

Luftforurening i byen – hvad er det og hvor meget udsættes vi?

Ole Hertel^{1,2} Martin Hvidberg¹, Steen Solvang Jensen¹ og Michael E. Goodsite¹

¹Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet, P.O. Box 358, Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde

²Institut for Miljø, Samfund of Rumlig Forandring, Roskilde Universitet Universitetsvej 1, DK-4000 Roskilde,

Manchet: Byerne er der, hvor befolkningen er mest udsat for forhøjet luftforurening. Sammensætningen og niveauet af luftforurening afhænger af byens placering, variation i udslip fra især lokale kilder men også af variation i meteorologiske forhold. Byens bygninger reducerer spredningen af luftforurening, som i bl.a. Danmark er størst i trafikerede gadeslugter.

Omkostninger

På verdensplan skønnes det, at luftforurening årligt er skyld i ca. 2 millioner for tidlige dødsfald (WHO, 2006). Hertil kommer en række andre negative helbredseffekter så som hospitalsindlæggelser, nedsat arbejdsevne, forringet livskvalitet relateret til luftvejslidelser (Braback and Forsberg, 2009; Patel and Miller, 2009), hjerte - kar sygdom (Polichetti et al., 2009; Puett et al., 2008), lungekræft (Pope et al., 2002), fosterskader (Stillerman et al., 2008) mm. Disse negative helbredseffekter har store både menneskelige og samfundsøkonomiske omkostninger. Man har således anslået de samfundsøkonomiske udgifter til at udgøre ca. 2 % af BNP i udviklede lande og ca. 5 % af BNP i udviklingslandene. Luftforureningen er generelt moderate i Danmark sammenlignet med mange andre lande, men alligevel viser forskningen, at effekten også her er betydelig. Det skønnes således, at de samfundsøkonomiske udgifter i Danmark ligger på linje med de øvrige udviklede lande. For en række forureningsparametre har man registreret en positiv udvikling mod lavere niveauer, men der er fortsat behov for nye tiltag. Den enkelte borger har mulighed for i noget omfang at påvirke sin forureningsudsættelse gennem enkle forholdsregler, som vi vil komme tilbage til senere i denne artikel. For generelt at nedsætte befolkningens eksponering i byerne kræves tiltag til reduktion af udslip enten lokalt eller regionalt. Internationale aftaler vil i de kommende år føre til betragtelige forbedringer af luftkvaliteten også i de danske byer, men nationale tiltag kunne med fordel anvendes til at fremskynde denne proces.

Partikler

Den partikelbårne forurening anses generelt for at være den mest sundhedsskadelige luftforurening. De fleste sundhedsstudier rettet mod luftforurening har fokuseret på massen af partikler under 2,5 eller 10 μm – det som betegnes henholdsvis PM2.5 og PM10. Det er imidlertid især de allermindste partikler – som betegnes ultrafine partikler eller nano-partikler – som trænger længst ned i vore luftveje. Disse partikler har næsten ingen masse men optræder i meget stort antal i fx trafikerede gader. Der er fortsat stor uklarhed omkring de helbredsmæssige effekter, og måske er de mest skadelige partikler i grænseområdet mellem fine og ultrafine partikler. Der er mange forskningsprojekter i gang i disse år, hvor man ser på den kemiske sammensætning af partiklerne i forskellige størrelsesfraktioner. Denne forskning vil få stor betydning for hvordan partikelforurening vil blive reguleret i de kommende år.

By og spredning

De største negative helbredseffekter ses i byområderne, hvor man finder de højeste niveauer af luftforurening og også har den største koncentration af mennesker. Mere end halvdelen af verdens befolkning bor således i byer, og det forventes endvidere, at denne andel over de kommende 50 år vil stige til to tredjedele (UNFPA, 2007). Årsagen til de forhøjede luftforureningsniveauer i byerne er tilstedeværelsen af bygninger, som reducerer spredningen af forurening fra de lokale kilder. Imidlertid er der også andre faktorer, som har indflydelse på de lokale forureningsniveauer (Hertel and Goodsite, 2009). Det gælder byens beliggenhed, sammensætningen af lokale kilder samt byens fysiske udformning. Placering i en dal eller lavning medfører mindre vind og dermed spredning – velkendte eksempler er Los Angeles, Mexico City, og Milano. Det aktuelle forureningsniveau i en by på et givet tidspunkt er styret af variationen i især de lokale udslip samt de aktuelle meteorologiske forhold. De meteorologiske forhold er her styrende for både fortynding og transport af luftforurening.

Husholdninger og akut effekt

I tredje verdenslande kan udslip fra lokal industri samt de enkelte husstande (opvarmning og madlavning) spille en afgørende rolle for niveauerne af luftforurening. I byerne i den vestlige verden er det typisk biltrafikken, der er den største synder. Man har i den vestlige verden gennemført en centralisering af energi- og varmeproduktion samt etablering af rensning og anvendelse af høje skorstene på både kraftværker og industri. Denne udvikling blev sat i værk i 1960'erne og 1970'erne efter at man havde set en række katastrofale luftforureningsepisoder i storbyer verden over. En af de mest kendte er smogepisoden i London i 1952, hvor en uge med forhøjede niveauer af svovlholdig luftforurening medførte over 12.000 dødsfald under og efter episoden (Wilkins, 1954). I storbyer i tredje verdenslande som fx Indien og Kina kan man finde luftforureningsniveauer som tilmed overstiger dem man så under episoden i London i 1952. Også nyere studier har påvist akutte effekter i perioder med forhøjede luftforureningsniveauer selv ved væsentligt lavere niveauer af luftforurening end dem man så i London i 1952. Således har man påvist sammenhæng til bronkitis (Karakatsani et al., 2002), herteanfald (Urch et al., 2005) samt astma og vejrtrækningslidelser (Sunyer et al., 2002) – sådanne resultater er i øvrigt også fundet i danske studier (Andersen et al., 2007).

Langtidseffekt

Med rensning, anvendelse af høje skorstene samt centralisering af energi- og varmeproduktion troede man i slutningen af 1980'erne, at de helbredsmæssige effekter af luftforurening i byerne i den vestlige verden var reduceret til et minimum. Derfor kom det som en stor negativ overraskelse, da amerikanske undersøgelser i begyndelsen af 1990'erne påviste betydelige langtidseffekter af luftforurening ved betydeligt lavere niveauer end de katastrofale episoder man tidligere havde koncentreret sig om. Selv i danske byer, hvor luftforureningen generelt er moderat, kan man påvise alvorlige negative helbredseffekter af luftforurening (Palmgren et al., 2009). Danske studier viser således at byluft påvirker ældres blodcirkulation, giver øget frekvens af hvæsende vejrtrækning hos børn med astma, og medfører forstadier til kræft hos raske unge mennesker. Man tilskriver op mod 3.500 for tidlige dødsfald i Danmark til udsættelsen for partikelforurening (Raaschou-Nielsen et al., 2002).

Trafik

De største forureningsniveauer i byerne i Danmark og andre vestlige lande, hvor trafikken dominerer den lokale udsættelse, finder man i de såkaldte lukkede gaderum med bygningsfacader på begge sider af gaden. Bygningerne bevirker at transporten væk fra gaden er langsom. Inde i gaderummet dannes en cirkulationsvirvel som kan medføre ganske betydelige forskelle i forureningsniveauer. På de to fortove i gaderummet kan man således have op til en faktor ti i forskel i forureningsniveau på et givet tidspunkt. Tilsvarende er der naturligvis meget stor forskel på forureningsniveauet på gadesiden sammenlignet med en baggård. Derfor bør man som byboer lufte ud til baggårdsside frem for ud til gaden.

Grøn rute

En stor del af den danske befolkning anvender cyklen som daglig transportmiddel til arbejdsplads eller studie. Dette transportmiddel er positivt for den enkeltes helbred gennem øget motion, og har ligeledes den fordel af den ikke bidrager til udslip af luftforurening og klimagasser. Danskere og befolkningen i mange andre lande udsættes generelt for de højeste luftforureningskoncentrationer, når de færdes langs stærkt trafikerede gader i de større byer. Derfor har vi undersøgt om det betyder noget, i forhold til forureningsudsættelse, hvilken rute man vælger gennem byen. Vi har således påvist, at man ved fravalg af de mest forurenede gader kan reducere sin udsættelse med op mod 30 % gennem valg af en ”grøn rute” gennem byen – vel at mærke uden at forlænge transporttiden med mere end maksimalt 20 % (Hertel et al., 2008).

Konklusion

Trods store fremskridt i beskyttelsen af miljøet gennem diverse tiltag til begrænsning af udslip, og som følge af teknologiske fremskridt, så udgør luftkvaliteten i byerne fortsat et alvorligt sundhedsproblem. Der er derfor fortsat behov for videreudvikling af overvågningen i byerne samt udvikling af målrettede tiltag til at mindske luft (og andre typer) forureningen. For år tilbage mente man, at “The solution to pollution is dilution”. I dag ved vi at løsningen ikke er fortynding, men at reducere eller om muligt helt undgå udslippene. Samtidig kan vi i et vist omfang selv reducere vores daglige udsættelse for luftforurening. Det kan fx ske ved at undgå de mest trafikerede gader, samt gennem simple tiltag som at lufte sin lejlighed ud mod baggårdssiden.

REFERENCES

Andersen, Z. J., Wahlin, P., Raaschou-Nielsen, O., Scheike, T., and Loft, S., 2007, Ambient particle source apportionment and daily hospital admissions among children and elderly in Copenhagen: *J Expos Sci Environ Epidemiol*.

Braback, L. and Forsberg, B., 2009, Does traffic exhaust contribute to the development of asthma and allergic sensitization in children: findings from recent cohort studies: *Environmental Health*, **8**.

Hertel, O. and Goodsite, M. E., 2009, Urban Air Pollution Climate Through out the World *in Air Quality in Urban Environments*: Hester, R. E. and Harrison, R. M., Eds., RSC Publishing, Cambridge.

Hertel, O., Hvidberg, M., Ketzel, M., Storm, L., and Stausgaard, L., 2008, A proper choice of route significantly reduces air pollution exposure -- A study on bicycle and bus trips in urban streets: *Science of the Total Environment*, **389**, 58-70.

Karakatsani, A., Andreadaki, S., Katsouyanni, K., Dimitroulis, I., Trichopoulos, D., Benetou, V., and Trichopoulou, A., 2002, Air pollution in relation to manifestations of chronic pulmonary disease: A nested case-control study in Athens, Greece: *European Journal of Epidemiology*, **18**, 45-53.

Palmgren, J. Ed., Christensen, J. H., Ellermann, T., Hertel, O., Illerup, J. B., Ketzel, M., Loft, S., Palmgren, F., Winther, M., and Wåhlin, P., 2009, Luftforurening med partikler - et sundhedsproblem: Forlaget Hovedland.

Patel, M. M. and Miller, R. L., 2009, Air pollution and childhood asthma: recent advances and future directions: *Current Opinion in Pediatrics*, **21**, 235-242.

Polichetti, G., Cocco, S., Spinali, A., Trimarco, V., and Nunziata, A., 2009, Effects of particulate matter (PM10, PM2.5 and PM1) on the cardiovascular system: *Toxicology*, **261**, 1-8.

Pope, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., and Thurston, G. D., 2002, Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution: *Jama-Journal of the American Medical Association*, **287**, 1132-1141.

Puett, R. C., Schwartz, J., Hart, J. E., Yanosky, J. D., Speizer, F. E., Suh, H., Paciorek, C. J., Neas, L. M., and Laden, F., 2008, Chronic Particulate Exposure, Mortality, and Coronary Heart Disease in the Nurses' Health Study: *Am. J. Epidemiol.*, **168**, 1161-1168.

Raaschou-Nielsen, O., Palmgren, F., Solvang Jensen, S., Wåhlin, P., Berkowicz, R., Hertel, O., Vrang, M. L., and Loft, S. H., 2002, Helbredseffekter af partikulær luftforurening - et forsøg på kvantificering: *Ugeskrift for Læger*, **164**, 3959-3963.

Stillerman, K. P., Mattison, D. R., Giudice, L. C., and Woodruff, T. J., 2008, Environmental exposures and adverse pregnancy outcomes: A review of the science: *Reproductive Sciences*, **15**, 631-650.

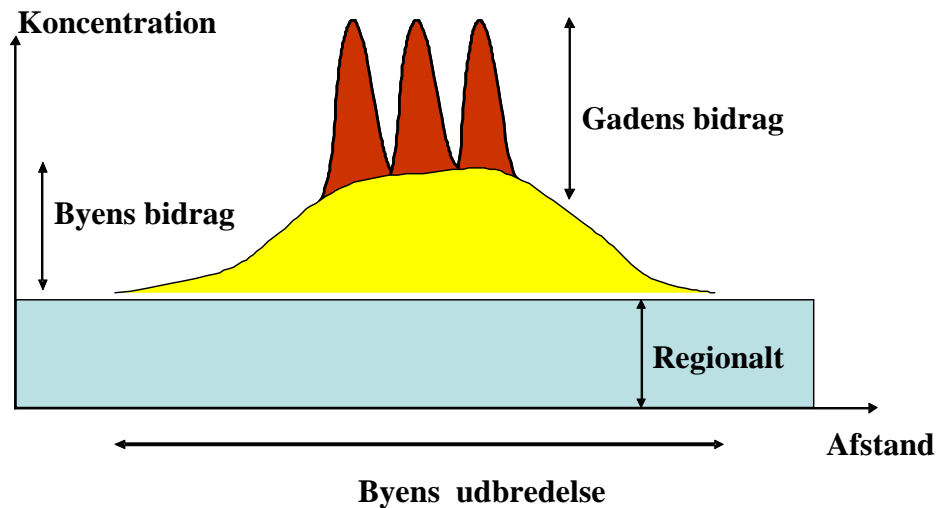
Sunyer, J., Basagana, X., Belmonte, J., and Anto, J. M., 2002, Effect of nitrogen dioxide and ozone on the risk of dying in patients with severe asthma: *Thorax*, **57**, 687-693.

UNFPA, 2007, State of world population 2007 - Unleashing the potential of Urban Growth.

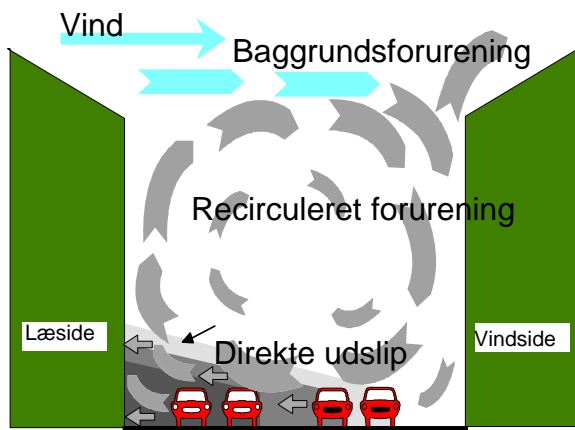
Urch, B., Silverman, F., Corey, P., Brook, J. R., Lukic, K. Z., Rajagopalan, S., and Brook, R. D., 2005, Acute blood pressure responses in healthy adults during controlled air pollution exposures: *Environmental Health Perspectives*, **113**, 1052-1055.

WHO, 2006, WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen, dioxide and sulfur dioxide - Summary of risk assessment WHO press, Geneva.

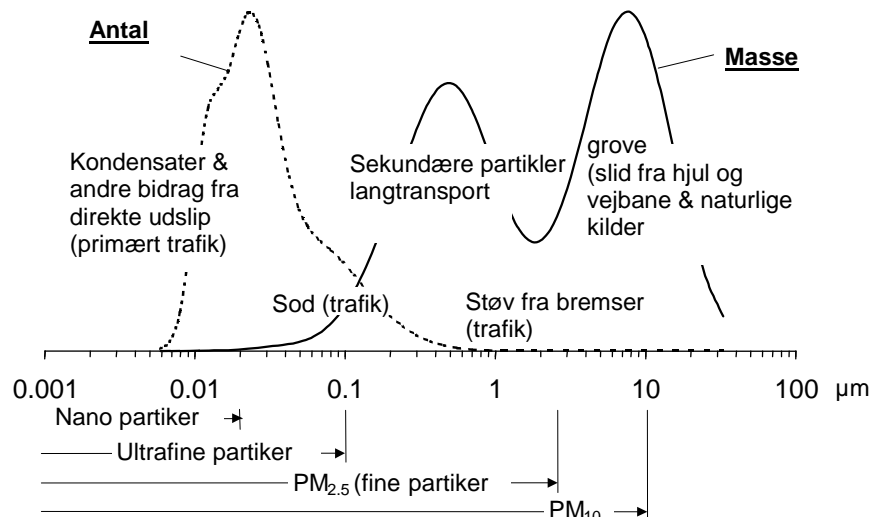
Wilkins, E. T., 1954, Air Pollution Aspects of the London Fog of December 1952 - Discussion: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **80**, 267-271.



Figur 1 En skematisk illustration af bidraget til luftforurening i en by fra henholdsvis regional transport, byområdet som helhed samt fra trafikken i den enkelte gade. Den relative størrelse af de forskellige bidrag afhænger af hvilken forureningskomponent som betragtes og de aktuelle spredningsforhold. Spredningsforholdene styres af meteorologien og her primært vindhastighed og -retning. De trafikerede gader er byens hot spots hvor man finder de højeste luftforureningsniveauer.



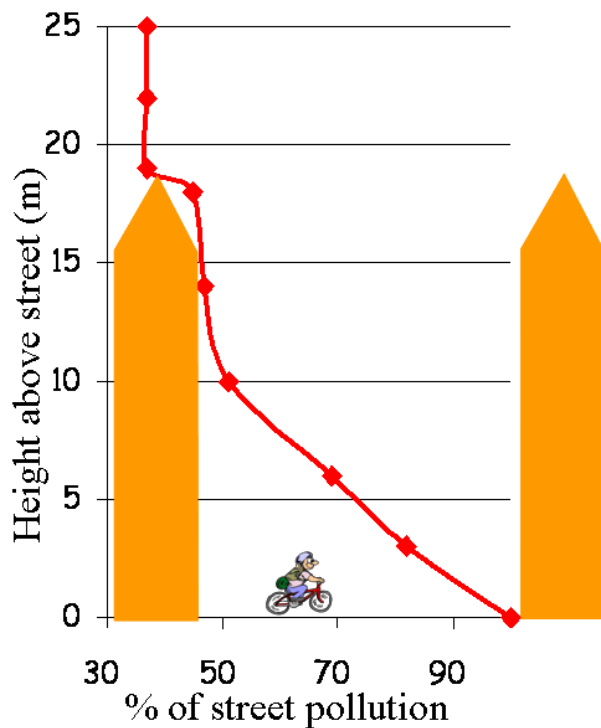
Figur 2 Illustration af flow og spredning inde i a gadeslugt. I den viste situation blæser vinden vinkelret på gadens orientering. Nede i gade dannes en hvirvel, og derfor er vindretningen i gadeniveau modsat rettet den frie vind over gaden. En betragtelig forskel i forureningsniveauerne (op til en faktor 10) på de to fortove er ofte resultatet af disse flow i gadeslugten. Luftforureningen i bygader med forskellig udformning kan beskrives med en matematisk model – OSPM – udviklet ved Danmarks Miljøundersøgelser (se <http://ospm.dmu.dk>).



Figur 3 Den typiske størrelsesfordeling af partikler i byluft givet som både masse og antal. Den horisontale akse viser partikeldiameter i μm . Den fuldoptrukne linje viser partikelmasse, som domineres af grove og sekundære partikler. I den grove fraktion finder man lokalt vejstøv og slid fra dæk og bremses, men også bidrag fra fx havsprøjt og jordfygning. De sekundære partikler er dannet i atmosfæren ud fra gasformige forureninger som kvælstofoxider, svovldioxid og ammoniak. Den punkterede linje viser antal partikler i luften, og domineres af de ultrafine partikler. I den ultrafine fraktion finder man de direkte udledninger fra trafikken. Bemærk at en partikel med en diameter på $10 \mu\text{m}$ har den samme masse som 1 milliard partikler med en diameter på $0,01 \mu\text{m}$ (hvilket også er det samme som 10 nano-meter).



Figur 4 Målestationerne i byerne er placeret på gaderne eller væk fra trafikken fx på hustage (bybaggrund). Billedet til højre viser målestationen på den stærkt trafikerede H.C. Andersens Boulevard i København. Billedet til venstre viser luftindtaget til målestationen i ca. 25 meters højde på taget af H.C. Ørstedsinstituttet under Københavns Universitet.



Figur 5 I en trafikeret gadeslugt optræder de højeste koncentrationer af luftforurening tæt på kilden, det vil sige tæt ved selve trafikken. Turbulens skabt af den kørende trafik betyder, at variationen i luftforurening med højden er relativt lille i de nederste meter. Derfor udsættes børn og voksne, som færdes i gadeslugten, for samme niveauer trods forskellen i højde. Tilsvarende gør det ikke nogen forskel om et barn transporteres i en barnestol eller i en cykelvogn. Med stigende højde fortyndes luftforureningen med baggrundsluft og koncentrationen falder derfor med højden. Oppe ved tagniveauet finder man således det generelle forureningsniveau i byområdet; det som normalt betegnes bybaggrund.