

Kan man cykle uden om luftforureningen?

Martin Hvidberg og Ole Hertel

Luftforureningsmodellerne i AirGIS systemet er brugt til at forudsige, hvad den gennemsnitlige eksponering vil være langs en valgt pendlerrute. En GIS baseret rutevælger har udvalgt hhv. hurtige og rene ruter, for 50 fiktive cykelpendlere. Resultaterne viser, at der er grund til at overveje sine pendlervaner: Du kan slippe for noget af luftforureningen ved at køre uden for myldretiden eller ved at køre en lille omvej – og det er i hvert fald ikke en fordel at stille cyklen og tage bussen...

Introduktion

En cykeltur er på mange måder sundere end en tilsvarende rejse i bil eller bus. Først og fremmest får man motion ved at cykle, og samtidig sparer man miljøet for udsendelse af luftforurenende stoffer. Stoffer som har en negativ effekt på natur, klima og sundhed. Mange studier viser sammenhæng mellem udendørsluftforurening og luftvejsygdomme (Brunekreef et.al. 2002, Hoek et.al. 2002). I Danmark er der i de senere år lavet en række undersøgelser af sammenhængen mellem luftkvalitet og forskellige negative sundhedseffekter (Raaschou-Nielsen et.al. 2011:, Andersen et.al. 2010:, Raaschou-Nielsen et.al. 2010:, Pedersen et.al. 2009:, Hertel et.al. 2008a:, Hvidberg et.al. 2007:, Loft et.al. 2003:).

De højeste koncentrationer af luftforurening findes i smalle gader med tæt trafik og høje bygninger på begge siden af gaden. Trafikken er den væsentligste kilde til lokal luftforurening, selv om der udsendes luftforurening fra andre kilder i byen så som kraftværker og industri. Luftforureningen fra disse kilder er igennem en årrække blevet reduceret betydeligt og spredes endvidere over et stort område og selv i de tilfælde hvor disse kilder har betydelige udslip giver de derfor ikke så store lokale bidrag i forureningen lokalt som den lokale trafik.

De personer som befinder sig i, eller måske endda bor eller arbejder i, de travleste trafikerede gader i byen er derfor potentielt udsat for mere luftforurening end andre. Gennem et fornuftigt valg af rute gennem byen kan man reducere sin egen udsættelse for luftforurening og dermed gøre turen sundere

for sig selv. Dette valg af rute er temaet for denne artikel.

Baggrund

Vi har gennemført en undersøgelse som skulle give et svar på en række ofte stillede spørgsmål:

- Er der noget at hente ved at vælge en minimalt forurenede rute gennem byen?
- Betyder det noget om man undgår at rejse i myldretiderne?
- Er det sundere at tage bussen frem for at cykle gennem byen?

Besvarelsen af disse spørgsmål skal samtidig give os en idé om hvorvidt der kunne være et behov for at udvikle en ruteplanlægger til at bestemme den reneste rute gennem byen.

Vores metode er at undersøge om en cykelpendler, i en Dansk storby, er udsat for forskellige mængder luftforurening afhængigt af rutevalg, og desuden om denne forurening er høj eller lav sammenlignet med det man udsættes for, hvis man vælger offentlig bus. Tidligere studier indikerer, at det har betydning både, hvor og hvordan man kører gennem byen (Rank et al. 2001, van-Wijnen et.al. 1995). S-tog er ikke medtaget i undersøgelsen, da luftforureningen langs S-togs baner ikke kan modelleres korrekt med de aktuelle modeller. Pendling med bil er heller ikke med i analysen, da det ikke er muligt at beregne realistiske rejsetider i modellen, idet fx kø og længere rejsetid som følge af myldretidskørsel ikke kan modelleres med de værktøjer vi umiddelbart har til rådighed.

Vi beregner, ved hjælp af computermødel, hvor meget luftforurening vores pendlere udsættes for, når de vælger henholdsvis:

- den korteste rute,
- en rute, hvor de mest trafikerede gader undgås, samt
- når de vælger at tage bussen.

Endvidere gennemfører vi undersøgelsen for rejser henholdsvis i og uden for myndretiderne.

Vi har valgt to fiktive arbejdspladsadresser, Københavns Rådhus og Ballerup S-togs station. Desuden har vi valgt 2*25 boligadresser, hvor vores fiktive pendlere bor. Boligadressernes placering og specielt afstanden fra arbejdspladsen er fordelt, således at den følger samme gennemsnitlige cykleafstand som deltagerne i Dansk Cyklistforbunds "Vi cykler til arbejde" kampagne. Dette giver muligvis en lidt længere cykelafstand end gennemsnittet for hele befolkningen, men betragtes som en realistisk og veldokumenteret reference. Der er tale om realistiske boligadresser, men de er valgt tilfældigt i adresseregisteret. Vi har ikke kendskab til personer som evt. måtte bo på disse adresser. Ethvert sammenfald med virkelige personer er således utilsigtet og helt tilfældigt.

Metode

Alle luftkvalitetsparametre er beregnet med vore modelsystem AirGIS, specifikt med OSPM luftkvalitetsmodellen. Vi har anvendt AirGIS (<http://airgis.dmu.dk/>) og OSPM modellen (<http://ospm.dmu.dk/>), som er veldokumenteret (Berkowicz et.al. 2008, Jensen et.al. 2009, Hvidberg et.al. 2003) og som ved adskillige lejligheder er valideret mod målinger (Kakosimos et. al. 2011, Ketzell et.al. 2008, Mensink et.al. 2006, Kukkonen et. al. 2003), og giver særdeles gode resultater helt ned på enkeltgade niveau (Gokhale et.al. 2005, Aquilina et.al. 2004, Hertel et.al. 2003).

OSPM kan modellere luftforureningen i ét punkt ad gangen. Man beregner som udgangspunkt timemiddelværdier, men ofte

aggregeres disse data til døgn, måneds eller årsmiddelværdier. I dette projekt arbejder vi med årsmiddelværdier. Fordelen ved denne fremgangsmåde er, at middelværdier over længere perioder har relativt mindre fejl, da evt. fejl udlignes ved midlingen over en lang periode. Årsmiddelværdier fra OSPM er at betragte som state-of-the-art inden for modelberegninger af luftforurening i en gade.

For at finde den samlede forurening, som en pendler eksponeres for langs en rute, har vi genereret et antal punkter langs ruten. For hvert punkt indsamles relevante parametre om gadebredde, -vinkel, bygningshøjder, antal biler, lastbil- og busandel samt kørehastigheder, myldretidstrafik mønstre osv., alt sammen via GIS. Disse variable overføres til OSPM, som laver selve modelberegningen. På baggrund af antagelser om pendlers kørehastighed bestemmes 'opholdstiden' i hvert punkt langs ruten, typisk nogle få sekunder. Den samlede daglige eksponering beregnes som summen af den modelerede koncentration i hvert punkt ganget med opholdstiden. Resultaterne akkumuleres langs ruten til en samlet værdi.

Valg af ruter.

Vi har valgt tre ruter til hver person i undersøgelsen.

1. Den røde rute. Dette er den korteste rute mellem bolig og arbejde. Vi antager, at folk som udgangspunkt cykler denne vej til arbejde. Ruten er dermed vores reference rute for en normal daglig eksponering. Ruten er genereret med Esri ArcGIS Network-analyst med vejlængde som cost-factor.

2. Den grønne rute. Denne rute er konstrueret af os. Den repræsenterer den rute vi formoder vil have den laveste samlede luftforureningseksponering. Ruten er genereret med Esri ArcGIS Network-analyst. Vi har på hvert vejsegment tilknyttet attributter som bl.a. viser antallet af biler, som (gennemsnitligt) kører på den pågældende vej. Vi antager, som første approksima-

tion, at de veje med flest biler også har den største luftforurening, samt at disse parametre er ligefremt proportionale. Ruten bliver fundet ved at bruge et mål for trafiktæthed, samt vejlængden som kostfaktor. Der er nogle praktiske problemer i denne tilgang, de bliver uddybet senere.

3. Den sorte rute. Dette er ruten som man følger, hvis man kører til arbejde med bus, ad hurtigst mulige rute. Den sorte rute er genereret med Rejseplanen.dk

OSPM

Operational Street Pollution Model (OSPM) beregner koncentrationer af udstødningsgasser i gaderummet. Modellen består af en kombineret røgfane-model og en box-model. Røgfane-modellen beskriver fordelingen af luftforurening langs terrænet mens box-modellen beskriver cirkulationen i den øvre del af gaderummet, samt udvekslingen med den fri luft over tagniveau.

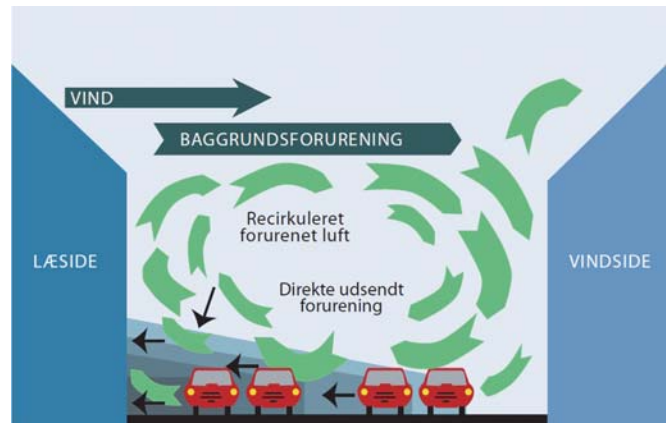
Turbulensen i gaderummet modelleres ud fra vindretning og -hastighed, samt ud fra den trafikskabte turbolens, som afhænger af antal biler samt deres størrelse og især deres hastighed.

Trafikken udsender kvælstofoxider, hvoraf en stor del udgøres af NO (kvælstof-monoxid) som i gaderummet kan omdannes til den sundhedsskadelige NO₂ (Kvælstof-dioxid) ved en reaktion med O₃ (Ozon). OSPM modellerer denne reaktion, som er afhængig af kvælstofforbindelsernes opholdstid i gaderummet samt temperaturen og lysmængden. Omdannelsen er ofte begrænset af tilgængeligheden af ozon, som derfor også modelleres.

Ruteoptimering mod ren luft

En pendler kører langs en park, ad en vej med moderat trafik. På et tidspunkt har han muligheden for at køre ind i parken, og komme ud til samme vej, lidt længere fremme.

Lige netop her opstår kernespørgsmålet. "Kan det svare sig at køre en omvej for at



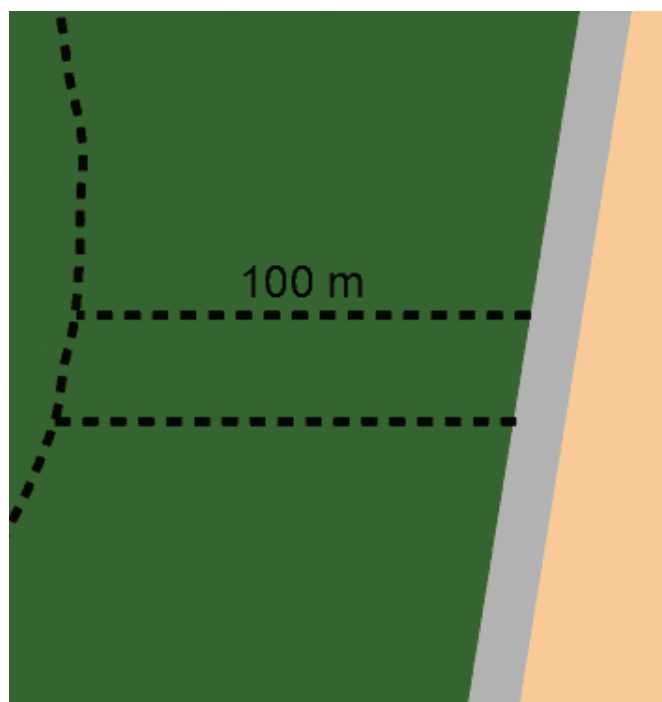
Figur 1. OSPM modellen indeholder en beskrivelse af luftcirkulation i gaderummet, luftudvekslingen med den fri luft over taghøjde, samt den trafikskabte turbulens i de nederste få meter af gaderummet.

slippe for luftforurening?" Dette afhænger naturligvis af en række parametre, hvoraf to er helt afgørende. A) Hvor lang er den givne omvej, og B) Hvad er gevinsten?

Beslutningen kunne afgøres med en simpel cost-benefit analyse, såfremt det er umiddelbart klart hvordan omvej og opnåelse af ren luft skal vægtes mod hinanden. Men det er det desværre ikke.

Første tilnærmelse er at lave en cost-factor på hvert vejsegment som er lig med antal biler på vejen (ADT = Average Daily Traffic) gange med vejsegmentets længde. Det "koster" således det dobbelte, både at køre en dobbelt så lang vej og at køre langs en vej med dobbelt så mange biler (Lipfert et.al. 2006). Dette viser sig desværre at være en forkert balance. Nogle store gader har måske 20.000 biler i døgnet, mens en lille gade kun har 200. Dette giver en factor 100 i forskel. Ruteoptimering vil derfor potentielt kunne føre til anvisning af en 99km lang rute ad små veje frem for en 1km lang rute ad den store vej.

Der er to problemer med denne omvej. Først og fremmest er det ikke realistisk, at en cykelpendler vil foretrække en næsten 100 km lang omvej, desuden er der ikke lineær proportionalitet mellem antal biler og luft-



Figur 2. Gade (grå) langs park (grøn) med stier (stiplet). Hvornår kan det betale sig at 'smutte' ind gennem parken for at slippe væk fra bilerne?

forureningen, eller sagt på en anden måde, der er ikke 100 gange så luftforurenet, selv om der er 100 gange så mange biler.

Anden approksimation er en vægtning mellem ADT og vejlængde, så store veje ikke får u hensigtsmæssig høj cost-factor. Der er eksperimenteret med forskellige faktorer, samt med at anvende kvadratroden af ADT. Hver ny cost-factor blev testet og gav ofte forskellige ruter.

Der viser sig her et andet praktisk problem. Stier fx i parker har, i trafikdatabasen, en $ADT = 0$, altså regner man ikke med, at der er biler på disse stier. Dette er formentlig korrekt, men for rutevælgeren er det ikke hensigtsmæssigt. I nogle tilfælde vælger rutefinderen at følge endog meget lange omveje ind gennem parker, som alternativ til et lille stykke almindeligt vej. Eksemplet med en park ses illustreret ovenfor. Spørgsmålet er, hvad der giver mindst luftforurening; 20m langs en almindelig vej, eller ca. 220m ind gennem parken? Svaret

afhænger som sagt af hvad man tror forskellen er i luftforurening. Antagelsen om at parken ingen luftforurening har overhovedet, er desværre ikke korrekt, der er altid en vis baggrunds luftforurening, som endda varierer mellem forskellige dele af byen, og det er derfor ikke enhver omvej som kan betale sig.

Af praktiske årsager har vi på vores vejnet sat ADT på selv de mindste veje til 200 biler per dag. Det er muligvis lidt for højt, men det medfører et godt sammenfald med den samlede trafik som opgjort af Danmarks Statistik.

Vi valgte, som løsning på park problemet, at angive en ADT på halve af den mindste vej, altså 100 biler i døgnet på alle stier. Der kører selvfølgelig (forhåbentligt) ikke biler i parkerne, men denne rettelse vurderes at give en rimelig afspejling af den baggrundsforurening som trods alt er, også i parker.

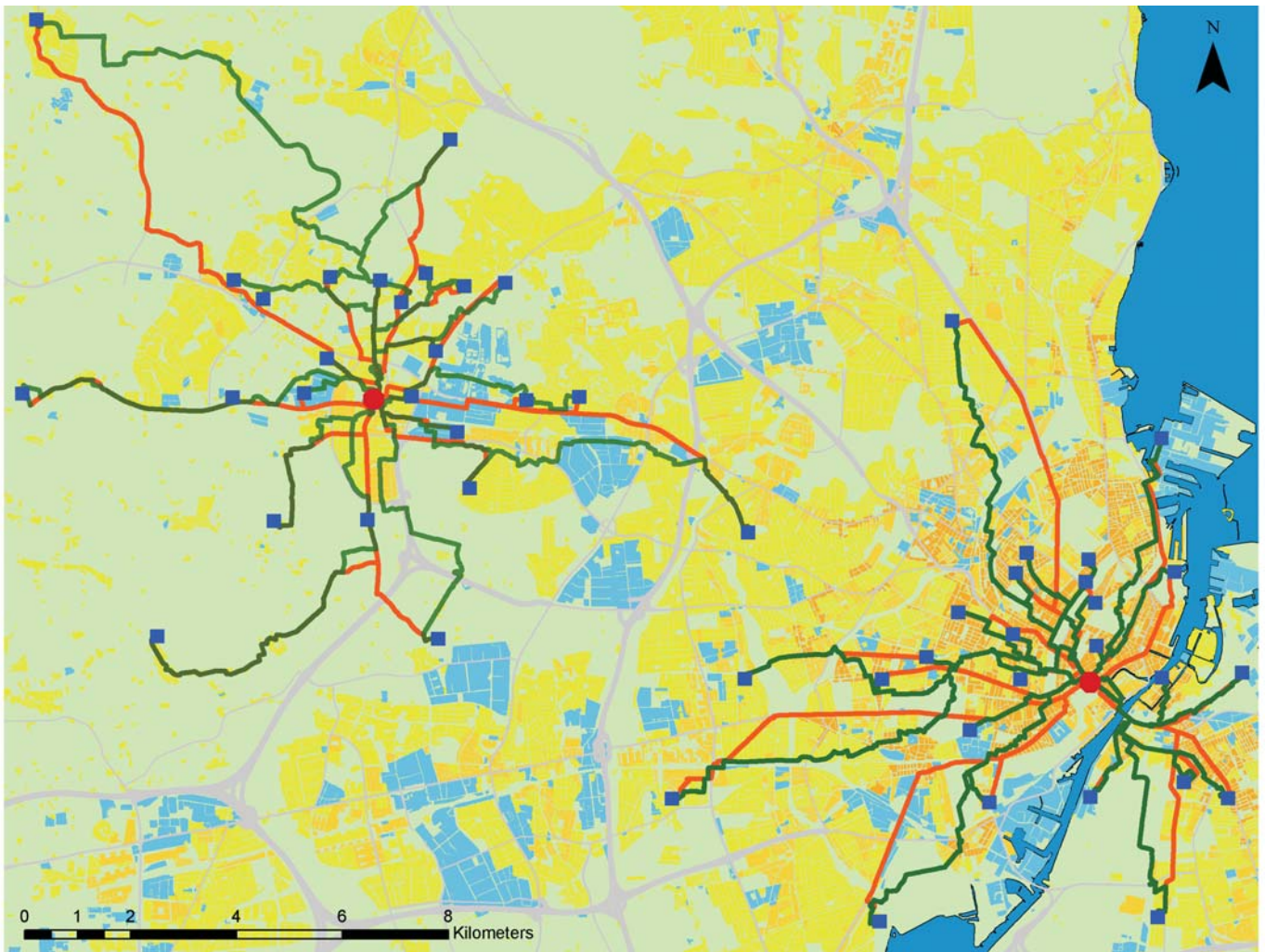
Denne optimering af trafikdata gav os en realistisk udseende 'grøn' rute gennem byen. Som vi anvendte til sammenligning med den røde (korteste) og den sorte (bus) rute.

Det viser sig desuden nødvendigt at begrænse den grønne routes længde. Der kunne forekomme valg af lange omveje ad særdeles små veje. Der er derfor indført den begrænsning, at den grønne rute ikke må være mere end 20% længere end den røde (korteste) rute.

Resultater

De resultater, som præsenteres herunder, er som udgangspunkt gennemsnitlige for alle 50 personer, men dækker altså over at nogen opnår store gevinster, mens andre reelt ikke kan gøre noget for at køre uden om deres daglige luftforurening.

Er der så noget at hente ved at vælge en grøn rute, eller bus frem for standard ruten? Betyder det noget, om man undgår at rejse i myldretiderne?



Figur 3. De røde og grønne ruter ses her på et kort (Hertel et.al. 2008b, Hertel et.al. 2008b). Det fremgår, at nogle pendlere har begrænsede muligheder for overhovedet at vælge alternative ruter. Andre kan køre rød eller grøn rute hele vejen fra dør til dør.

Vi kikker på NO_x (summen af NO og NO₂) som er en god indikator for trafikskabt luftforurening, herunder sundhedsskadelige stoffer som Benzener, tungmetaller og partikler.

Hvis man plotter hver af de 50 personers årgennemsnitlige eksponering for NO_x per tur, for den grønne rute mod den fra den røde rute, så får man et billede af gevinsten. Plotter man tilsvarende NO_x for ruterne med bus, så får man et tilsvarende billede for rejsen med offentlig bus.

Figur 4 side 44, viser sådant et plot. X er grøn rute og O er bus. Vi har plottet morgenturene ved den forudsætning at man møder på arbejde kl. 9 altså indenfor myldretiden.

Man ser tydeligt, at X'erne ligger under 1:1 linjen, mens O'erne ligger over. Dette betyder, at grønne ruter (X) generelt er lavere eksponeret end standarden (rød rute) mens busruter (O) generelt er højere eksponeret end standard turen. Der er lidt forskel på hvor stor gevinsten er for de forskellige pendlere. Men konklusionen er den samme i næsten alle tilfælde: Den grønne rute giver mindre eksponering for luftforurening, og bus giver mere end standard cykelrute.

Rejsetiden for den grønne rute er gennemsnitligt 15% længere end den røde, men reduktionen i NO_x eksponering mellem 24-31%, på trods af den længere opholdstid på vejen. Fjerner man baggrundsforurening-

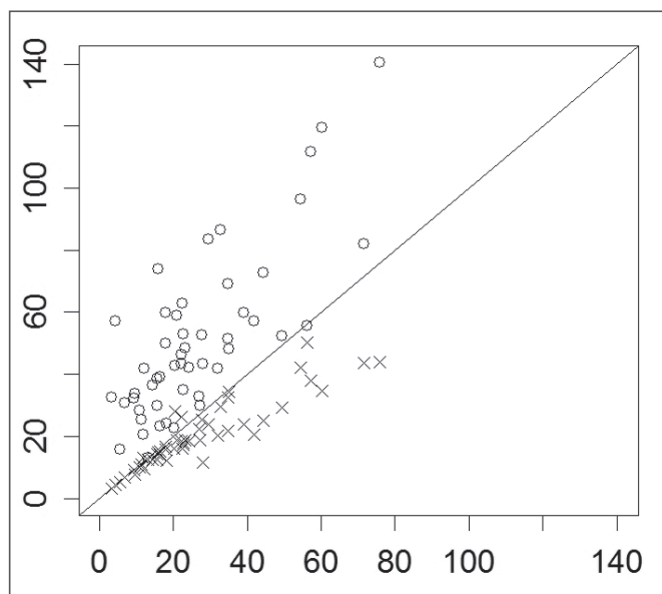
en fra modelberegningen, og kikker alene på den forurening, som stammer fra gaden man kører i, så er gevinsten for NO_x mellem 54-66%.

Kikker man alene på forskellen indenfor og udenfor myldretiden, gennemsnitligt over alle ruter, er gevinsten ved at undgå myldretiden mellem 10-30%, for NO_x

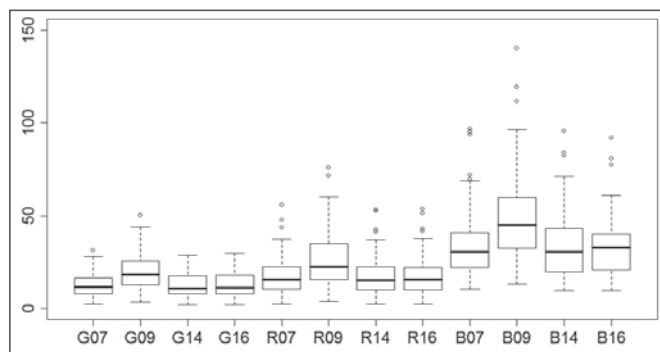
Analysen viser endvidere, at bussen færdes langs de mest trafikerede gader. Derfor udsættes man for mere luftforurening ved at tage bussen sammenlignet med rejsen på cykel – der kan være tale om helt op til den dobbelte udsættelse.

Konklusion

Vores undersøgelse viser en gevinst ved at vælge den reneste rute gennem byen, men også at der er noget at vinde ved at rejse uden for myldretiderne. Samtidig kunne studiet tyde på, at en rutevælger til bestemmel-



Figur 4. Enheden på akserne er NO_x målt i $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{time}$. Således svarer 100 på grafen til den eksponering man får ved at opholde sig 1 time i en gade med NO_x koncentration på $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ er et almindeligt forekommende forureningsniveau på en befærdet Københavnsk gade som fx Jagtvej. Værdierne langs x-aksen repræsenterer rød rute. Y-aksen grøn og sort rute.



Figur 5. Variationen i forurening for de forskellige typer ruter: G=grøn, R=Rød og B=Bus. For mødetid på arbejde hhv. kl. 7, 9, 14 og 16. Centerlinen er middelværdien, 'kasserne' er 25% hhv. 75% percentilerne og de små vandrette streger hhv. 5% og 95% percentiler. Enheden på y-aksen er i $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{time}$.

se af den rene rute gennem byen ville være et værdifuldt redskab for byens cyklister.

Litteraturhenvisninger:

Luftkvalitet og helbred

- Andersen et.al. 2010: Andersen, Z. J., Hvidberg, M., Jensen, S. S., Kettel, M., Loft, S., Sørensen, M., Tjønneland, A., Overvad, K., & Raaschou-Nielsen, O. (2010). Chronic Obstructive Pulmonary Disease and Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution: A Cohort Study. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine.
- Brunekreef et.al. 2002: Brunekreef B, Holgate ST. Air pollution and health. Lancet 2002;360:1233-42.
- Hertel et.al. 2008a: Hertel, O, Jensen, SS, Hvidberg, M, Kettel, M, Berkowicz, R, Palmgren, F, Wåhlin, P, Glasius, M, Loft, S, Vinzents, P, Raaschou-Nielsen, O, Sørensen, M & Bak, H 2008, 'Assessing the Impact of Traffic Air Pollution on Human Exposures and Linking Exposures to Health', Road Pricing the Economy and the Environment, Springer, Berlin Heidelberg, s. 277-299.
- Hoek et.al. 2002: Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S, Fischer P, van den Brandt PA. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. Lancet 2002;360:1203-9

- Hvidberg et.al. 2007: Hvidberg, M, Ketznel, M, Jensen, SS, Christensen, J, Brandt, J & Hertel, O 2007, 'Modellering af udsættelse for luftforurening', Miljø og sundhed, vol Suppl. 7, s. 17-27.
 - Loft et.al. 2003: Loft, S, Andersen, Z, Scheike, T, Raaschou-Nielsen, O, Hertel, O, Jensen, SS & Hvidberg, M 2003, 'Akutte effekter af luftforurening på hjerte- og lungesygdom', Miljøforskning, Miljøforskning, v.57
 - Pedersen et.al. 2009: Pedersen, M, Wichmann, J, Autrup, H, Dang, DA, Hvidberg, M, Bossi, R, Jakobsen, J, Loft, S & Knudsen, LE 2009, 'Increased micronuclei and bulky DNA adducts in cord blood after maternal exposures to traffic-related air pollution', Environmental Research, vol 109, nr. 8
 - Raaschou-Nielsen et.al. 2010: Raaschou-Nielsen, O, Bak, H, Sørensen, M, Jensen, SS, Ketznel, M, Hvidberg, M, Schnohr, P, Tjønneland, A, Overvad, K & Loft, S 2010, 'Air pollution from traffic and risk for lung cancer in three Danish cohorts', Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention, vol 19, nr. 5, s. 1284-91.
 - Raaschou-Nielsen et.al. 2011: Raaschou-Nielsen, OL, Andersen, ZJ, Hvidberg, M, Jensen, SS, Ketznel, M, Sørensen, M, Loft, S, Overvad, K & Tjønneland, A 2011, 'Lung Cancer Incidence and Long-Term Exposure to Air Pollution from Traffic', Environmental Health Perspectives.
- AirGIS, OSPM & modellering**
- Aquilina et.al. 2004: Aquilina N, Micallef A. Evaluation of the Operational Street Pollution Model using data from European cities. Environ Monit Assess. 2004 Jul;95(1-3):75-96.
 - Berkowicz et.al. 2008: Berkowicz, R, Ketznel, M, Jensen, SS, Hvidberg, M & Raaschou-Nielsen, O 2008, 'Evaluation and application of OSPM for traffic pollution assessment for a large number of street locations', Environmental Modelling & Software, vol 23, nr. 3, s. 296-303.
 - Gokhale et.al. 2005: Gokhale SB, Rebours A, Pavageau M. The performance evaluation of WinOSPM model for urban street canyons of Nantes in France. Environ Monit Assess. 2005 Jan;100(1-3):153-76.
 - Hertel et.al. 2003: Hertel, O, Jensen, SS, Hvidberg, M, Brocas, M, Berkowicz, R, Loft, S, Sørensen, M & Raaschou-Nielsen, O 2003, 'Modelberegning af luftforurening: -sammenligning med målte eksponeringer', Miljøforskning, Miljøforskning, vol. 55, s. 12-14.
 - Hvidberg et.al. 2003: Hvidberg, M, Brocas, M, Jensen, SS, Hertel, O, Loft, S, Sørensen, M & Raaschou-Nielsen, O 2003, 'Modellering af luftforurening i det personnære miljø', Miljøforskning, Miljøforskning, vol. 57, s. 26-28.
 - Jensen et.al. 2009: Jensen, SS, Hvidberg, M, Pedersen, J, Storm, L, Stausgaard, L, Becker, T & Hertel, O 2009, GIS-baseret national vej- og trafikdatabase 1960-2005, Faglig rapport fra DMU, nr. 678, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet.
 - Kakosimos et. al. 2011: Kakosimos K.E., Hertel O., Ketznel M. and Berkowicz R. (2011): "Operational Street Pollution Model (OSPM) - a review of performed validation studies, and future prospects", Environmental Chemistry, 7, 485-503.
 - Ketznel et.al. 2008: Ketznel, M, Berkowicz, R, Hvidberg, M, Jensen, SS & Raaschou-Nielsen, O 2008, 'Validation of AirGIS - A GIS-based air pollution and human exposure modelling system', Hrvatski Meteoroloski Casopis, vol 43, nr. 1, s. 350-353.
 - Kukkonen et. al. 2003: Kukkonen, J., Partanen, L., Karppinen, A., Walden, J., Kartastenpää, R., Aarnio, P., Koskentalo, T. and Berkowicz, R. (2003) Evaluation of the OSPM model combined with an urban background model against the data measured in 1997 in Runeberg Street, Helsinki, Atmospheric Environment 37, 1101-1112.
 - Mensink et.al. 2006: Mensink C, Lefebvre F, Janssen L, Cornelis J. A comparison of three street canyon models with measurements at an urban station in Antwerp, Belgium. Environ. Model. Softw. 2006;21:514-9.
- Ruter**
- Hertel et.al. 2008b: Hertel, O, Hvidberg, M, Ketznel, M, Jensen, SS, Stausgaard, L, Madsen, PV & Storm, L 2008, 'Valg af grøn cykelrute gennem byen', Miljø og sundhed, vol 14, nr. 1.

- Hertel et.al. 2008c: Hertel, O, Hvidberg, M, Ketzel, M, Storm, L & 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, vol 389, nr. 1, s. 58-70.
- Lipfert et.al. 2006: Lipfert FW; Wyzga RE; Baty JD; Miller JP (2006). Traffic density as a surrogate measure of environmental exposures in studies of air pollution health effects: Long-term mortality in a cohort of US veterans. Atmos Environ, 40: 154-169.
- Rank et a. 2001: Rank J, Folke J, Jespersen PH 2001: Differences in cyclists and car drivers exposure to air pollution from traffic in the city of Copenhagen, Science of the Total Environment, Vol.279, Iss.1-3
- vanWijnen et.al. 1995: van Wijnen JH, Verhoeff AP, Jans HWA, van Bruggen M. The exposure of cyclist, car drivers and pedestrians to traffic-related air pollutants. Int Arch Occup Environ Health 67:187-193

Om forfatterne:

Martin Hvidberg, Senior Geograf, Aarhus Universitet, Danmarks Miljøundersøgelser, afd. for Atmosfærisk miljø. Har arbejdet med forskning i GIS, byer og luftforurening i +10 år. Martin.Hvidberg@dmu.dk

Ole Hertel, Seniorforsker, Dr. Scient, Aarhus Universitet, Danmarks Miljøundersøgelser, afd. for Atmosfærisk miljø. Har arbejdet med forskning i luftforurening, modellering og human eksponering i +20 år. Ole.Hertel@dmu.dk

Arbejdet med forurening i byrummet har tidligere været omtalt i Hvidberg, M, Jensen, SS & Berkowicz, R 2006, 'GPS tracking af personer i byen: en del af et luftkvalitetssystem', Geoforum Perspektiv, Geoforum Perspektiv - Tidsskrift for Geografisk Information, vol. 9, s. 27-33.

I forbindelse med studiets statistiske analyser er open source softwarepakken R anvendt. Se fx Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing; 2006. R Foundation for Statistical Computing.