

OML-Highway – en ny brugervenlig GIS-baseret luftkvalitetsmodel for motorveje, landeveje og andre veje i åbent terræn

Steen Solvang Jensen¹, Matthias Ketzel¹, Thomas Becker¹, Per Løfstrøm¹, Helge Rørdam Olesen¹, Helmut Lorentz², Lene Nøhr Michelsen³, Jakob Fryd³

¹Danmarks Miljøundersøgelser (DMU), Afdelingen for Atmosfærisk Miljø, Århus Universitet

²Lohmeyer & Co. KG, Tyskland

³Vejdirektoratet

1. Baggrund og formål

I 2007 udarbejdede DMU overordnede specifikationer for en kommende brugervenlig luftkvalitetsmodel for motorveje, landeveje og øvrige veje i åbent terræn, som skulle bruges som et værktøj til vurdering og kortlægning af luftkvalitet langs med disse veje (Berkowicz et al. 2007). Med udgangspunkt heri besluttede Vejdirektoratet at iværksætte et projekt udført af DMU, som dels gennemførte en målekampagne af luftkvaliteten på en udvalgt motorvejsstrækning (Ellermann et al. 2009), og dels udviklede en GIS-baseret brugervenlig brugerflade til en motorvejsmodel for luftkvalitet – OML-Highway (Jensen et al. 2010).

Denne artikel beskriver, hvordan OML-Highway modellen er blevet integreret i SELMA^{GIS}, som er et brugervenligt GIS-baseret system til luftkvalitetsmodellering og visualisering. Endvidere beskrives features og potentielle anvendelsesmuligheder af OML-Highway, og der gives to konkrete eksempler på anvendelser. Dels et eksempel, hvor der er gennemført en kortlægning af luftkvaliteten langs en længere motorvejsstrækning (Holbækmotorvejen), og dels et meget lokalt eksempel, som belyser effekten af støjskærme på luftkvaliteten på et konkret sted på en motorvejsstrækning.

2. Metode

2.1 Udvikling og evaluering af OML-Highway

OML-Highway er en gaussisk lokalskala spredningsmodel specielt udviklet til at beskrive spredning af luftforurening langs med veje i det åbne terræn. OML-Highway er baseret på OML modellen (Olsen et al. 1992;2007), som bl.a. benyttes til vurdering af luftkvalitet fra punktkilder i forbindelse med miljøgodkendelser. OML modellen blev modificeret, således at den tager hensyn til forholdene for veje i åbent terræn ved at integrere og videreudvikle en beskrivelse af trafikskabt turbulens, som stammer fra gadeluftkvalitetsmodellen Operational Street Pollution Model (OSPM) (Berkowicz 2000).

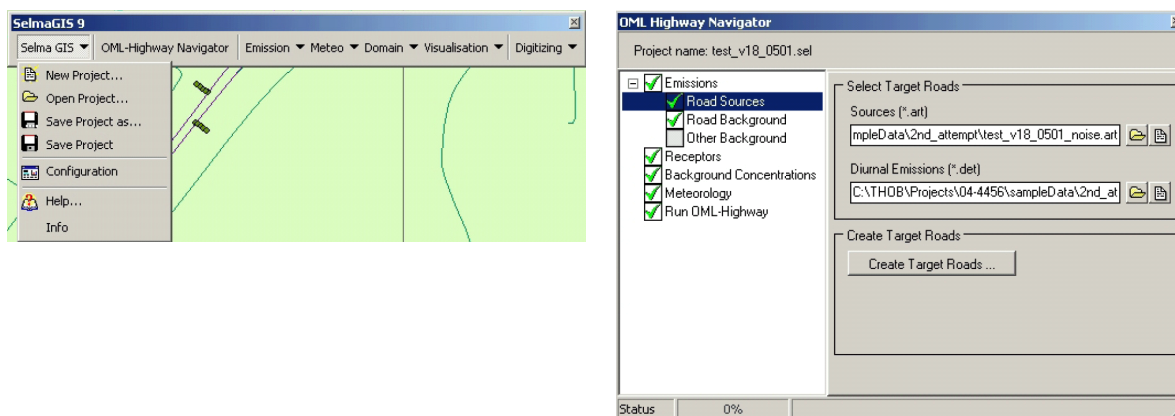
Detaljeret beskrivelse af OML-Highway modellen og evaluering af modelresultater i sammenligning med målinger langs med Køge Bugt Motorvejen, samt kortlægning af koncentrationsniveauer langs hele motorvejsnettet i det tidligere Roskilde Amt er beskrevet i *Jensen et al.* (2004; 2006). Der er endvidere foretaget en evaluering af OML-Highway modellen baseret på danske målinger (Køge Bugt Motorvejen) og norske målinger samt en sammenligning med andre spredningsmodeller, som anvendes i de nordiske lande for motorveje (Berger et al. (2010). I denne evaluering var OML-Highway modellen den bedste model til at reproducere målingerne. Der har endvidere været gennemført en målekampagne på Holbækmotorvejen med det formål at bestemme og evaluere emissionsfaktorer for partikelemission (PM₁₀ og PM_{2,5} – partikler under hhv. 10 og 2,5 mikrometer) (Ellermann et al. 2009). En anden undersøgelse har sammenlignet målinger af gasser og partikelforurening på to lokaliteter, den ene langs med Holbækmotorvejen og den anden for en trafikeret bygade i København H.C. Andersens Boulevard (Wang et al. 2010).

2.2 Ny GIS-baseret brugerflade til OML-Highway

Der er blevet udviklet en ny GIS-baseret brugervenlig brugerflade til OML-Highway modellen. OML-Highway er blevet integreret i SELMA^{GIS}, som er udviklet af det tyske firma Lohmeyer & Co. KG. SELMA^{GIS} er et kommercielt værktøj til modellering og visualisering af luftkvalitet og indeholder bl.a. flere tyske luftkvalitetsmodeller (Lohmeyer 2006). SELMA^{GIS} er baseret på ESRI's ArcGISTM, som er et standard GIS program. ArcGISTM muliggør programmering af såkaldte extensions, således at man kan tilføje sin egen brugerflade til ArcGISTM. SELMA^{GIS} med OML-Highway modellen er programmeret som en sådan extension.

Som grundlag for programmering af brugerfladen blev der beskrevet meget detaljerede specifikationer bestående dels af en data flow model samt af dialogbokse for brugerfladen udført i programmet Microsoft VisioPro. Data flow modellen tilvejebringer et detaljeret overblik over input og output samt indbyrdes sammenhænge mellem processer og data for hvert element af input og output. Endvidere er alle anvendte filer specificeret. Med udgangspunkt i data flow modellen blev der opstillet dialogbokse for brugerfladen (Graphical User Interface). Brugergænsefladen til OML-Highway i ArcGISTM er beskrevet i en særskilt OML-Highway brugervejledning, som der er adgang til via brugerfladen.

I Figur 1 er vist hovedmenuerne i brugerfladen til OML-Highway samt et eksempel på en dialogboks i brugerfladen.



Figur 1 Venstre: Hovedmenuerne i brugerfladen til OML-Highway som en extension i ArcGISTM/SELMA^{GIS}. Højre: Eksempel på en dialogboks i brugerfladen til OML-Highway.

2.3 Input og output

OML-Highway skal have følgende input data:

- trafikdata på et digitalt vejnet til bestemmelse af trafikemission
- eventuelt emissionsdata fra andre forureningskilder
- regional baggrundskoncentrationsdata
- meteorologisk data
- receptor punkter

Brugeren skal importere et digitalt vejnet som et linjetema med vej- og trafikdata. For hver delstrækning skal der som minimum være oplysninger om unikt strækningsid, strækningslængde, vejtype, enkelt eller dobbelt digitaliseret vej, vejbredde, årsdøgntrafik, køretøjsfordeling for person-,

vare-, og lastbiler samt busser, rejsehastighed samt OSPM vejtype (beskriver trafikens døgnfordeling). Endvidere skal der oplyses om vejstrækningen er en beregningsvej eller en baggrundsvej. Beregningsveje er strækninger, hvor trafikemissionen bliver beregnet for hver delstrækning og det er muligt at generere receptorpunkter langs disse strækninger. Baggrundsveje er strækninger, hvor OML-Highway beregner trafikemissionen på et gitternet, som brugeren specificerer fx 1 km x 1 km. Emissionen fra såvel beregnings- som baggrundsveje indgår i beregning af koncentrationen på et receptorpunkt. Såfremt der skal tages hensyn til effekten af støjskærme i koncentrationsberegningerne skal der også gives forskellige oplysninger om støjskærme som højde og placering.

Brugeren har også mulighed for at importere emissionsdata fra andre kilder fx boligopvarmning og industri. Dette data skal opfylde et på forhånd defineret format.

Regional baggrundskoncentrationsdata kan også importeres. Dette skal opfylde et på forhånd defineret format og indeholde en tidsserie med timedata af fx NO_x, NO₂, O₃, PM_{2,5} og PM₁₀.

OML-Highway forudsætter en meteorologisk fil, som opfylder OML formatet til meteorologisk data. En sådan fil kan genereres ud fra synoptisk data (landbaserede observationer) og radio sonde data (observationer op gennem atmosfæren). Dette kræver anvendelse af en række programmer, som udgør den meteorologiske pre-processor software pakke for OML modellen. Eksempler på sådanne meteorologiske filer medfølger. Da det kræver ekspertviden at generere denne fil, kan OML-Highway generere tilnærmet meteorologisk data alene ud fra almindeligt tilgængelig synoptisk data, som indeholder en timebaseret tidsserie med vindhastighed, vindretning, temperatur, solindstråling, relativ fugtighed, skydække mv.

Receptorpunkter er beregningspunkter for beregning af koncentrationen af forskellige luftforureninger. OML-Highway kan generere receptorpunkter på en række forskellige måder. Det er muligt automatisk at generere receptorpunkter langs med beregningsvejstrækningerne i forskellige brugerdefinerede vinkelrette afstande fra vejstrækningerne og med forskellige mellemrum. Det er også muligt frit at fastlægge et eller flere receptorpunkter ligesom det er muligt at importere et GIS datasæt med receptorpunkter. OML-Highway kan også generere receptorpunkter i midtpunktet af et specificeret gitternet. I forbindelse med specificering af receptorpunkter skal brugeren også vælge ruhed og terrænforhold for området, hvilket har betydning for spredningsforholdene.

OML-Highway beregner time for time koncentrationen af en række luftforureninger for valgte receptorpunkter. Output data kan inddeles i to hovedgruppen: statistisk data og tidsserie data. OML-Highway genererer syv forskellige filer med statistisk data bl.a. med middelværdier, percentilværdier og max værdier, som også kan visualiseres samlet i GIS. Tidsserie data dvs. koncentrationsdata for hver time i beregningsperioden genereres som en fil for hvert valgt receptorpunkt. OML-Highway kan beregne for de luftforureninger, hvor der eksisterer tilgængelige emissionsdata og regional baggrundskoncentrationer. Det vil typisk være følgende stoffer: NO_x, NO₂, O₃, antal partikler, PM_{2,5} og PM₁₀ samt CO og benzen.

2.4 Features

OML-Highway modellen er udviklet til at beregne koncentrationen af luftforurening langs motor- og landeveje i åbent terræn. Der er udviklet en brugergrænseflade i GIS, som er nem at bruge. Grænsebrugerfladen er opbygget således, at brugeren kun behøver at give få input data for at kunne køre en kompleks model som OML-Highway. Modellen tager sig af mange mellemliggende beregninger og omformateringer af input data.

Koblingen af OML-Highway med GIS er en kombination, der muliggør en række anvendelser af GIS til udvælgelse, visualisering og analyse af input og output data. På grund af GIS er det også nemt at

oprette receptorpunkter langs veje, og koble input og output data med øvrige data som fx luftfotos, bygningsomrids, befolkningsdata mv.

GIS muliggør også stor fleksibilitet i håndtering af data fx i udvælgelse af beregnings- og baggrundsveje, fastsættelse af receptorpunkter og dannelse af gitternet.

I forbindelse med udvikling af brugerfladen er emissionsmodellen i OSPM modellen også blevet integreret i OML-Highway. OSPM modellen er udviklet af DMU, og selve emissionsmodulet er baseret på emissionsmodellen COPERT 4 (EEA 2007). Dette muliggør fuld udnyttelse og konsistens med emissionsmodulet i OSPM, som løbende opdateres. Endvidere er der implementeret en metode, som muliggør automatisk beregning af trafikemissionen fra et digitalt vejnet på selvvalgt geografisk opløsning af et gitternet fx 1x1 km².

OML-Highway forudsætter en meteorologisk fil, som opfylder OML formatet til meteorologisk data. Da det kræver ekspertviden at generere denne fil, er der blevet implementeret en feature som genererer tilnærmet meteorologisk data alene ud fra almindeligt tilgængelig synoptisk meteorologisk data.

OML-Highway modellen er endvidere blevet udbygget med en feature, således at det er muligt at modellere effekten af støjskærme/volde på spredningen af luftforureningen, idet tyske parameteriseringer heraf er implementeret i modellen.

OML-Highway inkluderer simpel fotokemi, og kan således beregne koncentrationen af NO₂, hvor der indgår kemisk omdannelse mellem NO, NO₂ og O₃.

3. Resultater og diskussion

Anvendelsesmuligheder

Der er identificeret en række anvendelsesmuligheder af OML-Highway modellen, som kort er beskrevet nedenfor.

- *VVM-vurdering* – forbedring af informationsgrundlaget om emission og luftkvalitet i forbindelse med VVM-vurderinger af nye større vejanlæg eller væsentlige ændringer af eksisterende større veje.
- *Grænseværdier for luftkvalitet* – vurdering af nuværende og fremtidige luftkvalitetsniveauer langs med motorveje og landeveje i forhold til grænseværdier for luftkvalitet med fokus på NO₂, PM_{2.5} og PM₁₀.
- *Systematisk kortlægning af luftkvalitet og befolkningseksponering* - kortlægning af luftkvalitetsniveauer langs med motorveje og landeveje og den tilhørende befolkningseksponering for at kunne identificere kritiske strækninger, som kræver yderligere detailstudier og mulige tiltag for at nedbringe luftforureningen for forbedring af folkesundheden.
- *Hvad-nu-hvis scenarier* - beregne luftkvalitet under forskellige forudsætninger fx alternative linieføringer, etablering af støjskærme, ændringer i trafikniveau, ændringer i trafiksammensætning, ændrede emissionsforhold mv.
- *Prioritering af vejinvesteringer baseret på cost-benefit analyse* - på længere sigt bidrage til videreudvikling af de metoder og datagrundlag, som indgår i de cost-benefit analyser, som ligger til grund for prioritering af vejinvesteringer. Her kunne luftkvalitet og befolkningseksponering inddrages som basis for beregning af eksternalitetsomkostninger af luftforurening.

I Figure 2 er vist et eksempel, hvor der er gennemført en kortlægning af luftkvaliteten langs en længere strækning af Holbækmotorvejen. Meteorologisk data er fra 2003 og trafikdata samt emissionsdata er

fra 2005. Der blev ikke konstateret overskridelser af grænseværdien plus tolerancemargin i 2005 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

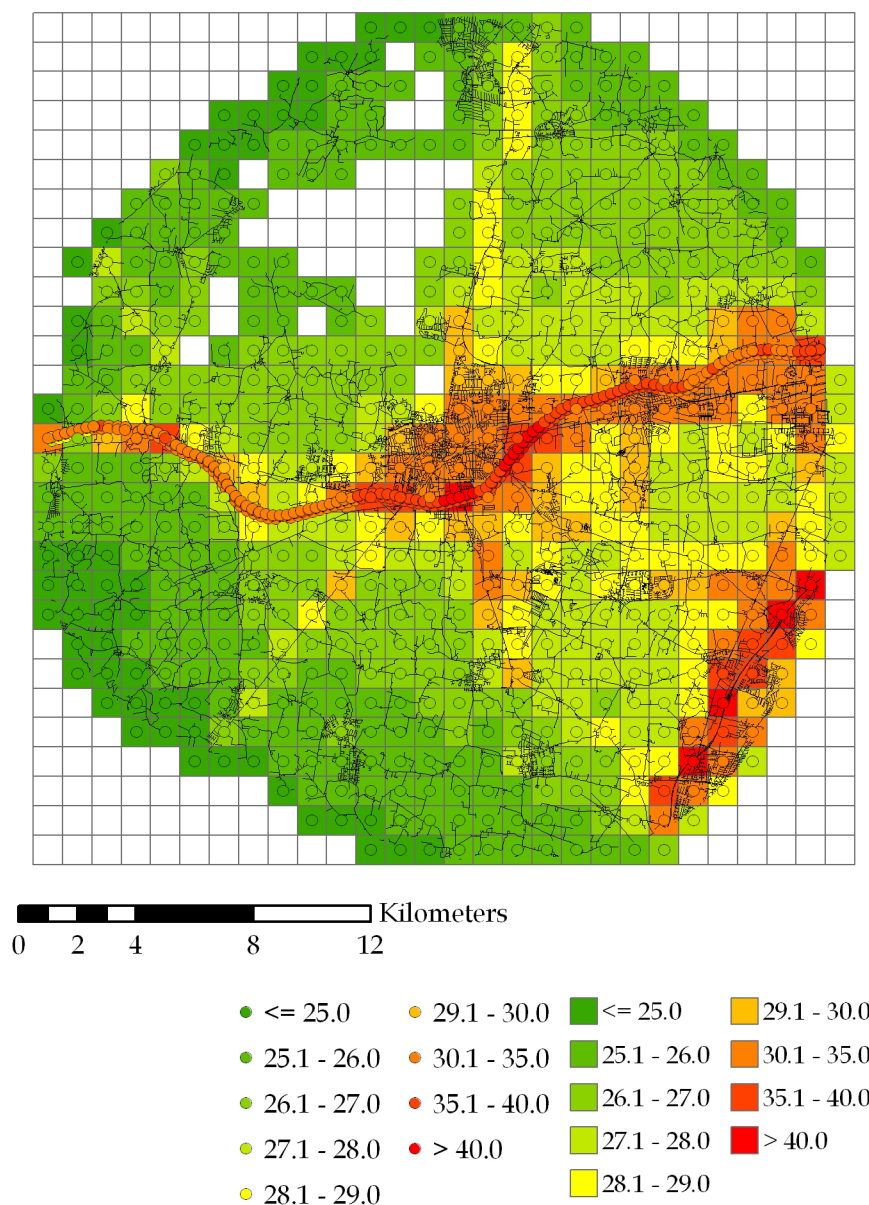
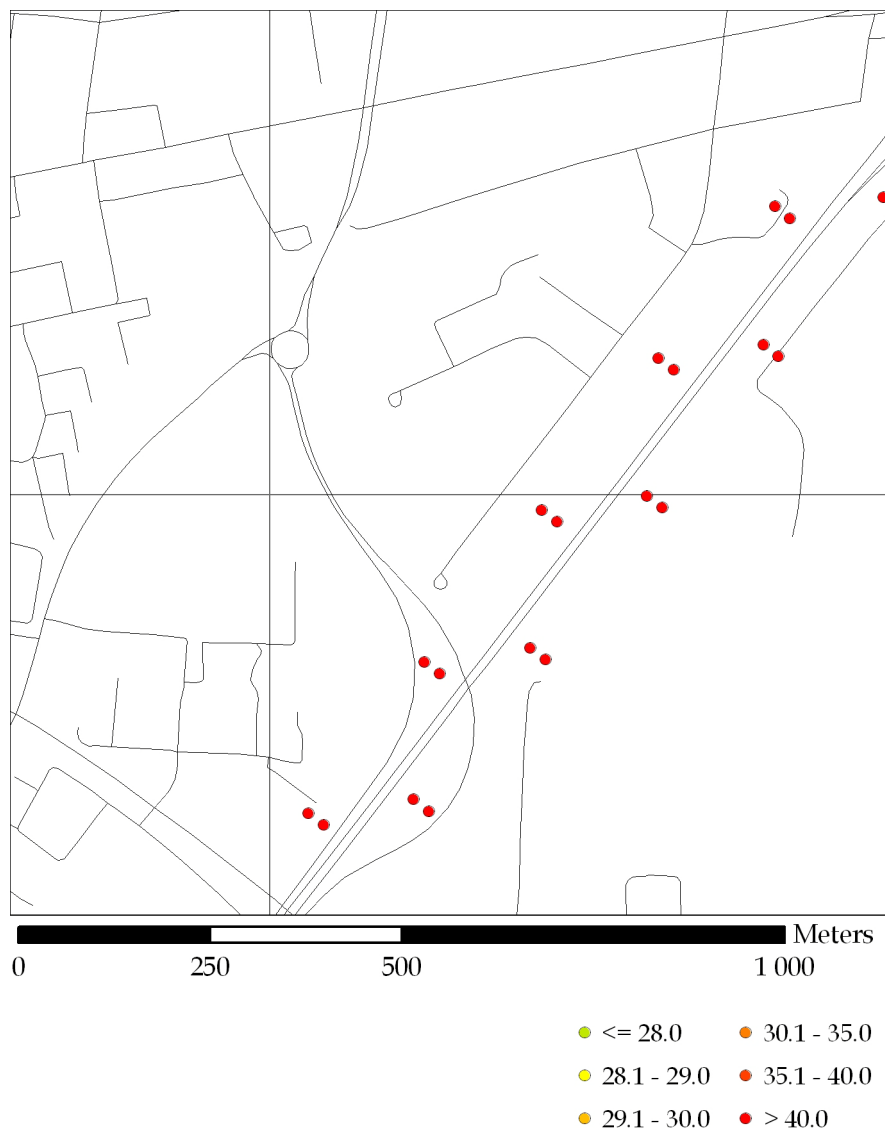


Figure 2. Beregningspunkter langs med Holbækmotorvejen og beregningspunkter i centeret af baggrundsgitternet. Roskilde by ligger i midten af kortet. Beregnede middelværdier af NO_2 koncentrationer i 2005 i afstande af 50 m, 100 m og 200 m fra motorvejen.

I Figur 3 er vist samme eksempel som ovenfor, men der er her zoomet ind på en lille delstrækning af Holbækmotorvejen ved Roskilde.

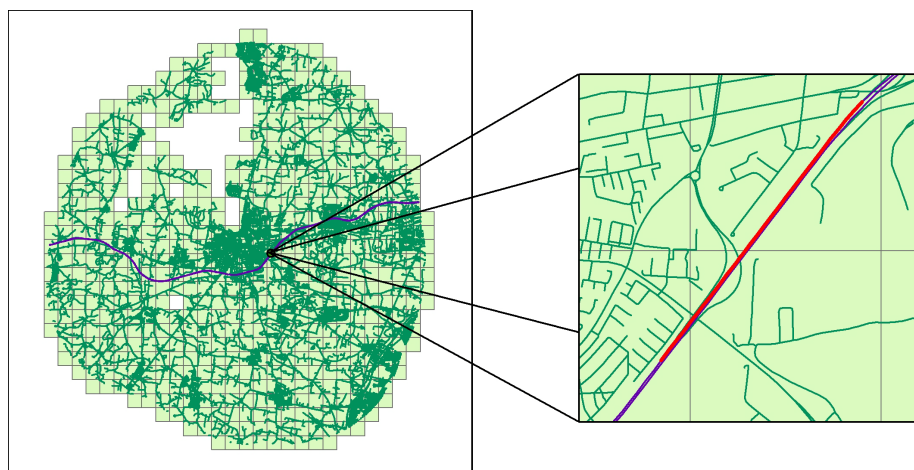


Figur 3. Middelværdier for NO₂ i µg/m³ i 2005. Beregnede koncentrationer for udvalgte receptor punkter langs med Holbækmotorvejen ved Roskilde. I dette eksempel er det receptor punkter i afstande af 50 m og 100 m fra vejmidten.

I Figur 4 er vist et eksempel, som belyser den maksimale effekt af støjskærme på luftkvaliteten på et konkret sted på en motorvejsstrækning. I dette eksempel er beregninger gennemført for tre situationer: uden støjskærm, med 3 m høj støjskærm og med 6 m høj støjskærm. I eksemplet er der kun set på bidraget fra beregningsvejen dvs. motorvejsstrækningen, og baggrundsveje samt regionale baggrundskoncentrationer er ikke inkluderet. 16 receptor punkter (afstand mellem 4 m og 25 m fra vejmidten af strækningsretningen mod Holbæk) er defineret langs vejstrækningen, som har en længde på 171 meters. Der er modelleret for en enkelt time, hvor vindretningen er vinkelret på vejen fra sydøst. Det er mandag kl. 17:00 den 21.04.2003, og repræsenterer således en trafiksituation på en arbejdsdag i myldretiden. Trafikemissionen svarer til 2005. I tabel 1 og 2 er vist den modellerede koncentration i de forskellige afstande fra motorvejen for hhv. NO_x og NO₂, og i Figur 5 og Figur 6 er resultaterne visualiseret grafisk.

Som forventet er reduktionen større for den høje støjskærm på 6 m i forhold til den på 3 m, og reduktionen er størst tæt på støjskærmen, hvorefter den aftager med afstanden. Den procentvise effekt

er lidt mindre for NO_2 i forhold til NO_x pga. kemi. Dette skyldes, at det tager lidt tid for den emitterede NO at reagere med luftens O_3 under dannelse af NO_2 . Effekten af skærmen skyldes, at den øger den initiale spredningshøjde af røgfanen, og dermed øger fortyndingen tæt på skærmen. Den procentvise effekt af støjskærmen vil være mindre, hvis der ses på en middelværdi over hele året pga. vind fra forskellige vindretninger. Såfremt forureningsbidraget fra baggrundsveje og regionale baggrundskoncentrationer også inddrages vil den procentvise reduktion blive endnu mindre.



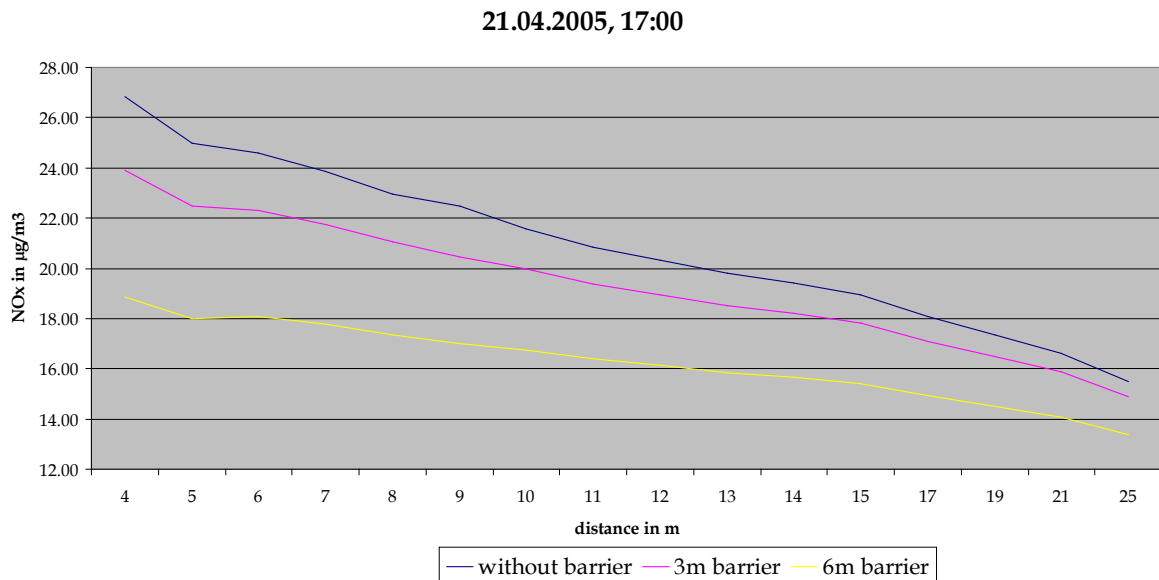
Figur 4. Overblik over placering af fiktiv støjskærm langs vejstrækning på Holbækmotorvejen ved Roskilde. Støjskærmen er placeret nord for motorvejen.

Tabel 1. Modelleret årsmiddelværdi af NO_x for 16 receptorpunkter på Holbækmotorvejen i forskellige afstande. Kun bidraget fra motorvejen er medtaget i beregningerne.

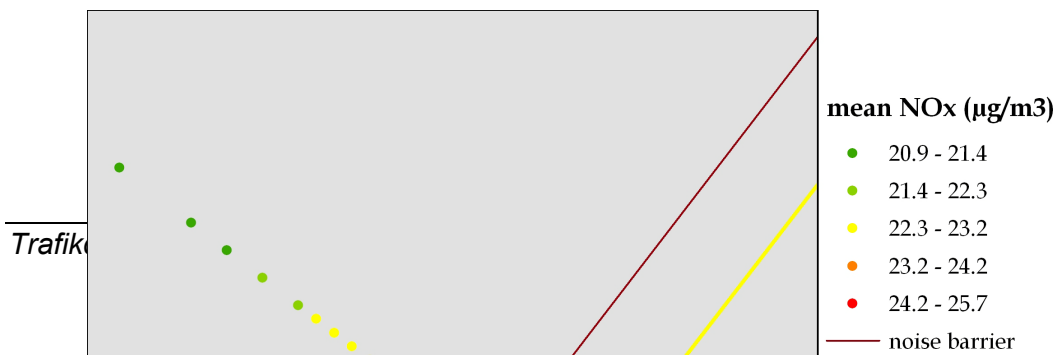
Afstand fra vej (m)	Uden støj skærm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Med støjskærm (højde 3m) (%)	Med støjskærm (højde 6m) (%)
4	26.8	-10.8%	-29.6%
5	25.0	-10.0%	-28.0%
6	24.6	-9.3%	-26.6%
7	23.9	-8.8%	-25.5%
8	23.0	-8.3%	-24.4%
9	22.4	-8.9%	-24.3%
10	21.6	-7.5%	-22.5%
11	21.0	-7.0%	-21.4%
12	20.3	-6.7%	-20.6%
13	19.8	-6.4%	-19.9%
14	19.4	-6.1%	-19.3%
15	18.9	-5.9%	-18.6%
17	18.1	-5.4%	-17.4%
19	17.4	-5.1%	-16.4%
21	16.6	-4.6%	-15.3%
25	15.5	-4.1%	-13.8%

Tabel 2. Modelleret årsmiddelværdi af NO₂ for 16 receptorpunkter på Holbækmotorvejen i forskellige afstande. Kun bidraget fra motorvejen er medtaget i beregningerne.

Afstand fra vej (m)	Uden støj skærm (µg/m ³)	Med støjskærm (højde 3m) (%)	Med støjskærm (højde 6m) (%)
4	5.1	-10.1%	-27.8%
5	4.8	-9.3%	-26.3%
6	4.8	-8.6%	-24.8%
7	4.7	-8.1%	-23.8%
8	4.5	-7.7%	-22.7%
9	4.5	-8.3%	-22.5%
10	4.3	-6.9%	-21.0%
11	4.2	-6.5%	-19.9%
12	4.1	-6.3%	-19.3%
13	4.0	-5.9%	-18.5%
14	4.0	-5.8%	-18.0%
15	3.9	-5.4%	-17.3%
17	3.8	-5.0%	-16.1%
19	3.7	-4.7%	-15.2%
21	3.6	-4.3%	-14.2%
25	3.5	-3.8%	-12.8%



Figur 5. Effekt af støjskærm på 3 m og 6 m i forskellige afstande fra vejen for NO_x koncentrationen for en specifik time.



4. Konklusion

Der er udviklet en ny GIS-baseret brugervenlig brugerflade til luftkvalitetsmodellen OML-Highway, som muliggør beregning af luftkvaliteten langs motorveje, landeveje og øvrige veje i åbent terræn. Endvidere er identificeret potentielle anvendelsesmuligheder af OML-Highway, og illustreret to konkrete eksempler på anvendelser: kortlægning langs en motorvej og effekten af en støjskærm.

Taksigelse

Projektet er udført for og finansieret af Vejdirektoratet med medfinansiering fra Danmarks Miljøundersøgelser. Lohmeyer & Co. har udviklet og programmeret den grafiske brugerflade til OML-Highway.

Tilgængelighed

OML-Highway modellen, som en del af SELMA^{GIS}, er kommerciel tilgængelig som en extension til ArcGISTM, og kræver således at ESRI's ArcGISTM er installeret. Endvidere skal WinOSPM være installeret, da emissionsmodulet herfra benyttes i beregning af trafikemissioner.

Referencer

Berger J., Walker S-E., Denby B., Berkowicz R., Løfstrøm P., Ketznel M., Härkönen J., Nikmo J. and Karppinen A. 2010. Evaluation and inter-comparison of open road line source models currently in use in the Nordic countries. Boreal Environment Research. Available as preprint at www.borenv.net/BER/pdfs/preprints/Berger.pdf. ISSN 1797-2469 (online), ISSN 1239-6095.

Berkowicz, R. (2000): OSPM – a Parameterised Street Pollution Model. Environmental Monitoring and Assessment 65: 323-331, 2000.

Berkowicz R., Løfstrøm P., Ketznel M., Jensen S.S. and Hvidberg M. 2007. OML Highway – Phase 1: Specifications for a Danish Highway Air Pollution Model. NERI Technical Report no. 633.

EEA (2007): EMEP/CORINAIR Atmospheric Emissions Inventory Guidebook 2007. Methodology for the calculation of exhaust emissions. Road Transport. Version 6.0 August 2007. COPERT 4. European Environmental Agency. 105 p.

Ellermann, T., Jensen, S.S., Ketznel, M., Løfstrøm, P., Massling, A. (2009): Measurements of air pollution from a Danish highway. National Environmental Research Institute, Aarhus University. 45 p.- Research Notes from NERI No. 254. <http://www2.dmu.dk/Pub/AR254.pdf>

Jensen, S.S., Løfstrøm, P., Berkowicz, R., Olesen, H.R., Frydendal, J., Fuglsang, K., Hummelshøj, P. (2004): Luftkvalitet langs motorveje - Målekampagne og modelberegninger. Danmarks Miljøundersøgelser, 67 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 522. <http://fagligerapporter.dmu.dk>.

Jensen, S.S., Løfstrøm, P., Berkowicz, R., Olesen, H.R., Frydendal, J., Madsen, I.L., Fuglsang, K., Hummelshøj, P. (2005): Kortlægning af luftkvalitet langs motorveje. Trafikdage på Aalborg Universitet 22.-23. august 2005. www.trafikdage.dk/td/papers/papers05/Trafikdage-2005-419.pdf.

Jensen, S.S., Løfstrøm, P., Berkowicz, R., Olesen, H.R., Frydendall, J., Madsen, I-L., Ketznel, M., Fuglsang, K. & Hummelshøj, P. (2006): Mapping of air quality and human exposure along motorways. In: Joumard, R. (ed): Proceedings of the 2nd Conference Environment & Transport including the 15th conference Transport and Air Pollution, Reims, 12-14 June 2006. Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. - Actes 107: 287-294.

Jensen, S.S., Becker, T., Ketznel, M., Løfstrøm, P., Olesen, H.R., Lorentz, H. (2010): OML-Highway within the framework of SELMA^{GIS}. Final Report. National Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark, 26 p, NERI Technical Report No. 771. <http://www.dmu.dk/Pub/FR771.pdf>.

Lohmeyer (2006): Modeling System SELMA^{GIS}. System for Calculating and Representing Air Pollutant Concentrations. Version 9.20. 23.04.2006. Lohmeyer GmbH & Co. KG.

Olesen, H.R., Løfstrøm, P., Berkowicz, R. and Jensen, A.B. (1992): An improved dispersion model for regulatory use - the OML model. *In: Air Pollution Modeling and its Application IX*, H. van Dop and G. Kallos (eds.). Plenum Press, New York.

Olesen, H.R., Berkowicz, R.B, Løfstrøm, P., 2007: OML: Review of model formulation. National Environmental Research Institute, Denmark. 130pp. -NERI Technical Report No. 609, <http://www.dmu.dk/Pub/FR609>.