kronisk bronkitis, og kan være en medvirkende årsag til udvikling af luftvejssygdomme. Stoffer som PAH (Polycykliske Aromatiske Hydrocarboner), benzen, 1,3-butadien, formaldehyd og acrolein vurderes at være kræftfremkaldende. Partikler er en medvirkende faktor, som bærer af kræftfremkaldende stoffer. Risikoen for at udvikle kræft vil være forøget ved stigende eksponering for alle befolkningsgrupper, men personer som i forvejen har svækket immunforsvar har større risiko. Luftforureningen kan forværre tilstanden hos personer, som lider af luftvejsallergiske sygdomme, og undersøgelser antyder, at visse luftforurenende stoffer som partikler og ozon kan forstærke udviklingen af allergi, men resultaterne er ikke entydige.

Kombinationseffekter

I udeluften optræder stofferne ikke hver for sig men altid sammen, hvorfor kombinationseffekter i visse tilfælde kan forstærke effekten. Sundhedseffekter er derfor i høj grad knyttet til den samlede påvirkning fra luftforureningen snarere end til det enkelte stof. For luftvejsirritanter som fx NO₂ og ozon regner man med en additiv effekt. For de kræftfremkaldende stoffer har man på nuværende tidspunkt langtfra identificeret alle kræftfremkaldende enkeltkomponenter i trafikudstødningen, og kombinationseffekter mellem de kræftfremkaldende stoffer og øvrige komponenter er i vid udstrækning uafklaret. Foreliggende data tyder dog på, at den kræftfremkaldende effekt af den samlede udstødning/luftforurening overstiger summen af de enkelte kræftfremkaldende stoffer dvs. en synergistisk effekt.

Opgørelse af de sundhedsskadelige effekter

De irritative stoffer vil være til størst gene for personer, som lider af luftvejslidelser. Omkring 6 % eller ca. 233.000 personer blandt den voksne del af befolkningen har langvarige luftvejslidelser, som er meget hæmmende i dagligdagen fx astma og kronisk bronchitis (DIKE 1995).

For kræftfremkaldende stoffer anser Miljøstyrelsen et eksponeringsniveau, der svarer til en 10⁻⁶ livstidsrisiko for tolerabel (det niveau der over en 70-årig periode teoretisk set vil medføre et ekstra kræfttilfælde blandt en million personer). Ud fra sådanne livstidsrisikoberegninger og de målte niveauer af PAH og benzen og skønnede niveauer af 1,3-butadien i København kan det årlige ekstra antal kræfttilfælde pr. en million byboere skønnes til 3-6 for disse stoffer. Dette skøn undervurderer dog den samlede effekt pga. kombinationseffekter blandt andet med partikler.

Såfremt man kan overføre udenlandske resultater til danske forhold vil en reduktion af det aktuelle partikelniveau af PM₁₀ på ca. 30% svare til et fald i den årlige dødelighed på omkring 500 personer pr. 1 millioner mennesker i de større byområder. Til sammenligning dør der årligt omkring 550 personer ved trafikulykker i Danmark. Hertil kommer, at et betydeligt større antal personer må forventes at blive 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

og hjerte-karsygdomme. Forekomsten af hjerte-karsygdomme i den voksne befolkning er ca. 6 % eller 259.000 (DIKE 1995).

Partikler

Som det fremgår af ovenstående er partikler den mest kritiske luftforureningskomponent mht. dødelighed og sygelighed. Problemstillingen er ikke helt enkel, fordi partikler - i modsætning til mange andre luftforureninger ikke er en veldefineret kemisk forbindelse. Alt efter kilderne og de atmosfæriske forhold varierer de både i fysisk form og 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 Tm. Disse partikler er blevet dannet i forbindelse med forbrændingsprocesser eller ved efterfølgende kondensation af forbrændingsgasser. De har en relativ 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 Tm. I trafikerede byer dominerer partikler fra disse to partikelfraktioner. Kemisk består de overvejende af nitrat, sulfat ammonium og kulstof. Desuden indeholder disse mindre partikler hovedparten af luftens indhold af PAH og tungmetaller. Den tredje fraktion består af partikler med en diameter over 2 Tm; de skyldes støvformige emissioner fra virksomheder, friktionsprocesser (fx dækslid) eller ophvirvlet støv. Denne noget grovere fraktion har som regel et højt indhold af jordminerale.

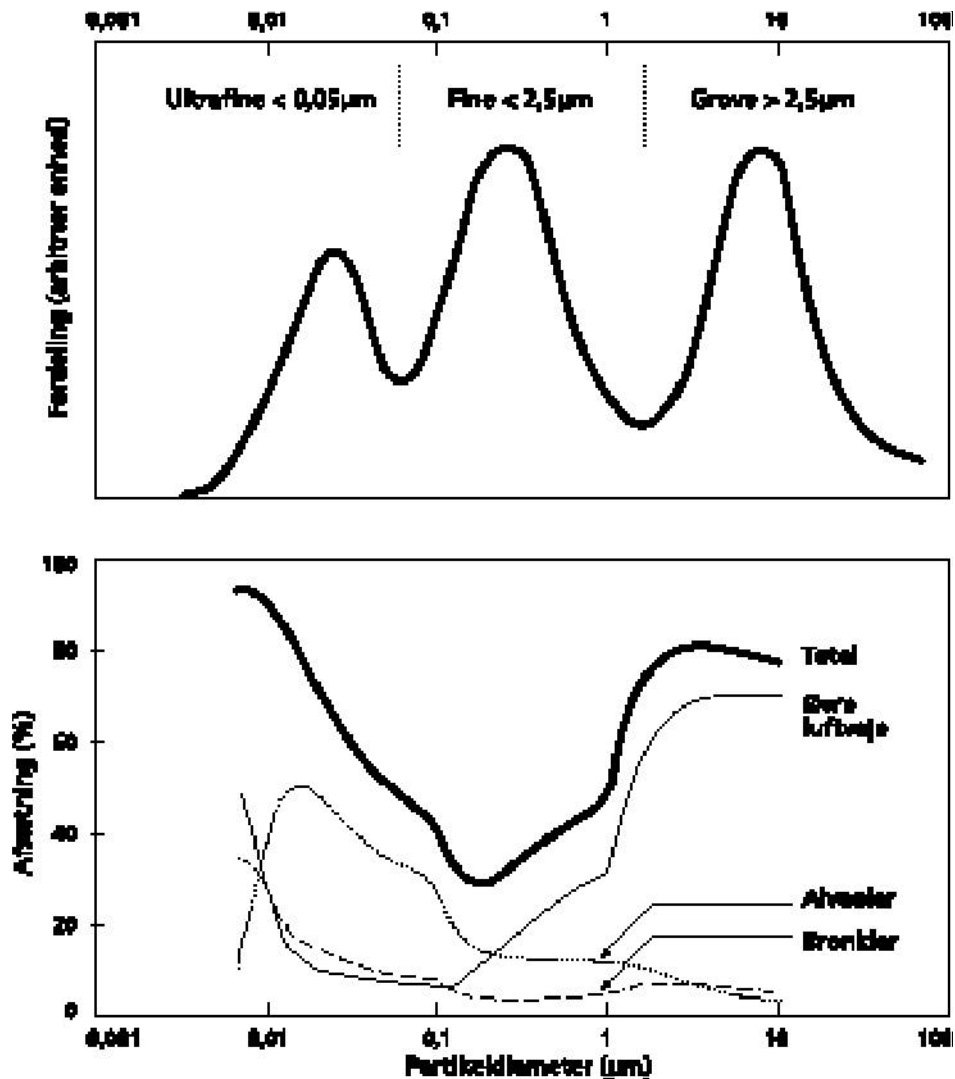
Monitering af partikler

Gennem mange år har man registreret luftens indhold af partikler med den såkaldte OECD metode, der er baseret på måling af sværtning af filtre, hvor igennem 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 har herved bestemt luftens totale indhold af partikulært stof, på engelsk forkortet TSP. 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 Tm. 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 Tm) samt endnu finere partikelfraktioner.

Anvendelsen af forskellige målemetoder vanskeliggør en vurdering af udviklingen i forureningsniveauer. Resultaterne kan til en vis grad omregnes, men der er for forskellige områder ikke samme sammenhæng mellem BS og TSP, fordi partiklerne kan have forskellig farve. Cementstøv, der er lyst, registreres således ikke særligt effektivt ved sværtning.

Også størrelsesfordelingen kan have betydning. Målinger fra Erfurt, en by i det tidligere DDR, viser således, at partikelindholdet (her målt som PM_{2,5}) er faldet markant efter genforeningen, hvor der blev indført opvarmning med gas i stedet for brunkul og udskiftning af østtyske biler med nyere vesteuropæiske modeller. Alligevel er indholdet af endnu mindre partikler (0,01-0,1 Tm) mere end fordoblet, og antallet af partikler er forøget.



Øverst:
Størrelsesfordeling af luftbårne partikler i byluft.

Nederst:
Partikelafsætningen i forskellige regioner af luftvejene hos en voksen mand. Sandsynligheden for afsætning afhænger af partiklernes størrelse og er generelt størst for små partikler. En høj totalafsætning for store partikler skyldes, at disse afsættes i de øvre åndedrætsorganer, hvor de ikke har større helbredsmæssige virkninger (figuren er baseret på HMSO 1995).

Forureningsniveauer

I Europa varierer de årlige middelværdier af PM_{10} fra 10 Tg/m^3 i renluftområder til over 100 Tg/m^3 i stærkt industrialiserede områder. De seneste tre år har der ikke været nogen signifikant udvikling. Emissionsopgørelser for Storbritannien, Tyskland og Holland antyder dog, at der er sket et fald i udslip.

I danske byer er partikler blevet monitoreret under LMP (Det landsdækkende luftkvalitetsmåleprogram), der blev oprettet i 1982 og i forskelligt omfang har været fortsat siden da (Kemp, Palmgren 1995). I 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 fra slutningen af 1960'erne.

I Københavns centrum faldt den årlige middelkoncentration af sod fra næsten 100 Tg/m³ i 1968 til under 20 Tg/m³ i slutningen af halvfjerdserne. Derefter steg den i nogle år - muligvis pga. forøget kulfyring og vækst i antal af dieslbiler, men den er nu igen under 20 Tg/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 Tg/m³ med ca. 140 Tg/m³ som 95-percentil.

Foreløbige målinger af PM₁₀ i København, antyder et bybaggrunds niveau på 20-25 Tg/m³, mens niveauer på 30-35 Tg/m³ er observeret langs en stærkt trafikeret vej (Frøsig & Moseholm 1996). Indikative målinger af PM_{2,5} i København viser gennemsnitsniveauer på omkring 19 Tg/m³ langs en trafikeret gade (Jagtvej) målt over 5 måneder og et bybaggrunds niveau omkring 13 Tg/m³ målt over 1 måned (Frøsig et al. 1997). Miljøkontrollen i København har ligeledes i en stærkt trafikeret gade (H.C. Andersens Boulevard) målt PM_{2,5} til 9 Tg/m³ i gennemsnit over en et årig periode (Miljøkontrollen, 1997). Forskelle i niveauer på Jagtvej og H.C. Andersens Boulevard kan være begrundet i forskelle mellem målemetoder, tidsperioder og lokaliteter. Forholdet mellem TSP, PM₁₀ og PM_{2,5} for en stærk trafikeret vej i København (Jagtvej) er 1.00/0.52/0.30, hvilket er i god overensstemmelse med observationer fra andre lande, idet grove omregningsfaktorer er 1.00/0.55/0.33.

Befolkningens eksponering

Ved indånding af partikler (figur, nederst) opfanges de grovere partikler (diameter over 10 Tm) i de øvre luftveje i næse og svælg. Partikler under 10 Tm afsættes også længere nede i luftvejene i bronchier og bronchioler, mens partikler under 5 Tm vil være i stand til at kunne trænge helt ud i lungernes yderste forgreninger, alveolerne. Jo længere nede i lungerne partiklerne afsættes, jo længere tid går der, før de elimineres af lungernes forsvarsmekanismer. I alveolerne kan eliminationstiden være måneder til år. Det betyder i sig selv, at små partikler har større sundhedsskadelig effekt. Hertil kommer, at de finere partikler modsat de grovere er i stand til at trænge ind i bygninger og opretholde stort set de samme niveauer som i udemiljøet, hvorved man bliver udsat for dem både ude og inde. Samtidige målinger af PM_{2,5} udendørs og indendørs i København har vist at indendørskoncentrationerne var 85 % af udendørskoncentrationerne (Frøsig & Sherson, 1997).

Folk udsættes fortrinsvis for partikelforurening, og i særdeleshed fra trafik, hvis de bor i de større eller mellemstore byområder. I Danmark gælder det 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 hvor fysisk aktive de er. Den mængde luft som indåndes øges således betydeligt ved løb og cykling. Yderligere synes den generelle sundhedstilstand at spille en rolle. En forholdsvis ny amerikansk laboratorieundersøgelse har således vist, at personer med kroniske luftvejslidelser pga. ændret vejrtrækningsmønster og luftgennemstrømning i luftvejene ved realistiske partikelniveauer tilbageholdt op til fem gange så mange partikler som raske (Bennett et al. 1997).

Helbredsmæssige virkninger

Kortvarig eksponering

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 mht. en eller flere effektparametre, fx: 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 meget enstemmende fundet en øget dødelighed i tilknytning til dage med forhøjet luftforurening. Undersøgelserne angiver en øget dødelighed på mellem 0,8 og 1,6% for hver gang PM_{10} -partikelindholdet steg 10 Tg/m^3 . Især steg dødeligheden som følge af hjerte-karsygdomme og luftvejslidelser. Over for andre forureningskomponenter fandt man 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 af denne type undersøgelser fandt man, at en stigning i det daglige partikelniveau på 10 Tg/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%.

Langvarig eksponering

Andre undersøgelser har vurderet partikelforureningens kroniske effekter, idet man her har sammenlignet dødelighed, forekomsten af luftvejssygdomme eller lungefunktionen 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 USA. 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 $33,5 \text{ Tg/m}^3$ (målt som $PM_{2,5}$). I den første undersøgelse steg dødeligheden 14% ved en øgning af $PM_{2,5}$ partikelniveauet på 10 Tg/m^3 (svarende til 8% for PM_{10}) og i den anden var stigningen på 7% (svarende til 4% for PM_{10}). I undersøgelserne var der indhentet oplysninger om 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 konstateres for de andre luftforureningskomponenter.

Sammenholdes dette med andre, tidligere undersøgelser er der således en velunderbygget sammenhæng med en øget dødelighed på ca. 1-8% for en 10 Tg/m^3 stigning i det gennemsnitlige partikelindhold bestemt som PM_{10} med et gennemsnit på omkring 4%.

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 Tg/m^3 (PM_{10}) er relateret til 2% stigning i hospitalsindlæggelser og skadestuebesøg pga. af luftvejslidelser, en 2% nedgang i lungefunktionen og en øget forekomst på 10-25% i befolkningen af bronkitis og kronisk hoste.

Vurdering af effekterne

Samlet må partikelforureningen vurderes at medføre betydelige sundhedsskadelige effekter. Især personer, der lider af luftvejs- og hjertekarsygdomme 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 (dvs. en negativ påvirkning af den gennemsnitlige levealder).

Ved en vurdering af disse data har man for USA beregnet at partikelforureningen er relateret til 60.000 dødsfald pr. år, mens tilsvarende tal for England og Wales er anslået til 10.000 dødsfald. En hollandsk vurdering peger på et fald i den gennemsnitlige levealder på 1,1 år pr. 10 Tg/m³ indhold af PM_{2,5} partikler i luften.

En vurdering af partikeleffekterne i Danmark er naturligvis behæftet med stor usikkerhed, da der ikke rutinemæssigt har været målt PM₁₀ og PM_{2,5}. De hidtidige målinger tyder dog på, at de danske niveauer er af samme størrelse som de niveauer, hvorved der er fundet effekter i udenlandske undersøgelser. Anvendes de anførte dosis-respons sammenhænge for danske forhold, hvor en 10 Tg/m³ stigning i det gennemsnitlige partikelindhold (bestemt som PM₁₀) giver en øget dødelighed på ca. 4% kan det anslås, at en reduktion af det aktuelle partikelniveau på ca. 30% ville svare til et fald i den årlige dødelighed på omkring 500 personer pr. 1 millioner mennesker i de større byområder. Hertil kommer, at et betydeligt større antal personer må forventes at blive påvirket af partikelforureningen med en forringelse af sundhedstilstanden og øget sygelighed til følge. Personer med luftvejslidelser eller hjerte-karsygdomme er de mest følsomme. Til sammenligning dør der årligt omkring 550 personer ved trafikulykker.

EU's grænseværdier, der gælder herhjemme, er på 300 Tg/m³ TSP som 95-percentil og 150 Tg/m³ som årgennemsnit. I de ovennævnte undersøgelser er der konstateret effekter ved niveauer væsentligt under disse grænseværdier. WHO anfører i deres seneste vurdering af partikler i forbindelse med opdateringen af deres Air Quality Guidelines, at der ikke kan angives nogen vejledende grænseværdi for partikler, idet der ikke ud fra data kan fastsættes et nedre effektniveau for partikler. (I 1987 var WHO's vejledende grænseværdi for partikler på 120 Tg/m³ som TSP og 70 Tg/m³ som PM₁₀, som 24 timers gennemsnit).

Endnu kan man ikke fuldt ud forklare, hvorfor partikler medfører de nævnte effekter bl.a. savnes der en afklaring af, i hvor høj grad det er koncentrationen af de helt fine partikler (ultrafine partikler mindre en 0,05 Tm), der er ansvarlig for de sundhedsmæssige effekter, og hvilken rolle den kemiske sammensætning af partiklerne spiller. Endvidere synes kombinationseffekter mellem partikler og de øvrige luftforureningskomponenter at kunne have stor betydning for forureningens samlede effekt.

Udviklingen i fremtiden

Den voksende erkendelse af, at partikler udgør en væsentlig del af sundhedsbelastningen fra luftforurening, har naturligt medført, at der både nationalt og internationalt arbejdes på en reduktion af partikeludslippet.

Den danske regerings og Trafikministeriets redegørelser "Transporthandlingsplanen" fra 1990 og "Trafik 2005" fra 1993 har som mål en 50% reduktion af partikelemissionen fra trafik i byerne frem til 2010 i forhold til referenceåret 1998, og en yderligere reduktion efter 2010 (Trafikministeriet 1990 og 1993). Målet for 2010 forventes opfyldt ved allerede vedtagne skærpede emissionskrav til køretøjer. Dette har resulteret i, at nye benzindrevne personbiler siden 1990 har katalysator. Selvom en katalysator ikke direkte påvirker partikelemissionen, betyder den nødvendige blyfri benzin, at den reduceres. Skærpede emissionskrav til dieselskøretøjer vil fremover reducere partikelemissionen. Den samme virkning har den stigende overgang til dieselolie med lavere svovlindhold samt indførelse af periodisk syn af biler fra 1998.

EU kommissionen har i samarbejde med repræsentanter for den europæisk bil- og olieindustri iværksat det såkaldte Auto-Oil Programme (EU Commission 1996). Dets formål er at fastlægge en strategi for den mest omkostningseffektive metode til overholdelse af fastsatte grænseværdier for luftkvaliteten i byer i 2010, og det skal danne baggrund for fremsættelse af direktiver for emissionsnormer, brændstofs-kvalitet og ikke-tekniske tiltag. Denne tilgang er ny, idet tidligere regulering har taget udgangspunkt i bedst tilgængelige teknologi. I kommissionens forslag, der endnu

ikke er vedtaget, skal partikelemissionen reduceres med omkring 50-65% frem til 2010 i forhold til 1995 for at nå luftkvalitetsmålene. Luftkvalitetsmålene er fastsat for bybaggrunden, og er derfor gennemsnitsmål som ikke inddrager, at eksponeringen er langt højere ved ophold i trafikerede gaderum.

Det er endnu uvist, hvilke konsekvenser Auto-Oil programmets forslag om reduktion af partikelemissionen vil have for luftkvaliteten i danske byer. Det er i denne forbindelse væsentligt at få udviklet pålidelige modeller, som kan forudsige partikelkoncentrationen, men det er også vanskeligt, fordi partikler er komplicerede mht. oprindelse, størrelse, omdannelse, afsætning og udvaskning.

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 Måleprogram (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.

Referencer

Bennett, W.D., Zeman, K.L., Kim, L., Mascarella, J. 1997: Enhanced Deposition of Fine Particles in COPD patients spontaneously Breathing at Rest. *Inh. Toxicol.*, Vol. 9, s. 1-14.

DIKE (Dansk Institut for Klinisk Epidemiologi) 1995: Sundhed og sygelighed i Danmark 1994 - udviklingen siden 1987, s. 335.

EU Commission 1996. The European Auto Oil Programme. A report by the Directorate Generals for: Industry; Energy; and Environment, Civil Protection & Nuclear Safety of the European Commission. 43 s. + appendix.

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

Frøsig, A. & Sherson, D. 1997: Subject Indoor and Outdoor PM_{2,5} Exposure Profiles. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 41, Supplement 1, s. 707-713.

Frøsig, A., Moseholm, L., Palmgren, F. 1997: Fine Particulate matter in Central Copenhagen Measured by Nephelometer and TEOM-Instrument (submitted).

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

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

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

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.

Miljøkontrollen 1997. Privat kommunikation. Resultater ikke slutvalideret.

Trafikministeriet 1990: Regeringens Transporthandlingsplan for Miljø og Udvikling. København. 198 s.

Trafikministeriet 1993. Trafik 2005. Problemstillinger, mål og strategier. 109 s.