

MILJØstyrelsen
Industri & Transport

15. juni 2005
4034-0053
CLF/PBL/FPJ/MAG

Luftforurening med partikler

Miljøstyrelsen har gennem de seneste 4 år gennemført en række projekter omkring luftforurening med partikler som en del af regeringens Miljø og Sundhedsindsats. Der er i alt anvendt 14 mill. kr. Den vigtigste bidrag er blevet leveret af Danmarks Miljøundersøgelser (DMU), som har kortlagt forureningen gennem et omfattende måle- og analyseprogram. Der er desuden gennemført en række projekter, der har undersøgt sundhedsmæssige effekter og mulige modtiltag.

Dette notat gennemgår en række af de vigtigste resultater.

Hvad er luftforurening med partikler

Luftforurening med partikler er et resultat af emissioner (udledning til luften), spredning i luften og kemiske og fysiske omdannelser. Lave kilder (f.eks. trafik og lokal boligopvarmning) giver anledning til høj lokal luftforurening, og sådanne kilder i byområder vil derfor medføre relativ stor eksponering af befolkningen. Forureningen fra høje punktkilder (f.eks. kraftværker) fortyndes betydeligt, før den når jordoverfladen og giver derfor ikke anledning til væsentlig eksponering af befolkningen i Danmark, men bidrager til den generelle baggrundsforurening i Europa. Tilsvarende påvirkes Danmark i betydelig grad af forureningen fra det øvrige Europa. Endelig findes naturlige kilder til partikler i luften, f.eks. jordstøv, salt fra havet og skovbrande. Partikler fra naturlige kilder er generelt større og anses for at have færre sundhedseffekter end menneskeskabte forbrændingspartikler.

Almindeligvis anvendes begreberne PM_{10} , der omfatter partikler op til 10 μm (1/1000 mm) i diameter, og $PM_{2,5}$, der omfatter partikler op til 2,5 μm i diameter.

Ultrafine partikler og nanopartikler er partikler under 0,1 μm . De dannes ved høj temperatur, f.eks. i forbrændingsmotorer, kraftværkskedler eller industrielle processer. En del af de ultrafine partikler er sodpartikler, som primært stammer fra dieseldrevne biler og brændeovne. Disse partikler har typiske størrelsen 0,08-0,1 μm , og trænger dybt ned i lungerne. En række undersøgelser har vist, at sodpartikler med deres indhold af mange forskellige kemiske forbindelser er særligt sundhedsskadelige.

De fine partikler (under 2,5 μm) kan holde sig svævende i flere uger og dermed transporteres over adskillige tusinde kilometer. Som følge af fysiske og kemiske processer i atmosfæren indeholder disse partikler en stor andel af ammonium-sulfat og ammonium-nitrat. Sulfat og nitrat stammer hovedsageligt fra forbrændingsprocesser (udsendt som SO_2 og NO_x), mens ammonium hovedsageligt stammer fra landbrugets udslip af ammoniak.

Som følge af et lavere indhold af svovl i brændstoffer i Europa og indførslen af afsvovling på kraftværker kan man se et betydeligt fald i partiklernes svovlindhold gennem de seneste år.

Grove, luftbårne partikler dannes typisk ved forskellige mekaniske processer, f.eks. jord- og vejstøv ophvirvlet af vinden, grusning og saltning til glatføre bekæmpelse, havsprøjt (som tørrer ud til saltpartikler), vulkaner, vegetation (pollen), dæk- og kørebaneslid, trafikskabt turbulens i gader, byggeri og industrielle aktiviteter. Disse partikler har en kort levetid, idet de pga. deres vægt kun holder sig svævende i kortere tid.

Partikelforureningen og dens sundhedsmæssige konsekvenser

Partikelforureningen har længe været kendt som sundhedsskadelig, især i forhold til luftvejssygdomme og hjertekarsygdomme, og meget tyder på, at de små partikler udgør det alvorligste sundhedsproblem i relation til luftforurening. I forbindelse med indsatsen inden for Miljø og Sundhed har det været vigtigt at opnå en større viden om eksponering og de sundhedsmæssige konsekvenser af partikelforureningen for danske forhold, og opnå en øget forståelse for, hvilke befolkningsgrupper der især er i risiko og årsagen til dette.

Der er på nuværende tidspunkt afsluttet 3 projekter der beskæftiger sig med dette område, mens 2 projekter stadig pågår.

Times Series Study of Air Pollution and Health Effects in COPSAC Children

Projektet er udført af Institut for Folkesundhedsvidenskab på Københavns Universitet og har undersøgt sammenhænge mellem daglig luftforurening i Københavnsområdet og hvæsende vejrtrækning hos 411 børn fulgt fra fødslen og til 18-månedersalderen. Børnene havde alle arvelig risiko for at udvikle astma og an-

dre allergiske sygdomme. Undersøgelsen fandt, at høj luftforurening målt ved Jagtvej og på H.C. Andersens Boulevard var sammenfaldende med, at flere af de børn, der boede i det centrale København, havde hvæsende vejrtrækning i de følgende dage. Blandt børn der boede længere fra Københavns centrum, var der en meget svagere sammenhæng mellem luftforurening og symptomer. Luftvejs-symptomerne var især knyttet til de målte niveauer af kulilte og kvælstofoxider (NO_x), som helt overvejende stammer fra trafik. Der var også sammenhæng med de målte niveauer af PM_{10} og ultrafine partikler, men mindre udtalt.

Eksponering for ultrafine partikler fra trafikken i København

Projektet blev udført af Institut for Folkesundhedsvidenskab på Københavns Universitet. Ved hjælp af personbåret måleudstyr blev eksponeringen for ultrafine partikler målt hos en række forsøgspersoner i København over en periode på i alt 8 dage. I 5 af forsøgsdagene cyklede forsøgspersonerne en strækning på ca. 20 km langs stærkt trafikerede veje i myldretiden. Efter hver måledag blev der taget blodprøver til bestemmelse af antallet af DNA-skader i hvide blodlegemer. Forsøget viste, at øget udsættelse for ultrafine partikler under cykling i myldretiden i København medførte et markant øget antal DNA-skader i hvide blodlegemer. Effekten på hvide blodlegemer af ultrafine partikler fra trafikken i udemiljøet viste sig endvidere at være ca. 3 gange større end effekten, af tilsvarende dosis af ultrafine partikler i indemiljøet.

Gennem projektet har man udviklet en metode til måling af personlig eksponering med ultrafine partikler, og belyst i hvilke situationer forsøgspersonerne udsættes for ultrafine partikler i dagligdagen, samt fundet en relevant biologisk effekt-markør i form af DNA-skader i hvide blodlegemer i forbindelse med kort tids eksponering. Projektet er det første af sin art også i international sammenhæng.

DNA-skader i blodet kan ikke i sig selv betragtes som en sundhedsskadelig effekt, og projektet kan således ikke anvendes i forbindelse med en egentlig risikovurdering. Effekterne på blodet peger dog på, at ultrafine partikler medfører et biologisk respons, og at dette muligvis kan spille en rolle for de sundhedsskadelige effekter, som vi ved partikelforureningen har.

The indoor and outdoor concentrations of particulate air-pollution and PAHs in different size fractions and assessment of exposure and health impacts in the Copenhagen population

Projektet blev udført af Arbejdsmiljøinstituttet i København og har målt forskellige partikelstørrelser og PAH-niveauer (tjærestoffer) i udeluften i Københavns dels i bybaggrund og dels ved en trafikeret vej (Jagtvej) gennem 15 uger. I tilsva-

rende perioder er der endvidere målt indendørs i en ubeboet 3. sals lejlighed på Jagtvej for at sammenligne ude- og indeniveauerne.

Resultaterne viser, at der er sammenhæng mellem ude- og indeniveauerne. Niveauerne af tjærestoffer udendørs ved bopælen har betydning for niveauerne indendørs, hvor der dog også kan måles bidrag fra indendørs kilder.

Såfremt de seneste dosis-respons-sammenhænge for partikler fra udenlandske befolkningsundersøgelser anvendes på dette materiale for udemålinger, vurderes det, at partikelforureningen ved de angivne niveauer årligt kan medføre ca. 780 ekstra for tidlige dødsfald, hvilket svarer til en reduceret middellevetid på ca. ½ år. Partikelforureningen giver endvidere anledning til ca. 1560 flere hospital-sindlæggelser på grund af hjertekarsygdomme og luftvejsproblemer per 1 million københavnere. Dette er i overensstemmelse med tidligere vurderinger. Hertil skal bemærkes, at ud fra en gennemsnitsbetragtning er det kun 5-10% af partikelforureningen, som københavnernes udsættes for, der stammer fra danske kilder.

Ud fra PAH-indholdet, målt som B(a)P, beregnes ti ekstra kræfttilfælde blandt 1 million københavnere over en 70-årig periode, og indholdet af tjærestoffer alene anses kun at have en ringe betydning for partiklernes kræftfremkaldende effekt.

Projektet har givet øget viden om, hvorledes variationer i partikelniveauerne udendørs ved bopælen og i bybaggrunden har betydning for befolkningens udsættelse indendørs. Den mere detaljerede viden om niveauerne ude og inde af tjærestoffer er ny. De beregnede sundhedsskadelige effekter bekræfter tidligere beregninger mht. omfanget af effekter.

Karakterisering af partikelforureningen

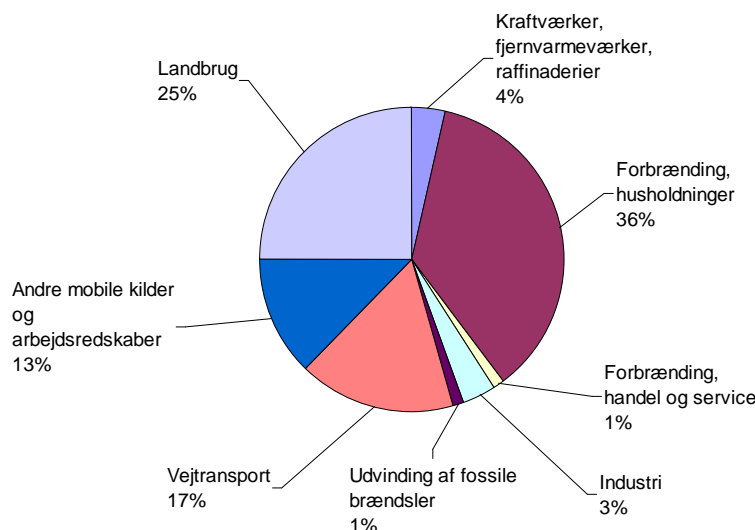
I det følgende gives et kort resumé af de målinger og analyser DMU har gennemført.

Emissioner af partikler

Trafikkens bidrag til de samlede partikelemissioner i Danmark udgør en væsentlig andel. Andre mobile kilder, som også bidrager med en stor andel, er især traktorer samt landbrugs- og entreprenørmaskiner, men også tog, indenlandske færger, fiskerbåde og andre indenlandske skibe er med i denne kategori. Individuel

opvarmning er en anden stor post, hvoraf knap 90 pct. af partikeludslippet skønnes at stamme fra brændeovne.

Luften i Danmark er desuden påvirket af kilder i det øvrige Europa. Den samlede emission i Europa er af størrelsesordenen 100 gange større end de danske emissioner og vil derfor påvirke den danske luftkvalitet i væsentlig grad.



Figur 1. Relative emissioner af PM₁₀ fra danske menneskeskabte kilder opgjort for år 2002.

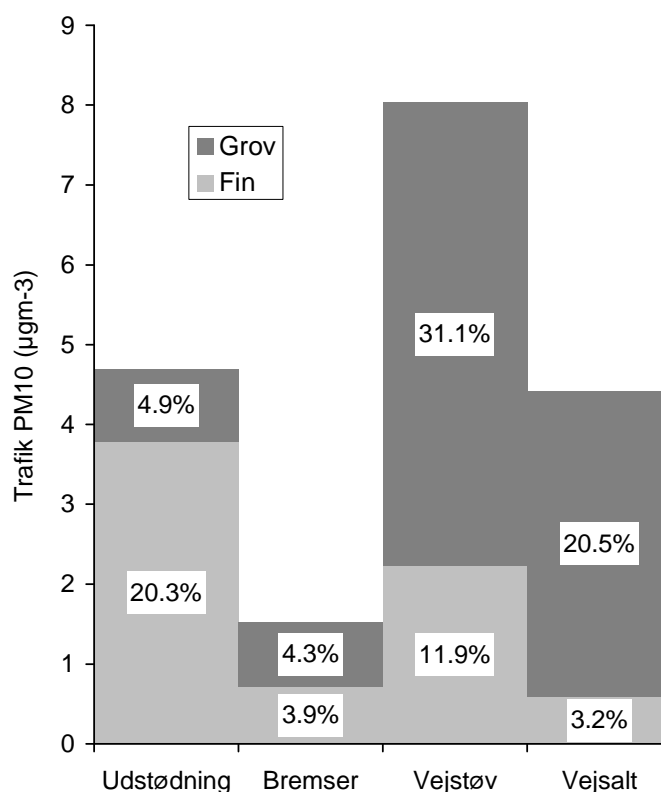
Partikelforurening fra trafikken

Danmarks Miljøundersøgelser har udført omfattende undersøgelser af partikelforureningen fra trafikken. Formålet har været at bestemme trafikkenes forskellige bidrag til partikelforureningen, som bl.a. dannede grundlag for beregninger af befolkningens eksponering med partikler.

Trafikkens bidrag til PM_{2,5} skyldes først og fremmest sodpartiklerne i udstødningen fra dieslbiler, men i takt med at miljøkravene til dieslbiler skærpes spiller partikler fra dæk og bremses fra alle type køretøjer en større og større rolle.

Almindelige benzinbiler bidrager også til PM_{2,5} med partikler fra bremseslid, samt fra dæk- og vejslid. Bremsepartiklerne er væsentligt større end sodpartiklerne, men de har stadig en størrelse, der gør, at de vil kunne afsættes dybt i lungerne. De har desuden et højt indhold af mere eller mindre toksiske metaller.

Partikler fra bremses og udstødning udgør tilsammen ca. 1/3 af PM_{10} fra trafikken på H.C. Andersens Boulevard. Resten skyldes vejstøv (herunder også støv, der stammer fra dækslid) og vejsalt og baggrundsforureningen.



Figur 2. Trafikkens bidrag på H.C. Andersens Boulevard i København. Den lyse gråtone viser koncentrationen af $PM_{2,5}$, mens lys+mørk viser PM_{10} .

Fra 1985 til 2002 er udslippet af udstødningspartikler fra vejtrafikken faldet med 30%, mens udslippet af slidrelaterede partikler er steget med 43% i samme periode i takt med stigningen i trafikarbejdet. Emissionerne fra varebiler og tunge køretøjer er faldet markant siden midten af 1990'erne pga. skærpede emissionsnormer i EU og dermed i Danmark. Andelen af slidrelaterede partikler forventes fortsat at stige fremover, som følge af det stigende trafikarbejde. De seneste års stigende salg af dieselpersonbiler har desuden medført, at det samlede udslip af partikler fra personbiler er øget.

Målinger af partikelantal viser, at partiklerne i størrelsesområdet $< 0,1 \mu m$ (de såkaldte ultrafine partikler) er absolut dominerende. Nogle af partiklerne er sodpartikler, men de mindste, som også er de fleste, er kondensater af svovlsyre og halvflygtige organiske forbindelser, bl.a. brændstof og smørelie, som også bidrager til metalholdige askepartikler. Nanopartikler ($< 0,03 \mu m$), der udsendes fra både dieselkøretøjer og ældre benzinbiler, bidrager meget til partikelantallet,

men deres bidrag til $PM_{10}/PM_{2.5}$ er meget lille. For de moderne dieslbiler med oxiderende katalysator (fx. taxier) er $PM_{10}/PM_{2.5}$ bidraget så godt som nul, fordi partiklerne er væsentligt mindre i størrelse end de tilsvarende fra dieslbiler uden katalysator.

Partikler fra brændeovne

I Danmark er antallet af brændeovne og -kedler steget i løbet af de seneste år bl.a. pga. de højere priser på olie og el. Danmarks Miljøundersøgelser har gennemført undersøgelser af betydningen af brændeovne og -kedler for partikelforureningen i Danmark. Undersøgelserne omfattede emissioner af partikler fra brændeovne og -kedler samt målinger af partikelniveauer i et boligområde med mange brændeovne.

Træfyrede anlæg i husholdninger (brændeovne og kedler) har vist sig at være en vigtig kilde til udslip af partikler i Danmark. På trods af, at træ kun udgør ca. 20% af husholdningernes brændselsforbrug, stammer 93% af husholdningernes udledning af fine partikler ($PM_{2.5}$) fra denne kilde.

Den seneste opgørelse fra DMU over partikeludslippet i Danmark viser, at der udsendes ca. 10.000 tons små partikler fra husholdningernes forbrænding af træ, hvilket næsten er halvdelen af det totale udslip af $PM_{2.5}$ i Danmark.

Brændefyring forurener langt mere med fine partikler end både anlæg, der producerer fjernvarme, og små olie- og naturgasfyrede kedler. For eksempel er partikeludslippet pr. indfyret energienhed fra husholdningers forbrænding af træ ca. 600 gange større end udslippet fra kulfyrede kraftværker og ca. 250 gange større end for kraftvarmeværker, der anvender træ og affald.

Målinger af luftforurening i et kvarter med brændeovne

DMU har gennemført to målekampagner i vintrene 2002 og 2003/4. Målingerne blev foretaget i et rækkehusområde i Gundsømagle, en by med ca. 2500 indbyggere. Målestedet blev valgt som et typisk boligkvarter med mange brændeovne.

Målinger af partikelmasse viser som nævnt, at bidraget fra brændeovne hovedsageligt består af fine partikler $PM_{2.5}$. Målingerne i København viste en døgnvariation, der fulgte trafikintensiteten i løbet af dagen. I brændeovnsområdet var døgnvariationen anderledes, med højere niveauer om aftenen end på trafikerede gader i København pga. lokal fyring i brændeovne og – fyr. Der var en gennemsnitligt forøget $PM_{2.5}$ koncentration på ca. $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i brændeovnskvarteret gennem

en vinterperiode. Dette svarer til trafikens bidrag til $PM_{2,5}$ på fortovet ved en tæt befærde gade.

Resultaterne viser, at det største bidrag til $PM_{2,5}$ kommer fra langtransporteret luftforurening. Trafikkens bidrag til $PM_{2,5}$ i området er lavt, undtagen på enkelte dage. Afbrænding af træ giver et lille bidrag til $PM_{2,5}$ i hele perioden, men på dage med koldt og vindstille vejr er bidraget betydeligt. Endvidere viser beregningerne, at de største kilder til kulstof i partiklerne (sodpartikler) i brændeovnskvartret er afbrænding af træ og trafik.

Modelberegninger viser, at brændeovne kun bidrager ganske lidt til den samlede forurening med $PM_{2,5}$ i luften i Danmark (ca. 2 %). Brændeovnspartiklerne formodes dog at udgøre en større andel af den del af $PM_{2,5}$, der består af sod- og tjæreparkler (kulstof/PAH'er), som menes at bidrage betydeligt til partikelforureningens sundhedsskadelige effekter.

Udsættelse for partikelforurening

DMU's luftkvalitets- og eksponeringsmodeller er under projektet udviklet til at omfatte partikler, og kan fx. bruges til at belyse effekten af planlagte emissionsbegrænsende foranstaltninger. Modellerne er blandt andet anvendt til at give en foreløbig vurdering af effekten af indførelse af miljøzoner i København. Der er gennemført beregninger af luftkvaliteten mht. partikelantal (ultrafine partikler), $PM_{2,5}$ og PM_{10} for situationen i 2003 og et scenarium, hvor det er forudsat at alle lastbiler inden for den foreslåede miljøzone har partikelfiltre. I beregningerne forudsættes det, at filterne kan reducere partikler fra udstødningen med 80%.

Effekten af en miljøzone er begrænset for koncentrationen af $PM_{2,5}$ og PM_{10} i byggrunden, idet $PM_{2,5}$ og PM_{10} reduceres med maksimalt 2%. For antalskoncentrationen af partikler forventes en reduktion på 10 - 25% i luften indenfor miljøzonen.

Beregninger er ligeledes gennemført for 139 gader. Den gennemsnitlige reduktion i gaderne er 4% og 6% for henholdsvis PM_{10} og $PM_{2,5}$ og 13 - 20% i antallet af partikler ved introduktion af partikelfiltre på alle tunge køretøjer.

Som demonstration er gennemført en samfundsøkonomisk vurdering af indførelse af partikelfiltre på tunge køretøjer i miljøzonen. En sådan vurdering baserer sig på ændringen i luftkvalitet og befolkningseksponering, som følge af partikelfiltre. Denne vurdering har taget udgangspunkt i $PM_{2,5}$, hvor der er veldokumenterede faktorer for helbredseffekterne. Omkostningen ved miljøzonen er anslået

til ca. 80 mio. kr. årligt, mens de positive sundhedseffekter er beregnet til ca. 160 mio. kr. årligt. Det velfærdsøkonomiske overskud udgør dermed ca. 80 mio. kr. om året¹. Beregningen viser, at en miljøzone på årsbasis kan forebygge ca. 90 for tidlige dødsfald i hovedstaden.

En fuldstændig analyse af konsekvenserne af mulig indførelse af miljøzoner i København vil blive foretaget, når data og forudsætninger ved indførelse af miljøzoner foreligger.

¹ Med anvendelse af Transport- og Energiministeriets leveårsbaserede metode til opgørelse udgør gevinsterne ved miljøzonen 114 mio. kr. og overskuddet 34 mio. kr. på årsbasis.