

Fremtidig luftkvalitet i danske byer - effekter af skærpede emissionsnormer

Steen Solvang Jensen¹, Ruwim Berkowicz¹,
Morten Winter², Finn Palmgren¹, Zahari Zlatev¹

Danmarks Miljøundersøgelser (DMU)
Afdelingen for Atmosfærisk Miljø¹, Afdelingen for Systemanalyse²
Postboks 358, DK-4000 Roskilde
ssj@dmu.dk

Abstrakt

Omfattende beregninger med en række luftkvalitetsmodeller udviklet af Danmarks Miljøundersøgelser viser, at den regionale baggrundsforurening uden for byerne, bybaggrundsforureningen over byerne og luftkvaliteten i gadeniveau bliver bedre i fremtiden. Dette skyldes især EU's skærpede regulering af køretøjers emission. EU's nye grænseværdier for kvælstofdioxid (NO₂), kulilte (CO) og benzen gældende for 2010 forventes ikke at blive overskredet. Ozonniveauerne forventes at stige lidt, fordi begrænsningen i bilernes emission af kvælstofmonoxid (NO) betyder, at mindre ozon fjernes i reaktioner med NO i dannelsen af NO₂. Det er endnu ikke muligt at modellere partikler. Ud fra foreløbige vurderinger er der usikkerhed om, hvorvidt EU's grænseværdi for partikler kan overholdes i 2010. Grænseværdierne er opstillet for at beskytte befolkningens sundhed.

1. Baggrund og formål

EU har vedtaget et rammedirektiv for vurdering og styring af luftkvaliteten som med datterdirektiver fastsætter skærpede grænseværdier for 12 stoffer. Danmark har tidligere haft grænseværdier for 5 af stofferne. I forbindelse med udarbejdelse af luftkvalitetsdirektiverne er der sideløbende iværksat det såkaldte Auto-Oil Program (Iversen 1999), som undersøgte, hvordan luftkvalitetsmålene kunne opfyldes gennem regulering af bilernes emission og af brændstofs-kvaliteten. Dette arbejde er mundet ud i en række nye direktiver, som skærper kravene til nye køretøjers emission af sundhedsskadelige stoffer og til brændstofs-kvaliteten fx svovlindholdet.

Formålet med projektet har derfor været at undersøge den fremtidige luftkvalitet i danske byer som følge af de skærpede emissions- og brændstofs-krav, og vurdere om de nye skærpede EU grænseværdier for luftkvalitet i 2010 kan forventes at blive overholdt.

Der er udarbejdet en elektronisk rapport på engelsk med titlen "Future Air Quality in Danish Cities. Impact Study of the New EU Vehicle Emission Standards" (Jensen et al. 2000), som kan downloades fra Miljøstyrelsens hjemmeside (www.mst.dk).

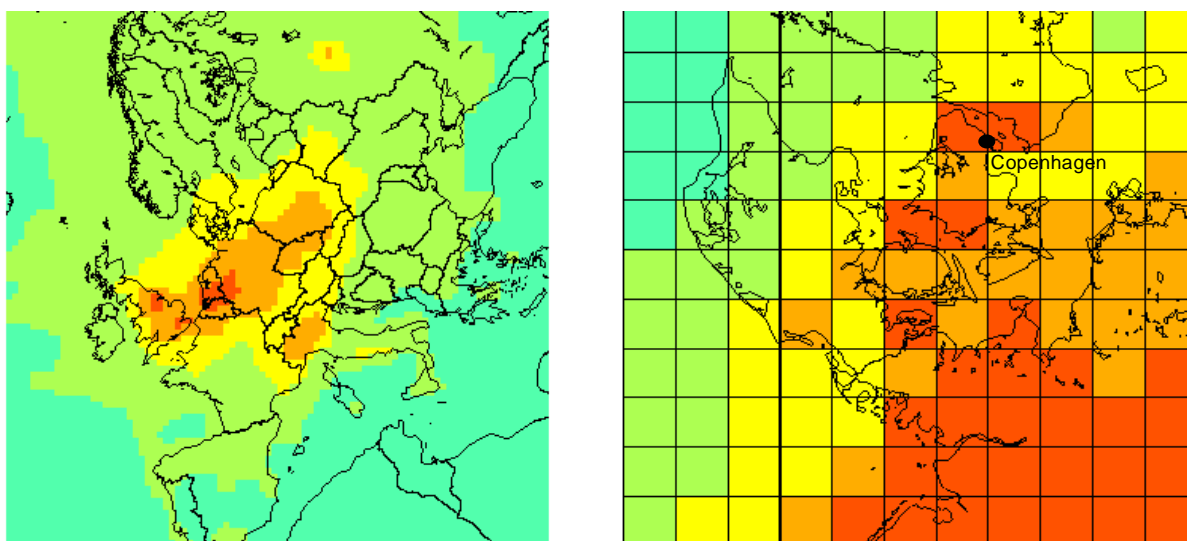
2. Metode og empirisk grundlag

Den fremtidige luftkvalitet er beregnet på Jagtvej i København, som repræsenterer en gade med forholdsvis høje koncentrationer. Den er forholdsvis trafikeret med en årsdøgntrafik på omkring 24.000, og gaden er ca. 25 meter bred og er omgivet af 2-5 etagers bygninger.

Beregninger er foretaget time for time for NO_x ($\text{NO}+\text{NO}_2$), NO_2 , ozon, CO og benzen for referenceåret 1995 og scenarieårene: 2000, 2005, 2010, 2015 og 2020. Udviklingen i partikler er baseret på ekspertvurderinger. Ozon udsendes ikke direkte men dannes i atmosfæren ud fra NO_x og kulbrinter under indvirkning af sollys. Ozon i Danmark skyldes overvejende langtransport, idet det primært dannes i Syd- og Centraleuropa.

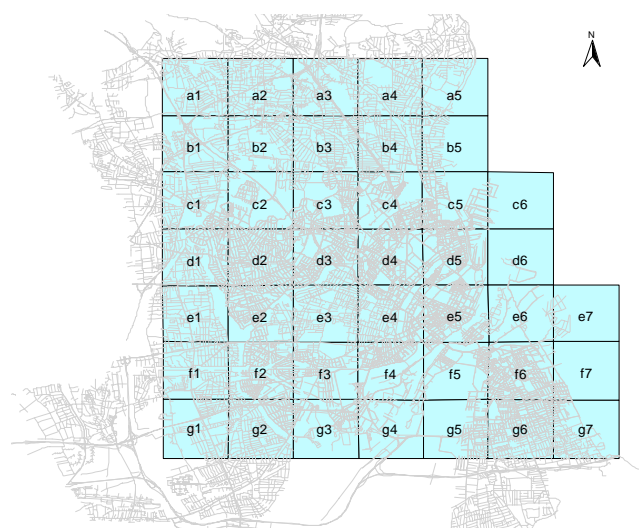
Den fremtidige luftkvalitet i gaden er beregnet ved at kombinere en række luftkvalitetsmodeller på forskellig geografisk skala, således at beregningerne trinvis detaljeres jo tættere man kommer på beregningspunktet i Jagtvej i København.

Den regionale luftkvalitet er beregnet med Danish Eulerian Model (DEM), som er en stor-skala model for hele Europa. Beregningerne er baseret på emissioner fra "Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long range transmission of air pollutants in Europe" (EMEP) med en opløsning på et $50 \times 50 \text{ km}^2$ gitternet for hele Europa samt meteorologisk data fra Meteorological Synthesizing Centre – West, (MSC-W) på et $150 \times 150 \text{ km}^2$ gitternet (Zlatev 1995; Zlatev et al. 1998). Flere supercomputer på UNI-C i København anvendes til disse beregninger. Øvrige beregninger udføres på PC. Emissionsudviklingen i hele Europa reguleres gennem en række internationale konventioner, hvor Danmark har forpligtiget sig til at opfylde en række mål for reduktion af de nationale emissioner. I beregningerne er emissionerne for de enkelte lande baseret på det forberedende arbejde til en ny konvention om grænseoverskridende luftforurening under Economic Commission for Europe (ECE). Emissionsreduktionen 1990-2010 i hele Europe for stoffer, som indgår i dannelsen af ozon, er følgende: NO_x , VOC and NH_4 are 36%, 38% and 11% (ECE 1999; IIASA 1999).



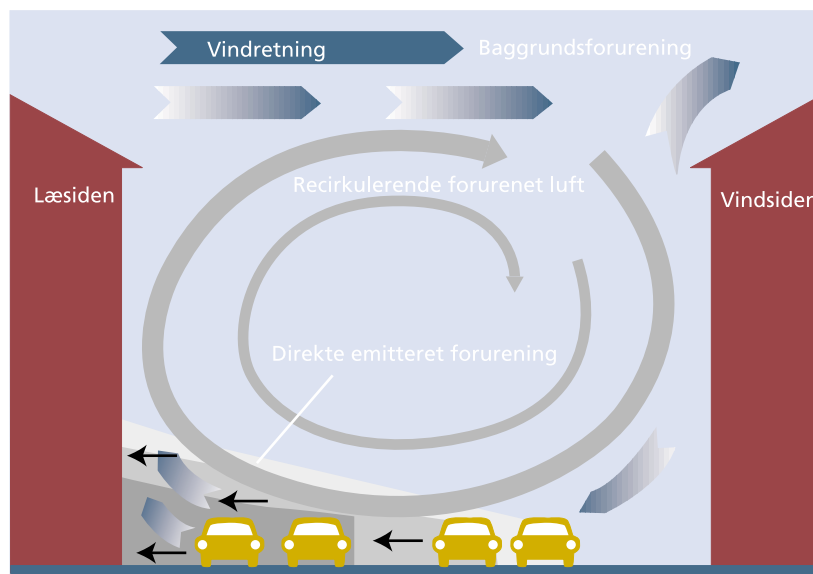
Figur 1 Illustration af det europæiske modelområdet for DEM (venstre) og modellens opløsning i $50 \times 50 \text{ km}^2$ gitternet vist for Danmark

Bybaggrundsforureningen er modelleret med spredningsmodellen Urban Background Model (UBM) på baggrund af emissionsdata fra trafikken på et 2x2 km² gitternet for Storkøbenhavn samt meteorologiske data fra København (Berkowicz 1999). Emissionen er beregnet med en videreudviklet udgave af Urban Emission Model (UEM), som oprindeligt blev opstillet af Vejdirektoratet (Vejdirektoratet 1996). Emissionsmodellen dækker et bymæssigt areal på 151 km² omkring Jagtvej i København. For hver gridcelle indeholder modellen oplysninger om trafikmængder og køretøjssammensætning på vejene. Det er forudsat at trafikken stiger med 10% fra 1995 til 2010 i København som helhed fordelt med 17% på de store veje, hvilket er i overensstemmelse med Københavns Kommunes egne vurderinger. Det er endvidere forudsat at trafikken på Jagtvej er den samme i alle scenarieårene. Som en del af nærværende projekt blev emissionsmodellen modificeret, så emissionsfaktorerne (g/km) baseres på EU COPERT III emissionsmodel (Ntziachristos et al. 1999). EU COPERT III modellen blev brugt til at beregne fremtidige emissionsreduktioner under hensyntagen til den danske bilparks sammensætning og aldersprofil. Modellen inddrager kun trafikken som emissionskilde, idet dette er den dominerende kilde i danske byområder. Emissionsreduktionen 1995-2010 i København er beregnet til 70%, 75% og 85% for henholdsvis NO_x, CO og benzen. Detaljerede emissionsfaktorer for alle køretøjskategorier for de forskellige scenarieår er givet i *Jensen et al.* (2000).



Figur 2 Modelområdets geografiske udstrækning for København med 2x2 km² gitterceller for beregning af bybaggrundsforureningen med UBM og UEM. Jagtvej ligger i celle "d4".

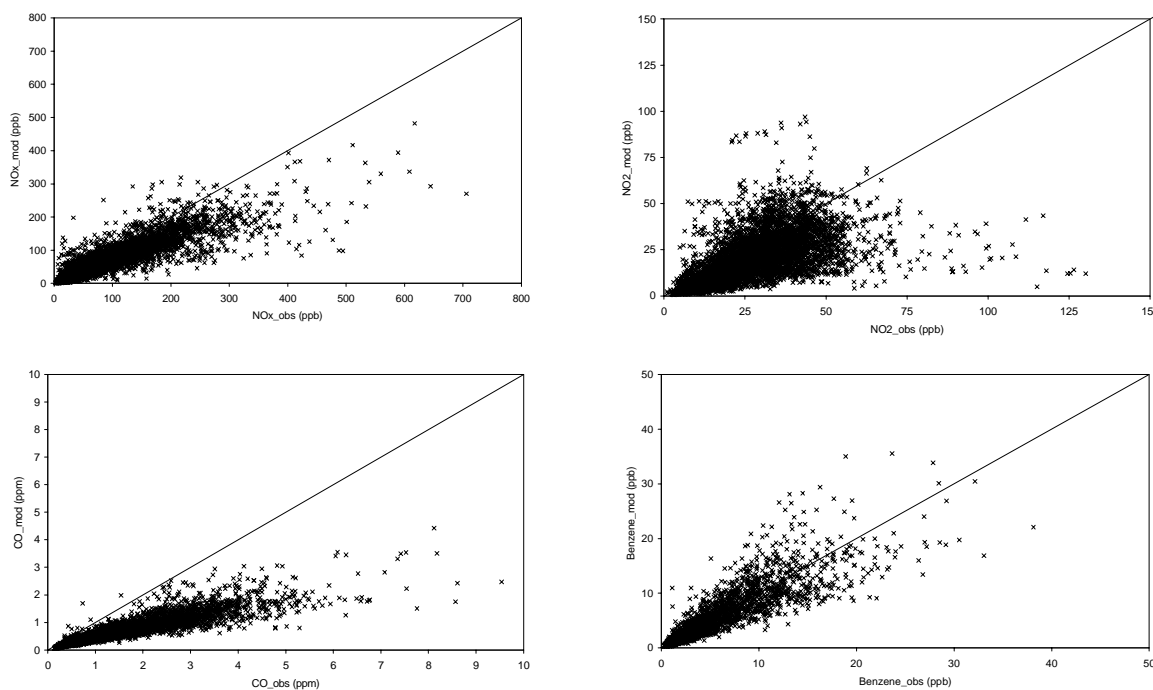
Luftkvaliteten i gaderummet er beregnet med spredningsmodellen Operational Street Pollution Model (OSPM) ud fra oplysninger om gadens udformning, trafikens emission i gaden, bybaggrundsforureningen og meteorologi (Berkowicz et al. 1997). Modellen beskriver de fysiske og kemiske processer i gaderummet, og tager hensyn til simpel fotokemi mellem NO, NO₂ og ozon. Emissionsfaktorer er baseret på EU's COPERT III emissionsmodel med danske trafikforudsætninger (Ntziachristos et al. 1999).



Figur 3 Gadeluftkvalitets modellen OSPM beskriver bl.a. recirkulation af luften i gaderummet ved vindretninger vinkelret på gaden, hvorved koncentrationer bliver større i læsiden end i vindsiden. Desuden beskriver modellen simpel fotokemi mellem NO, NO₂ og ozon.

3. Validering og kalibrering

Luftkvalitetsberegningerne er blevet valideret ved at sammenligne modelleret og målt data i referenceåret. Årsmiddelværdier samt sæson- og døgnvariation af beregningerne er blevet sammenlignet med måledata i 1995 for monitoringsstationer i den regionale baggrund (Frederiksborg og Lille Valby), i bybaggrunden (H.C. Ørsted Institutet i København) samt i gaderummet (Jagtvej) (Jensen et al. 2000). I figur 4 er vist en sammenligning mellem målt og beregnede koncentrationer på Jagtvej.



Figur 4 Sammenligning mellem målte og beregnede timemiddelværdier for NO_x, NO₂, CO og benzen på Jagtvej i 1995.

Som det fremgår af figur 4 er der en god sammenhæng mellem beregnede og målte værdier dog således at beregningerne systematisk underestimerer NO_x , NO_2 og CO. Derimod er der en god overensstemmelse for benzen, idet emissionsfaktorer for benzen er baseret på såkaldte baglænsberegninger med OSPM modellen, hvor emissionen beregnes under antagelse af at modellen giver en perfekt beskrivelse af spredningsforholdene (Palmgren et al. 1999). Denne fremgangsmåde er valgt, idet COPERT III ikke indeholder emissionsfaktorer for benzen. Underestimeringen for CO og NO_x skyldes sandsynligvis at COPERT III emissionsfaktorer (g/km) for NO_x og CO underestimerer de faktiske emissioner. Dette blev yderligere undersøgt ved at sammenholde forholdet mellem målinger af CO og NO_x på Jagtvej med det beregnede forhold med henholdsvis emissionsfaktorer fra COPERT III og tidligere anvendte emissionsfaktorer (Jensen et al. 2000). Hvis forholdet mellem CO og NO_x emissionen i COPERT III er korrekt skulle man finde det samme forhold i de målte koncentrationer i gaden. Dette var ikke tilfældet, idet det beregnede forhold mellem CO og NO_x koncentrationer med anvendelse af COPERT III emissionsfaktorer var meget forskelligt fra forholdet i den målte luft. Dette indikerer at COPERT III emissionfaktorer underestimerer for CO og NO_x . Der var langt bedre overensstemmelse mellem det målte og beregnede forhold mellem CO og NO_x ved anvendelse af de tidligere anvendte emissionsfaktorer. Emissionsfaktorer kan bestemmes under realistiske forhold ved tunnelstudier, hvor luftkvaliteten i en biltunnel sammenholdes med trafikken. Studier gennemført i Østrig understøtter at emissionsfaktorerne for NO_x for lastbiler er undervurderet i COPERT III (Sturm et al. 2000).

COPERT III's emissionsfaktorer er imidlertid fastholdt i beregningerne, men for at kompensere for ovenstående undervurdering er følgende procedure anvendt. Målte koncentrationer i den regionale baggrund, i bybaggrunden og på Jagtvej er anvendt for referenceåret, og de fremtidige koncentrationer er beregnet ved at anvende den modellerede udvikling som et indeks. Herved fås realistiske niveauer for fremtiden, som kan sammenlignes med de nye grænseværdier for 2010. For reaktive stoffer som NO_2 vil denne kalibreringsmetode muligvis underestimere de fremtidige NO_2 koncentrationer pga. de det ikke-liniære forhold mellem NO_x emission og NO_2 koncentrationer som følge af samspillet med ozon.

4. Diskussion og resultater

De beregnede årsmiddelkoncentrationer i den regionale baggrund, i bybaggrunden og i gadeniveau på Jagtvej i København er vist i tabel 1, og sammenlignet med EU og WHO grænseværdier samt Miljøstyrelsens luftkvalitetskriterier. Beregninger af 98- og 99.8 percentiler er endvidere gengivet i *Jensen et al. (2000)*.

Undersøgelsen viser, at den beregnede luftkvalitet på Jagtvej i København forbedres for NO_2 , CO og benzen fra 1995 til 2010 og videre frem trods stigende trafik, således at EU's nye grænseværdier ikke overskrides i 2010. Ozonniveauerne i gaden vil stige, idet der er mindre NO emission i gaden til at omdanne ozon til NO_2 . Summen af NO_2 og ozon vil dog falde. EU's forventede nye grænseværdi for ozon i 2010 vil ikke overskrides. Det samme gælder for 103 andre gader med forskellige trafikmængder i København, hvor beregningerne er gennemført med mindre detaljeret input data (Jensen et al. 2000). De beregnede niveauer er også sammenlignet med WHO's guidelines, og luftkvalitetskriterier foreslået af Miljøstyrelsen. Luftkvalitetskriterierne repræsenterer en minimering af mulige sundhedsskader med et meget højt sikkerhedsniveau. Kriterierne gælder ikke administrativt, men kan opfattes som ønskede langsigtede mål. (Larsen et al. 1997).

Udvikling i regional baggrundsforurening, bybaggrundsforurening og luftkvaliteten i gadeniveau for Jagtvej i København (Indeks og årsniveauer)

Regional baggrund uden for København					
Scenarie	NO _x (Indeks)	NO ₂ (Indeks)	CO (Indeks)	Benzen (Indeks)	Ozone (Indeks)
1995	100	100	100	100	100
2000	86	88	89	36	99
2005	73	76	79	31	99
2010	59	64	69	28	98
2015	59	64	69	28	98
2020	59	64	69	28	98
	NO _x (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	CO (mg/m ³)	Benzen (µg/m ³)	Ozon (µg/m ³)
1995_observeret	16.9	13.6	0.19	1.59	50.4
2000	14.6	11.9	0.17	0.57	50.2
2005	12.3	10.3	0.15	0.50	49.9
2010	10.0	8.7	0.13	0.44	49.6
2015	10.0	8.7	0.13	0.44	49.6
2020	10.0	8.7	0.13	0.44	49.6
Bybaggrunds-koncentrationen over København					
Scenarie	NO _x (Indeks)	NO ₂ (Indeks)	CO (Indeks)	Benzen (Indeks)	Ozon (Indeks)
1995	100	100	100	100	100
2000	77	81	82	30	105
2005	58	64	70	23	110
2010	39	46	57	18	114
2015	34	40	53	17	116
2020	32	38	53	16	116
	NO _x (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	CO (mg/m ³)	Benzen (µg/m ³)	Ozon (µg/m ³)
1995_observeret	38.6	28.2	0.39	4.4	44.7
2000	29.9	23.0	0.32	1.4	47.0
2005	22.3	17.9	0.27	1.0	49.1
2010	15.2	12.9	0.22	0.79	50.9
2015	13.1	11.4	0.21	0.74	51.7
2020	12.3	10.8	0.20	0.73	52.0
Gadekoncentrationer i Jagtvej, København					
Scenarie	NO _x (Indeks)	NO ₂ (Indeks)	CO (Indeks)	Benzen (Indeks)	Ozon (Indeks)
1995	100	100	100	100	100
2000	74	83	69	30	110
2005	46	63	50	16	123
2010	28	44	35	12	134
2015	21	37	31	11	139
2020	18	34	29	10	142
	NO _x (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	CO (mg/m ³)	Benzen (µg/m ³)	Ozon (µg/m ³)
1995_observeret	164	52	2	17	29.8
2000	122	44	1.1	5.2	32.8
2005	75	33	0.8	2.9	36.6
2010	46	23	0.6	2.1	39.9
2015	34	20	0.5	1.9	41.4
2020	29	18	0.5	1.8	42.3
EU grænseværdi	-	40	-	5	-
WHO guidelines	-	40	-	0.17	-
Miljøstyrelsens luftkvalitetskriterie	-	15-20	-	0.13-0.25	-

Som det fremgår af tabel 1 reduceres årsmiddelkoncentrationen af ozon i den regionale baggrund kun omkring 2% fra 1995-2010 på trods af at de europæiske emissioner af NO_x og VOC, som bidrager til ozondannelse, falder med knap 40%. De højeste ozonkoncentrationer i foråret og om sommeren reduceres dog mere. Under danske meteorologiske forhold er den regionale ozonkoncentration domineret af langtransport, idet nettoproduktionen af ozon er lille i Danmark. Ozonniveauerne stiger derimod i bybaggrunden og i gaderummet, idet der er mindre NO emission fra bilerne til at danne NO_2 i reaktioner mellem ozon og NO. På grund af mindre NO emission bliver der derfor fjernet mindre ozon fra luften med det resultat at ozonkoncentrationerne stiger.

I følge de kalibrerede beregninger skulle ozonkoncentrationerne i bybaggrunden overstige koncentrationer lidt i den regionale efter 2010. Dette er dog ikke fysiske muligt, idet der sker en reduktion af den ozon over byen som følge af reaktion med NO emission fra byen. Denne situation skyldes den valgte kalibreringsmetode, hvor de målte ozonkoncentrationer på en regional station (Lille Valby ved Roskilde) samt en bybaggrundsstation (H.C. Ørsted Institutet i København) er lagt til grund for udgangskoncentrationer i referenceåret. Det er således ikke muligt at vælge en regional målestation, som er repræsentativ for den regionale baggrund for København under alle forhold.

I løbet af 90'erne bliver NO den begrænsende faktor i dannelsen af NO_2 i stedet for ozon, hvilket hænger sammen med den stigende udbredelse af katalysatorbiler. Katalysatorer bliver obligatoriske på benzindrevne personbiler og små varebiler i 1990, hvilket reducerer NO_x emissionen. Målte koncentrationer af NO_2 var imidlertid næsten konstante i perioden 1990-95, hvilket indikerer at ozon var den begrænsende faktor i dannelsen af NO_2 ved reaktioner mellem NO og ozon. Fra 1995-98 viser målingerne en faldende tendens, og dette er også reproduceret med OSPM modellen. Beregningerne for 2010 og 2020 viser fortsat reduktion i NO_2 koncentrationerne, hvilket viser at NO bliver den begrænsende faktor i dannelsen af NO_2 i stedet for ozon. NO og NO_2 udgør henholdsvis 95% og 5% af bilernes NO_x emissionen.

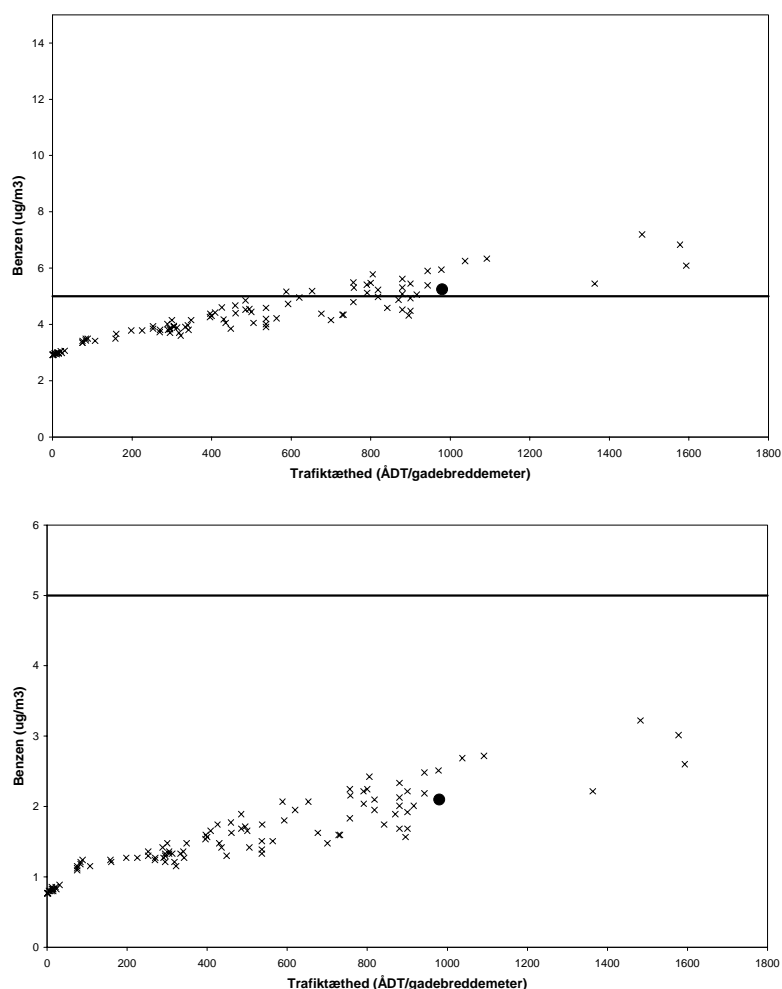
Den kraftige reduktion af benzen koncentrationen mellem 1995 og 2000 skyldes primært overgangen til benzin med et reduceret benzenindhold (fra ca. 3% til 1%) samt den stigende udbredelse af katalysatorbiler.

Analysen viser endvidere at det relative bidrag fra den regionale forurening og bybaggrundsforureningen til koncentrationerne i gaderummet på Jagtvej vil stige i fremtiden. Det skyldes at trafikken er den dominerende kilde til luftforureningen i gaderummet, hvilket samtidig betyder at den kraftige emissionsreduktion vil slå kraftig igennem her. Baggrundforureningen er derimod også påvirket af andre kilder. Emissionen fra trafikken i selve gaderummet vil også i fremtiden være den væsentligste kilde til luftforureningen, men betydningen af den regionale luftforurening og bybaggrundsforureningen er relativt stigende (Jensen et al. 2000).

Den fremtidige grænseværdi for PM_{10} i 2005 overskrides ikke i 1998-99, men det kan ikke udelukkes at den skærpede grænseværdi i 2010 vil overskrides. PM_{10} er partikler under 10 mikrometer dvs. 10 tusindedele af en millimeter. Der er således brug for yderligere forskning i kilderne til partikler, bedre beskrivelse vha. målinger samt modeludvikling for at kunne bestemme fremtidige niveauer og for bedre at kunne vurdere effekten af forskellige tiltag (Jensen et al. 2000).

Resultaterne af nærværende studie er sammenlignet med EU Kommissionens vurderinger af emissionsreduktioner, som følge af det såkaldte Auto-Oil Program, som ligger til grund for direktiverne om emissionsreduktion. Sammenligningen er foretaget for nationale emissioner, og viste forskelle på 5-35% for CO og 1-8% for NO_x afhængig af scenarieår. Forskellene kan hænge sammen med forskellige forudsætninger og metodetilgang. Resultaterne af luftkvalitetsberegninger for København er sammenlignet med resultaterne fra EU Kommissionens "Urban Impact Assessment Study", hvor den fremtidige luftkvalitet er modelleret i en række europæiske byer. Her var resultaterne for København sammenlignelige med Berlin (Jensen et al. 2000).

For at generalisere de detaljerede beregninger for Jagtvej i København blev der foretaget tilsvarende beregninger for 103 gader i Storkøbenhavn. Disse gader repræsenterer forskellige trafikmængder og udformning af gaderum. På denne baggrund er det muligt at sætte koncentrationen i forhold til et konstrueret trafiktæthedsindeks, som er givet ved årstdøgntrafikken divideret med gadebredden, se figur 5. Ud fra enkle indgangsparametre som årstdøgntrafik og gadebredde for en given gade kan man ud fra figuren skønne koncentrationen.



Figur 5 Fremtidige beregnede benzen koncentrationer i 103 forskellige Københavnske gader i forhold til trafiktæthedsindeks (årstdøgntrafik divideret med gadebredde). Øverst år 2000, nederst år 2010. EU's grænseværdi for benzen er 5 µg/m³ som årsmiddelværdi.

Konklusion

Den fremtidige luftkvalitet i danske byer er modelleret for at vurdere effekten af de nye EU direktiver for køretøjers emissionsnormer og brændstofs-kvalitet. Resultaterne heraf er sammenlignet med de nye grænseværdier i EU's direktiv om vurdering og styring af luftkvaliteten. Undersøgelsen er foretaget for udvalgte gader i København med referenceåret 1995 og scenarieårene: 2000, 2005, 2010, 2015 og 2020. Der er modelleret følgende sundhedsskadelige luftforureninger: NO₂ (NO_x), O₃, CO og benzen. Der er endvidere foretaget en foreløbig vurdering af de fremtidige partikelniveauer, idet der endnu ikke eksisterer danske partikkelmodeller. Den fremtidige luftkvalitet i en udvalgt gade i København (Jagtvej) er beregnet ved at kombinere en række luftkvalitets- og emissionsmodeller på forskellige geografisk skala. Beregningerne viste, at koncentrationerne af NO₂, CO og benzen vil reduceres, mens ozonniveauerne vil stige, fordi der er mindre NO emission til at reducere ozon under dannelse af NO₂. Beregningerne viste endvidere, at NO i fremtiden vil blive den begrænsende faktor i dannelsen af NO₂, hvor det i af 90'erne var ozon. EU's nye grænseværdier for luftkvaliteten af NO₂, CO, benzen og ozon vil ikke være overskredet 2010 trods stigende trafik. Foreløbige vurderinger af de fremtidige partikelniveauer af PM₁₀ tyder på, at der vil ske en reduktion, men at det kan blive vanskeligt at opfylde EU's grænseværdi for PM₁₀ i 2010. De sundhedsmæssige effekter forbundet med befolkningens eksponering med stofferne NO₂, CO, benzen og ozon samt partikler forventes at blive reduceret på grund af den forbedrede luftkvalitet. Sammenlignende studier af forholdet mellem COPERT III's emissionsfaktorer for CO og NO_x og forholdet af koncentrationen for CO og NO_x i gaderummet indikerer, at COPERT III's emissionsfaktorer underestimerer den faktiske emission. I beregningerne er der kompenseret for dette forhold ved valg af kalibreringsmetode.

Taksigelser

Projektet var primært finansieret af Miljøstyrelsen med medfinansiering af Danmarks Miljøundersøgelser (DMU).

Referencer

- Berkowicz, R., Hertel, O., Sørensen, N.N., Michelsen, J.A. (1997): Modelling Air Pollution from Traffic in Urban Areas. In proceedings from IMA meeting on "Flow and Dispersion Through Obstacles", Cambridge, England, 28-30 March, 1994 (eds.) Perkins, R.J., Belcher, S.E., pp. 121-142.
- Berkowicz, R. (1999): A simple model for urban background pollution. 2nd International Conference on Urban Air Quality, Measurement, Modelling & Management, 3-5 March 1999, Madrid. 8 p. (Accepted for publication in Environmental Monitoring and Assessment).
- ECE (1999): Draft Protocol to the 1979 Convention on Long-range Transboundary Air Pollution to Abate Acidification, Eutrofication and Ground-level Ozone. UN Economic Commission for Europe. EB.AIR/1999/1. 15 October 1999.
- IIASA (1999): Cost-effective Control of Acidification and Ground-level Ozone. Seventh Interim Report to the European Commission, DG-XI. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria. January 1999.
- Iversen (1999): Status for det europæiske auto/olie-program. Konferencerapport "Trafikdage på Aalborg Universitet" 30-31 August 1999. pp. 391-398.

- Jensen, S.S., Berkowicz, R., Winther, M., Palmgren, F. & Zlatev, Z. (2000): Future Air Quality in Danish Cities. Impact Study of the New EU Vehicle Emission Standards. Danish Environmental Protection Agency. 89 pp. - Environmental Project 527. Elektronisk rapport kan downloades: http://www.mst.dk/200004pubs/87-7944-092-4/default_eng.htm.
- Larsen, P.B., Larsen, J.C., Fenger, J., Jensen, S.S. (1997): Sundhedsmæssig vurdering af luftforurening fra vejtrafik, Miljøprojekt nr. 352, Miljøstyrelsen.
- Ntziachristos, L., Samaras, Z., Eggleston, S., Gorißen, N., Hassel, D., Hickman, A.-J., Joumard, R., Rijkeboer, R., & Zierock, K.-H. (1999). COPERT III Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport - Methodology and Emission Factors. Final Draft Report. European Environment Agency, July 1999, Copenhagen.
- Palmgren, F., Berkowicz, R., Ziv, A. and Hertel, O. (1999). Emission Estimates from the Actual Car Fleet by Air Quality Measurements in Streets and Street Pollution Models. Presented at the 6th International Conference on Highway and Urban Pollution, 18-21 May 1998, Baveno Italy, The Science of the Total Environment, 235, 101-109.
- Sturm, P.J., Rodler, J., Lechner, B., Almbauer, R.A. (2000): Validation of emission factors for road vehicles based on street tunnel measurements. Joumard, R. (ed.) Transport and Air Pollution, 9th Symposium, 5-8 June 2000, Avignon, France, Vol. 1, pp. 151-158. INRETS, Frankrig.
- Vejdirektoratet (1996): Byområdets trafikskabte luftforurening. Report 43. Vejdirektoratet, 147 s.
- Zlatev, Z. (1995): Computer Treatment of Large Air Pollution Models. Environmental Science and Technology Library. Kluwer Academic Publishers. 358 p.
- Zlatev, Z., Brandt, J., Builtjes, P.J.H., Carmichael, G., Dimov, I., Dongarra, J., van Dop, H., Georgiev, K., Hass, H., San Jose, R.(Eds.) (1998): Large Scale Computations in Air Pollution Modelling. Nato Science Series. 2. Environmental Security, Vol. 57, 391 p.