LUFTFORURENING FRA MOBILE IKKE-VEJGÅENDE MASKINER I BYOMRÅDER

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 65 2013

AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

LUFTFORURENING FRA MOBILE IKKE-VEJGÅENDE MASKINER I BYOMRÅDER

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 65 2013

Helge Rørdam Olesen
Morten Winther
Marlene Schmidt Plejdrup
Jørgen Brandt
Matthias Ketzel
Thomas Ellermann.

Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab

AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 65
Titel:	Luftforurening fra mobile ikke-vejgående maskiner i byområder
Forfattere:	Helge Rørdam Olesen, Morten Winther, Marlene Schmidt Plejdrup, Jørgen Brandt, Matthias Ketzel & Thomas Ellermann.
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	August 2013
Redaktion afsluttet:	Juli 2013
Faglig kommentering:	Steen Solvang Jensen og Jørgen Brandt
Finansiel støtte:	Miljøstyrelsen
Bedes citeret:	Helge Rørdam Olesen, Morten Winther, Marlene Schmidt Plejdrup, Jørgen Brandt, Matthias Ketzel & Thomas Ellermann. 2013. Luftforurening fra mobile ikke-vejgående maskiner i byområder. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 39s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 65 http://dce2.au.dk/Pub/SR65.pdf

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Sammenfatning: Rapporten beskriver resultaterne af et projekt om den rolle, som brugen af entreprenørmaskiner mv. har for luftforurening i Danmark, specielt i byområderne København og Aarhus. Dette er gjort ved at kortlægge forholdene for den kategori af maskiner, der benævnes som "ikke-vejgående maskiner i industrien", dvs. bl.a. gravemaskiner, dumpere, dozere, pumper, generatorer, kompressorer og gaffeltrucks. Rapporten beskriver disse maskiners bidrag i henseende til emissioner og koncentrationer af kvælstofoxider og fine partikler.
Resultaterne er baseret på brug af en fordelingsnøgle til geografisk fordeling af emissionerne. Der vises resultater ved at benytte en normalt anvendt fordelingsnøgle samt ved at benytte forskellige alternative fordelingsnøgler. Endelig belyses effekten af mulige krav til ikke-vejgående maskiner.

Emneord:	Luftforurening, entreprenørmaskiner, mobile ikke-vejgående maskiner, kvælstofoxider, fine partikler, emissionsopgørelse, modelberegninger
Layout:	Majbritt Pedersen-Ulrich
Foto forside:	Thomas Ellermann
ISBN:	978-87-7156-016-9
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	39
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/Pub/SR65.pdf

Indhold

Forord **5**

Sammenfatning **6**

Baggrund 6

Hvor stort et bidrag til luftforureningen leverer mobile ikke-vejgående maskiner i byområderne København og Aarhus? 6

Effekt af mulige krav til ikke-vejgående maskiner 7

Summary and conclusions **9**

Background 9

What is the contribution to air pollution from mobile non-road machinery in the towns of Copenhagen and Aarhus? 9

Effect of possible stricter emission standards for mobile non-road machinery 10

1 Indledning **11**

1.1 Baggrund 11

1.2 Formål 11

2 Bidrag fra mobile ikke-vejgående maskiner baseret på den nationale emissionsopgørelse **12**

2.1 Geografisk fordeling af emissioner fra ikke-vejgående køretøjer i industrien 12

2.2 Emissioner i København og Aarhus 15

2.3 Konsekvenser for koncentrationer 17

3 Effekt af krav til ikke-vejgående maskiner **24**

3.1 Nationale emissioner fra industri 24

3.2 Miljøscenarier 25

3.3 Diskussion 27

4 Konklusion **29**

4.1 Fordelingsnøgler og bidrag fra ikke-vejgående maskiner 29

4.2 Hvilken effekt vil forskellige minimumsstandarder have? 30

5 Referencer **32**

Bilag 1 **33**

Forord

Miljøstyrelsen iværksatte september 2012 et projekt til vurdering af, hvilken indflydelse tog samt mobile ikke-vejgående maskiner har på luftkvaliteten i byområder med fokus på København og Aarhus. Nærværende rapport har fokus på mobile ikke-vejgående maskiner, mens vurderinger af togdriftens bidrag foreligger som en rapport i Miljøstyrelsens serie af Miljøprojekter (Olesen et al., 2013).

Projektet er gennemført af DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet (AU) med Institut for Miljøvidenskab ved AU som udførende enhed.

Projektledelsen er fra Miljøstyrelsens side blevet varetaget af Christian Lange Fogh og Katja Asmussen. Projektdeltagerne fra DCE er Helge Rørdam Olesen (projektleder), Thomas Ellermann, Morten Winther, Marlene Schmidt Plejdrup, Jørgen Brandt og Matthias Ketzel – alle tilknyttet Institut for Miljøvidenskab, AU.

Sammenfatning

Baggrund

Nærværende rapport beskriver resultaterne af et projekt om den rolle, som brugen af entreprenørmaskiner mv. har for luftforurening i Danmark, specielt i byområderne København og Aarhus. Dette er gjort ved at kortlægge forholdene for den kategori af maskiner, der benævnes som "ikke-vejgående maskiner i industrien", dvs. bl.a. gravemaskiner, dumpere, dozere, pumper, generatorer, kompressorer og gaffeltrucks.

Projektet er gennemført af DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet på foranledning af Miljøstyrelsen.

Hvor stort et bidrag til luftforureningen leverer mobile ikke-vejgående maskiner i byområderne København og Aarhus?

Projektet har ud fra tilgængelige data søgt at vurdere, hvor meget forurening fra mobile ikke-vejgående maskiner – dvs. en gruppe af maskiner, der benyttes ved bygge- og anlægsvirksomhed samt produktion – betyder for luftkvaliteten i Københavnsområdet og Aarhus-området. På landsplan er denne type maskiner ansvarlige for ca. 6 % af emissionen (udledningen) af NO_X og ca. 3 % af emissionen af fine partikler ($PM_{2,5}$). I disse tal er skov- og landbrugsmaskiner ikke medregnet.

I projektet er der tale om en vurdering af bidrag på et overordnet niveau – ikke om en vurdering af den lokale virkning for naboer til anlægsarbejder. Et væsentligt holdepunkt i vurderingen er data fra den nationale opgørelse af emissioner fra mobile ikke-vejgående maskiner. Opgørelsen er baseret på landsdækkende statistiske oplysninger og giver et dækkende billede af de samlede nationale emissioner, mens den geografiske fordeling af emissionerne er mere usikker. Målet med dette arbejde er derfor at revurdere den geografiske fordeling af emissionerne.

Der eksisterer ikke opgørelser over, hvor de mobile ikke-vejgående maskiner anvendes. Når man alligevel skal give en vurdering af den geografiske fordeling af emissionerne – og ikke har et bedre datagrundlag – baserer man sig på en antagelse om, at emissionerne fra ikke-vejgående maskiner kan fordeles i henhold til en geografisk fordelingsnøgle. Den fordelingsnøgle, der almindeligvis benyttes til formålet, er baseret på forekomsten af industriarealer, fordi en stor del af aktiviteterne for ikke-vejgående maskiner er knyttet til aktiviteter, der forekommer i industriområder.

Vurderinger på grundlag af en sådan fordelingsnøgle kan i sagens natur ikke være præcise, men vil resultere i estimater behæftet med en vis usikkerhed.

I rapporten er beregnet estimater for bidraget for ikke-vejgående maskiner for byområderne København og Aarhus med forskellige mulige fordelingsnøgler. Hensigten er, at estimaterne skal afspejle et interval, som bidragene fra ikke-vejgående maskiner holder sig inden for.

Det vurderes, at anvendelse af industriarealer som fordelingsnøgle giver forholdsvis centrale estimater for, hvor meget ikke-vejgående maskiner bidrager til den generelle forurening i København og Aarhus. For at belyse følsomheden er det beregnet, hvad konsekvensen er af at benytte tre andre mulige fordelingsnøgler. For to af de alternative fordelingsnøgler (lav bebyggelse og befolkningstæthed) er dette gjort ikke alene for emissionerne, men også for koncentrationen i luften af en række forurenende stoffer. Disse to alternative fordelingsnøgler er tænkt som yderpunkter, der skal illustrere konsekvenserne, hvis emissionen fra ikke-vejgående maskiner fordeles efter helt andre kriterier end det nuværende.

Hvad emissioner angår, får man ved brug af den normalt anvendte fordelingsnøgle, at emissions-bidraget i Københavnsområdet er på 6 % for NO_X og 3 % for $PM_{2.5}$. For Aarhus-området er de tilsvarende tal et emissionsbidrag på 10 %, hvad angår NO_X, og 9 %, hvad angår $PM_{2,5}$.

For at vurdere de mobile ikke-vejgående maskiners bidrag til luftkoncentrationerne er der foretaget modelberegninger for byerne København og Aarhus og hele deres opland. Specielt er der foretaget en gennemregning af forholdene på gadeniveau vedrørende H.C. Andersens Boulevard i København. Den viser, at det beregnede bidrag til koncentrationer af NO_2 fra ikke-vejgående maskiner for 2010 er på 0,4 µg/m^3 i henhold til den normalt anvendte fordelingsnøgle (industriareal). Denne værdi kan ses som et centralt estimat. De 0,4 µg/m^3 kan sammenholdes med et samlet beregnet niveau på 48 µg/m^3 NO_2 lokalt i gaden og et beregnet baggrundsniveau i området omkring Rådhuspladsen (bybaggrund) på 20 µg/m^3. Bidraget udgør ca. 2 % af baggrundskoncentrationen i byen og ca. 0,8 % af det lokale niveau i gaden. Ved at benytte den alternative fordelingsnøgle baseret på befolkningstæthed estimeres bidraget fra ikke-vejgående maskiner til at være ca. en faktor 4 større – 1,7 µg/m^3 – mens det er væsentligt lavere – 0,1 µg/m^3 – når fordelingen baseres på et andet yderpunkt for en fordelingsnøgle, nemlig lav bebyggelse.

Resultaterne opnået via de betragtede fordelingsnøgler definerer et sandsynligt interval for, hvor store emissioner og koncentrationsbidrag, der kan forekomme under nogenlunde gennemsnitlige forhold. Såfremt der lokalt foregår en omfattende anlægsaktivitet, vil det være nødvendigt med en mere specifik vurdering af udledningerne for at kunne vurdere koncentrationsbidraget fra anvendelsen af de ikke-vejgående maskiner. I områder med stor befolkningstæthed vil den største værdi i intervallet efter alt at dømme kraftigt overvurdere bidraget fra ikke-vejgående maskiner. Fordelingsnøglen baseret på industriareal anses derimod for at resultere i et rimeligt centralt estimat. SPREAD modellen, der benyttes til geografisk fordeling af emissioner, forbedres løbende, og da den anvendte fordelingsnøgle for mobile ikke-vejgående maskiner i industrien er behæftet med stor usikkerhed, vil det blive tilstræbt at udarbejde en forbedret fordelingsnøgle. Én mulighed er at inddrage data fra BBR registret, og basere fordelingen på en række udvalgte bygningskategorier.

Effekt af mulige krav til ikke-vejgående maskiner

Man kan forestille sig mange forskellige mulige udformninger af skærpede miljømæssige krav til ikke-vejgående maskiner (miljøzoner, krav til specifikke maskintyper etc.). For at etablere nogle overordnede holdepunkter er

der opstillet to simple miljøscenarier, og de emissionsmæssige konsekvenser er beregnet med basis i året 2011.

Det ene Miljøscenarie er meget vidtgående, idet det antages, at alle ældre dieseldrevne ikke-vejgående maskiner er udskiftet (svarende til 56 % af alle dieseldrevne ikke-vejgående maskiner), således at samtlige maskiner overholder det nyeste emissionstrin i henhold til EU's regulering af udledningerne fra sådanne maskiner. I det mindre vidtgående Miljøscenarie 2 er alle ældre dieseldrevne maskiner, der som minimum ikke lever op til de lempeligere krav, der benævnes Stage II, udskiftet med maskiner, der overholder den nyeste emissionsnorm (svarende til 26 % af alle dieseldrevne ikke-vejgående maskiner).

Det mest vidtgående scenarie (1) bevirker emissionsreduktioner for hele bestanden af ikke-vejgående maskiner på 22 % for NO_X og 32 % for $PM_{2,5}$ stammende fra udstødning.

Det mindre vidtgående scenarie (2) bevirker emissionsreduktioner på 14 % for NO_X og 24 % for $PM_{2,5}$-udstødning.

En overslagsmæssig betragtning vedrørende konsekvenserne for koncentrationen af kvælstofdioxid (NO_2) viser, at for det mest vidtgående scenarie vil reduktionen i NO_2-koncentrationen blive på ca. 0,1 µg/m^3 på H.C. Andersens Boulevard, når den sædvanlige geografiske fordelingsnøgle lægges til grund. En sådan reduktion er meget beskeden. Der er dog betydelig usikkerhed på tallet qua usikkerheden omkring fastsættelse af fordelingsnøgle.

Summary and conclusions

Background

The present report describes the results of a project concerning the impact of use of mobile non-road machinery on air pollution in Denmark, in particular within the cities of Copenhagen and Aarhus. Focus has been on the category of machinery classified as "non-road machinery in industry".

The project has been carried out by DCE – Danish Centre of Environment and Energy at Aarhus University.

What is the contribution to air pollution from mobile non-road machinery in the towns of Copenhagen and Aarhus?

The impact from mobile non-road machinery on air quality in the towns of Copenhagen and Aarhus and their surroundings has been assessed on the basis of available data. On a Danish national level this type of machines (disregarding the sectors of agriculture and forest) are responsible for 6 % of the emission of NO_X and 3 % of the emission of fine particles ($PM_{2.5}$).

The current assessment addresses the general level of pollution – it is not an assessment of the very local effect felt by neighbors to construction works. The baseline for the assessment is data from the national Danish emission inventory from mobile non-road machinery. This inventory is based on statistical data on a national level. A key question is how this emission is spatially distributed over the country.

No dataset exists describing where the mobile non-road machinery is used. When performing an assessment of the spatial distribution of the emissions from the mobile non-road machinery – without having access to detailed data – one must assume that emission from mobile non-road machinery can be distributed geographically according to a certain distribution key. The key which is normally used for this purpose in Denmark is based on land use data, and the key is industrial area. The rationale is that a large amount of activities for mobile non-road machinery are associated with activities in industrial areas.

Emission inventories based on such a distribution key can necessarily not be precise, but must be regarded as estimates entailed with some uncertainty.

In the present report estimates are given for the contribution to emissions from mobile non-road machinery for the towns of Copenhagen and Aarhus, based on several possible distribution keys. The estimates are intended to define a range, within which the contribution from mobile non-road machinery lies. Use of industrial area is considered to provide relatively central estimates of the contribution from mobile non-road machinery to the general pollution level in Copenhagen and Aarhus. In order to illustrate the sensitivity of the estimates the consequences of using other possible distribution keys are computed. For two of the alternative distribution keys (extent of areas with low buildings, respectively population density) this is done not only for emissions, but also for concentrations of several air pollution components. These two alternative distribution keys should be regarded as ex-

tremes that illustrate the consequences of use of entirely different criteria than now.

A full calculation resulting in concentration estimates at street level at H.C. Andersens Boulevard shows that the computed contribution to NO_2 from mobile non-road machinery for 2010 is 0.4 µg/m^3 according to the normal distribution key (industrial area). This value can be regarded as a relatively central estimate. The value can be compared to a total computed level of 48 µg/m^3 locally at street level, and a (computed) urban background level in the area of 20 µg/m^3. When using an alternative distribution key based on population density the contribution is estimated to be a factor of 4 larger – 1.7 µg/m^3 – while it is considerably lower – 0.1 µg/m^3 – when based on the distribution key on the extent of areas with low buildings.

Effect of possible stricter emission standards for mobile non-road machinery

One may imagine many possible forms of stricter environmental regulations, which might be imposed on mobile non-road machinery. Two simple environmental scenarios have been considered in this study. The consequences in terms of national emissions have been computed for the year of 2011.

Scenario 1 is quite radical: It is assumed that all mobile non-road machinery which does not fulfill the newest emission standards is replaced by machinery that does.

Scenario 2 is not so strict: All mobile non-road machinery which do not fulfill the so-called Stage II emission standards (which are not as strict as the newest) are replaced by machines fulfilling the newest standard.

The most drastic scenario (1) results in emission reductions for the entire industrial fleet of mobile non-road machinery of 22% for NO_X and 32% for $PM_{2.5}$ exhaust.

The less drastic scenario (2) results in emission reductions of 14% for NO_X and 24 % for $PM_{2.5}$ exhaust.

An estimate regarding the consequences for concentrations of NO_2 shows that for the most restrictive scenario (1), the reduction in NO_2 concentration level amounts to approximately 0.1 µg/m^3 on H.C. Andersens Boulevard, assuming that the usual distribution key is pertinent. Such a reduction would be quite modest. The figure is, however, subject to uncertainty due to the uncertainty concerning choice of distribution key.

1 Indledning

Nærværende rapport beskriver resultaterne af et projekt om den rolle, som brugen af entreprenørmaskiner mv. har for luftforurening i Danmark, specielt i byområderne København og Aarhus.

Der er tale om en vurdering af bidrag på et overordnet niveau – ikke om en vurdering af den lokale virkning for naboer til anlægsarbejder.

1.1 Baggrund

Ikke-vejgående maskiner (non-road maskiner) benyttes i vid udstrækning indenfor landbrug og skovbrug, i industrien samt til have/park formål både privat og offentligt.

Projektet har fokus på bidraget til forurening fra ikke-vejgående maskiner indenfor industri i byområder. Kategorien "ikke-vejgående maskiner i industrien" i de nationale emissionsopgørelser omfatter maskiner, der benyttes indenfor produktion samt bygge- og anlæg; f.eks. forskellige grave/læssemaskiner, dumpere, dozere, asfaltudlæggere, tromler, pumper, generatorer, kompressorer og gaffeltrucks. Der er alt overvejende tale om mobile maskiner, og vi benytter derfor også betegnelsen mobile ikke-vejgående maskiner. Når vi i det følgende omtaler ikke-vejgående maskiner, er der tale om ikke-vejgående maskiner i industrien, medmindre andet er udtrykkelig nævnt. Det indebærer, at ikke-vejgående maskiner inden for skov og landbrug lades ude af betragtning. Projektet beskæftiger sig i et vist omfang med ikke-vejgående maskiner på nationalt plan, men har især fokus på forureningen lokalt i København og Århus.

Den miljømæssige regulering af mobile ikke-vejgående maskiner foregår efter samme principper som køretøjer og er fastlagt i direktiv 97/68/EF samt senere ændringer. Der er en tidsforskydning i kravene, sådan at skærpede emissionskrav generelt indføres tidligere for vejgående køretøjer sammenlignet med ikke-vejgående maskiner.

Projektet omfatter en vurdering på nationalt plan af nogle scenarier, hvor der stilles skærpede miljømæssige krav til ikke-vejgående maskiner.

1.2 Formål

Projektets formål er at afdække følgende spørgsmål:

1) Hvor stort et bidrag til luftforureningen (NO_X, NO_2 og partikler, både i henseende til emission og koncentration) leverer mobile ikke-vejgående maskiner i byområderne København og Aarhus?
2) Hvilken effekt vil forskellige tiltag til reduktion af udledningerne fra mobile ikke vejgående maskiner have?

2 Bidrag fra mobile ikke-vejgående maskiner baseret på den nationale emissionsopgørelse

Dette kapitel behandler spørgsmålet: "Hvor stort et bidrag til luftforureningen (NO_X, NO_2 og partikler, både i henseende til emission og koncentration) leverer mobile ikke-vejgående maskiner i byområderne København og Aarhus?" Som det vil fremgå af det følgende, kan der ikke gives et entydigt svar, men der kan etableres nogle holdepunkter, så det bliver klart, hvilke rammer bidraget ligger inden for.

Det følgende afsnit beskriver, hvordan emissionsbidraget fra ikke-vejgående maskiner geografisk er fordelt i henhold til den nationale emissionsopgørelse. Opgørelsen betjener sig af en fordelingsnøgle til at beskrive den geografiske fordeling af emissionerne. En fordelingsnøgle som den benyttede vil i sagens natur lede til en geografisk fordeling af emissioner, der er behæftet med betydelig usikkerhed. Der redegøres for, hvad de emissionsmæssige konsekvenser vil være ved at benytte alternative fordelingsnøgler.

Et efterfølgende afsnit viderefører denne analyse til at vurdere bidraget fra ikke-vejgående maskiner til koncentrationen i luften af en række forurenende stoffer i henhold til tre fordelingsnøgler.

2.1 Geografisk fordeling af emissioner fra ikke-vejgående køretøjer i industrien

De nationale emissionsopgørelser omfatter summen af emissioner udledt i hele Danmark for en lang række kilder, herunder ikke-vejgående maskiner i industrien (sektorerne produktion samt bygge- og anlæg). Tabel 2.1 sætter emissionerne fra ikke-vejgående maskiner i perspektiv, idet den samlede nationale udledning af NO_X og $PM_{2,5}$ er sammenstillet med udledningen fra henholdsvis vejtrafik, togtrafik og ikke-vejgående maskiner i forskellige kategorier. Tabellen viser, at bidraget fra ikke-vejgående maskiner i industri beløber sig til ca. 6 % af de samlede danske NO_X udledninger og ca. 3 % af $PM_{2,5}$-udledningerne. Dette er en væsentligt større andel end togtrafikkens bidrag, men væsentligt mindre end vejtrafikkens.

For at emissionerne fra de nationale opgørelser kan anvendes til modellering af fx luftkvalitet, skal der tilføjes en geografisk komponent. Til dette formål har Aarhus Universitet (AU) udviklet den GIS- og database-baserede model SPREAD (Plejdrup og Gyldenkærne, 2011). I modellen behandles emissionerne på det mest disaggregerede niveau, der kan opnås på basis af de disponible geografiske data. En række kilder behandles som punktkilder, hvor den eksakte geografiske lokalitet er kendt. Punktkilder omfatter hovedsageligt el- og varmeproducenter samt større industrivirksomheder. Ud over punktkilderne er der en lang række kilder, der ikke kan lokaliseres enkeltvis, men som behandles gruppevis ud fra kildernes fælles karakteristika. Disse kilder kaldes arealkilder, og omfatter bl.a. energiforbrug i husholdninger, industrielle processer, anvendelse af opløsningsmidler og andre produkter, vejtransport, og andre mobile kilder, herunder ikke-vejgående maskiner i industrien. For hver enkelt kilde eller gruppe af kilder er der udviklet en

nøgle til fordeling af de nationale emissioner ud fra de disponible geografiske data, fx arealanvendelse, befolkningstæthed, infrastruktur og trafikdata.

Tabel 2.1. Emissioner af NO_X og $PM_{2,5}$ fra forskellige sektorer, herunder ikke-vejgående maskiner i industrien. Tal fra 2011.

Sektorer	NO_x		$PM_{2,5}$	
		% af total	Tons	% af total
Danmark, Grand total	125 532	100,0	23 155	100,0
Vejtrafik	46 175	36,8	1 495	6,5
Togtrafik	2 500	2,0	78	0,3
Ikke-vejgående maskiner i industrien	7 947	6,3	646	2,8
Ikke-vejgående maskiner i skovbruget	64	0,1	10	0,0
Ikke-vejgående maskiner i havemaskiner	305	0,2	0,0	0,0

Indeværende projekt fokuserer på emissioner fra mobile ikke-vejgående maskiner i industrien, fx arbejdsmaskiner der anvendes i bygge- og anlægsprojekter. I SPREAD fordeles de nationale emissioner fra denne kilde jævnt over de arealer, der er defineret som industriarealer i KORT10 fra Geodatastyrelsen. For at undersøge betydningen af valg af fordelingsnøgle er der i indeværende projekt opstillet tre alternative fordelinger baseret på 1) arealer med lav bebyggelse, jf. KORT10, 2) det bebyggede areal, jf. KORT10 og 3) befolkningstæthed, jf. CPR. De alternative fordelingsnøgler sammenlignes med den nuværende metode i SPREAD, og kan derved bidrage til at illustrere konsekvensen af at anvende andre kriterier til fordeling af emissionerne fra ikke-vejgående maskiner. Fordelingen baseret på det bebyggede areal er inddraget i projektets slutfase, og er alene inddraget ved fordeling af emissioner, mens de øvrige fordelingsnøgler også er inddraget i modellering af luftkvalitet.

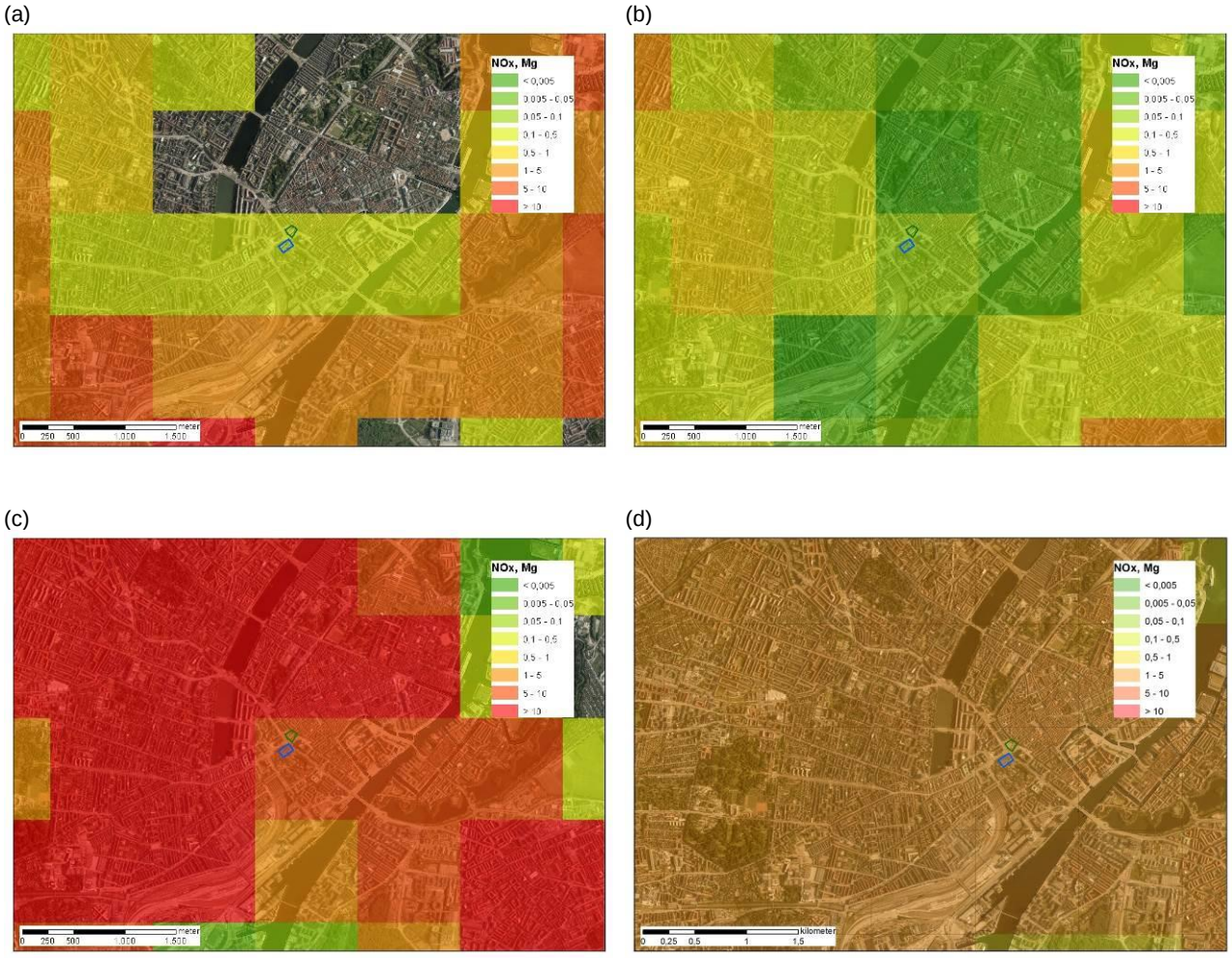
Fordelingerne er tidligere blevet vurderet inden den nuværende metode blev implementeret i SPREAD, og vurderingen var, at en fordeling iht. industriarealet giver et centralt estimat. Der er usikkerhed på estimatet, fordi det fornødne datagrundlag til en præcis allokering af emissioner fra mobile ikke-vejgående maskiner ikke foreligger.

De geografisk fordelte emissioner afviger betydeligt mellem fordelingerne. Et eksempel for et område i København er vist i Figur 2.1, og et eksempel for forholdene på landsplan fremgår af Figur 2.2.

Den sidstnævnte figur illustrerer, at ved anvendelse af industriarealet som fordelingsnøgle samles emissionerne på industriarealer, der for langt størstedelen har ingen eller lille befolkningstæthed. Fordelingen baseret på arealer med lav bebyggelse adskiller sig væsentligt fra fordelingen baseret på befolkningstæthed, da der er få eller ingen arealer med lav bebyggelse i de tættest befolkede områder, fx i centrum af København og andre store byer. De anvendte kort over industriarealer og lav bebyggelse er begge hentet fra Geodatastyrelsens KORT10, og der forekommer derfor intet overlap af de to arealanvendelsestyper. Fordelingerne baseret på hhv. industriarealer og lav bebyggelse har følgelig emissionerne allokeret til forskellige områder. Ved aggregering i et gitternet med celler på 1 km x 1 km vil der dog i nogle celler forekomme både industriarealer og lav bebyggelse, og dermed emissioner i henhold til begge fordelinger.

Fordelingen baseret på det bebyggede areal allokerer emissioner fra mobile ikke-vejgående maskiner i industrien til en stor andel af det danske landareal. Kort over det bebyggede areal er hentet fra Geodatastyrelsens KORT10

og overlapper med både industriarealer og lav bebyggelse. Ved en fordeling efter det bebyggede areal fordeles emissionerne mere jævnt på det samlede landareal, og København skiller sig i langt mindre grad ud end ved fordelingen iht. befolkningstæthed.

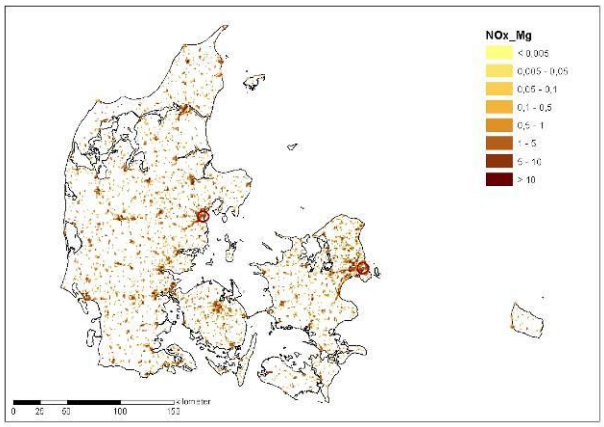


Figur 2.1. NO_X emissionen fra ikke-vejgående maskiner i industrien fordelt efter a) industriarealer, b) lav bebyggelse, c) befolkningstæthed og d) bebyggede arealer. Kortet viser området omkring Rådhuspladsen i København (grøn polygon) og Industriens Hus (blå polygon). Enheden er ton/km^2 pr. år for 2010. Baggrundskort: © Geodatastyrelsen.

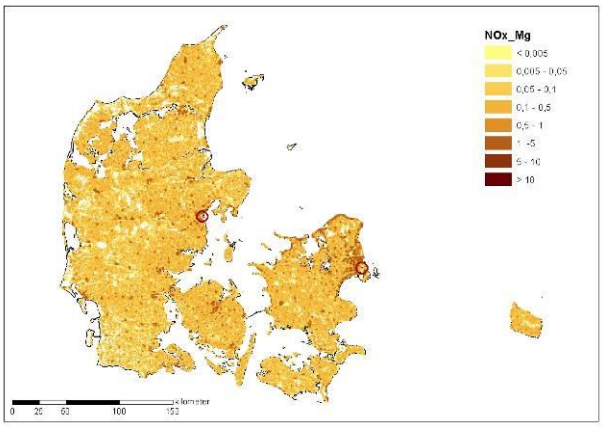
Emissionsberegningerne for mobile ikke-vejgående maskiner i industrien er baseret på brændstofforbrug og maskinbestand, men der findes ikke nationale data for hvor og i hvilket omfang maskinerne anvendes. Derfor er det nødvendigt at basere den geografiske fordeling på overordnede antagelser, som det er gjort i de fire beskrevne fordelinger. Det betyder, at fordelingen ikke kan forventes at afspejle de faktiske forhold korrekt. Særligt når der fokuseres på mindre områder kan fordelingens afvigelse fra de faktiske forhold være betydelige. Den valgte fordelingsnøgle har mindre betydning i forbindelse med den samlede nationale emissionsopgørelse, da bidraget fra ikke-vejgående maskiner udgør en lille andel af de totale nationale emissioner (se Tabel 2.1). Da der som nævnt ikke foreligger data for, hvor de ikke-vejgående maskiner i industrien anvendes, er det fortsat nødvendigt at bruge proxydata til geografisk fordeling af de nationale emissioner. I case studier kan det, i det omfang de nødvendige data er tilgængelige, være fordelagtigt at udføre emissionsberegninger for enkelte anlægsarbejder i et konkret

område. Det kan imidlertid være vanskeligt eller umuligt at indhente de nødvendige oplysninger i tilstrækkeligt omfang.

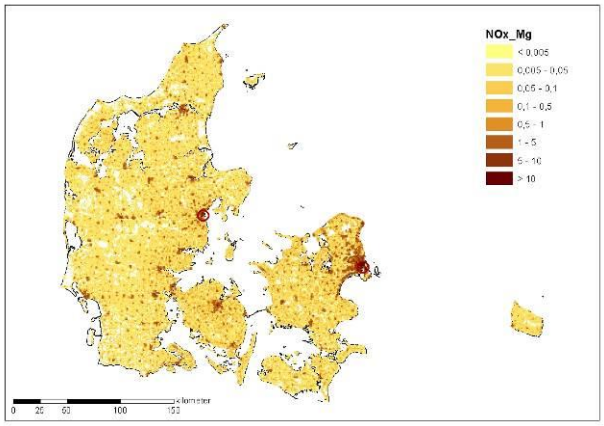
(a) Industriarealer



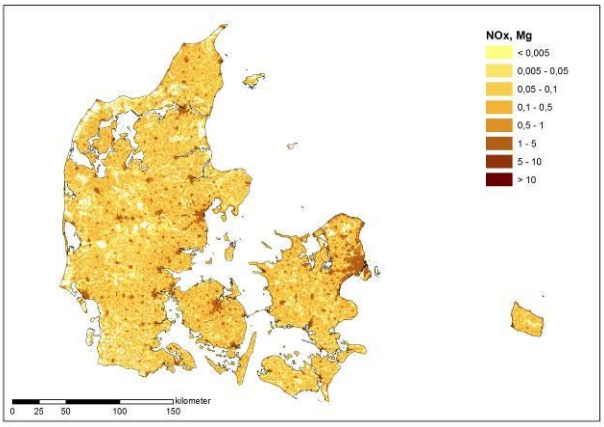
(b) Lav bebyggelse



(c) Befolkningstæthed



(d) Bebygget areal



Figur 2.2
NO_X emissionen fra ikke-vejgående maskiner i industrien fordelt efter a) industriarealer (nuværende fordelingsnøgle), b) lav bebyggelse, c) befolkningstæthed og d) det bebyggede areal. Enhed: ton/år.

2.2 Emissioner i København og Aarhus

Tabel 2.2 og Tabel 2.3 giver et overblik over bidraget fra forskellige kilder lokalt for København og Aarhus. Tabel 2.2 viser emissioner fra forskellige kildetyper i et cirkulært område med radius 5 km og med centrum i Københavns Hovedbanegård (ca. 79 km²). Dette område var i fokus i en undersøgelse om togdrifts betydning for luftforurening, der er blevet gennemført inden for samme overordnede projekt som nærværende studie. Rapporten om togforurening foreligger i Miljøstyrelsens serie af Miljøprojekter (Olesen et al., 2013).

Værdierne i Tabel 2.2 er kildebidrag på årsbasis, baseret på 2010-tal. Tallene er generelt de værdier, der fås på baggrund af den nationale emissionsopgørelse ved at benytte SPREAD-modellen til geografisk fordeling. Tabellen indeholder yderligere nogle værdier, som repræsenterer en alternativ tilgang til at opgøre kildetypers bidrag. I tabellen er disse bidrag angivet med kursiv. Der er tale om emissioner fra mobile ikke-vejgående maskiner, beregnet

ud fra de tre alternative fordelingsnøgler befolkningstæthed, lave bygninger og bebygget areal.

I henhold til den normalt anvendte fordelingsnøgle er emissions-bidraget i Københavnsområdet på 6 % hvad angår NO_X-emissioner, og 3 % hvad angår $PM_{2,5}$-emissioner.

Det fremgår af tabellen, at NO_X-emissionen i Københavnsområdet estimeres at være 4 gange højere ved at bruge befolkningstæthed som fordelingsnøgle i forhold til at benytte den sædvanlige nøgle, baseret på industriarealer. Brug af befolkningstæthed som nøgle må formodes at overvurdere bidraget. Hvis man benytter fordelingsnøglen lav bebyggelse – som det ikke virker rimeligt at bruge for København — fører det til en næsten 5 gange lavere emission end den normale nøgle.

Med bebygget areal som base fordeles den nationale emission over en stor del af det samlede danske landareal, og andelen allokeret til København er lidt lavere end i den nuværende fordeling (industriareal). De to fordelinger adskiller sig som tidligere nævnt ved, at emissionerne i København fordeles langt mere jævnt når det samlede bebyggede areal anvendes.

Tabel 2.2. Forureningsbidrag fra forskellige kildetyper i et cirkulært område med centrum i Københavns Hovedbanegård og radius 5 km (ca. 79 km^2). Værdierne er kildebidrag på årsbasis, baseret på 2010-tal. Data for nogle kildetyper er angivet med kursiv, fordi de repræsenterer en alternativ tilgang til kildetyper, som i forvejen er medtaget i tabellen (de tre alternative fordelingsnøgler). Tabellens procenttal er som hovedregel beregnet relativt til den angivne "Total for området"; dog er procentsatserne for de tre alternative fordelingsnøgler til mobile ikke-vejgående maskiner i industrien beregnet til den lidt afvigende "total for området", som pågældende fordelingsnøgle giver anledning til.

Kilde	NO_X (ton)	% af total for området	$PM_{2,5}$ (ton)	% af total for området
Total for område	3796	100	624	100
Vejtransport	2236	59	180	29
Jernbane	116	3	4	0,9
Mobile ikke-vejgående maskiner i landbrug	0	0	0	0
Mobile ikke-vejgående maskiner i skovbrug	0	0	0	0
Mobile ikke-vejgående maskiner i industri (baseret på industriareal)	234	6	19	3
Mobile ikke-vejgående maskiner i industri (baseret på befolkningstæthed)	*887*	*20*	*71*	*11*
Mobile ikke-vejgående maskiner i industri (baseret på lave bygninger)	*48*	*1*	*4*	*1*
Mobile ikke-vejgående maskiner i industri (baseret på bebygget areal)	*186*	*5*	*15*	*2*
Mobile ikke-vejgående maskiner i husholdninger	0	0	0	0
Mobile ikke-vejgående maskiner i handel og service	23	1	7	1

Miljøstyrelsen har iværksat et søsterprojekt til nærværende projekt, som har til formål at indhente oplysninger om brugen af entreprenørmaskiner til forskellige typer af anlægsprojekter. Foreløbige resultater fra det pågældende projekt har været sammenlignet med værdierne i Tabel 2.2. Sammenligningen indikerer, at den nuværende fordelingsnøgle resulterer i et forholdsvis centralt estimat, til trods for at den er behæftet med stor usikkerhed.

Tabel 2.3. Forureningsbidrag fra forskellige kildetyper i et cirkulært område med radius 5 km og centrum i Aarhus Banegård. Tabellen svarer i øvrigt til Tabel 2.2.

Kilde	NO_X (ton)	% af total for området	$PM_{2,5}$ (ton)	% af total for området
Total for område	1536	100	139	100
Vejtransport	1025	67	82	59
Jernbane	36	2	1	0,9
Mobile ikke-vejgående maskiner i landbrug	1	0	0	0
Mobile ikke-vejgående maskiner i skovbrug	0	0	0	0
Mobile ikke-vejgående maskiner i industri (baseret på industriareal)	149	10	12	9
Mobile ikke-vejgående maskiner i industri (baseret på befolkningstæthed)	*292*	*17*	*23*	*15*
Mobile ikke-vejgående maskiner i industri (baseret på lave bygninger)	*64*	*4*	*5*	*4*
Mobile ikke-vejgående maskiner i industri (baseret på bebygget areal)	114	8	9	7
Mobile ikke-vejgående maskiner i husholdninger	1	0	0	0
Mobile ikke-vejgående maskiner i handel og service	7	0	2	2

Tabel 2.3 vedrører Aarhus, og dér er en faktor 2 til forskel mellem at bruge befolkningstæthed og den normale nøgle. For Aarhus-området er emissionsbidraget fra ikke-vejgående industrielle maskiner med den normalt anvendte fordelingsnøgle på 10 % for NO_X-emissioner, og 9 % for $PM_{2,5}$-emissioner.

2.3 Konsekvenser for koncentrationer

I dette afsnit belyses konsekvenserne for koncentrationen i luften af forurenende stoffer, når man benytter hver af de tre fordelingsnøgler for emissionen baseret på hhv. industriarealer, lav bebyggelse og befolkningstæthed, der er defineret i det foregående. Den fjerde fordeling baseret på det bebyggede areal er inddraget i projektets slutfase, og den er ikke inkluderet i koncentrationsmodelleringerne. Derfor refereres der efterfølgende kun til de øvrige tre fordelinger. Konsekvenserne er beregnet for bybaggrundskoncentrationer i København og Aarhus, og de er sammenholdt med en situation, hvor emissioner fra ikke-vejgående maskiner helt er fjernet.

Beregningerne er foretaget med UBM modellen (Urban Background Model; Berkowicz, 2000) for bybaggrundsforureningen for året 2010. I et efterfølgende afsnit (2.3.1) er som supplement udført beregninger med en anden model (OSPM) for et enkelt udvalgt eksempel med henblik på at belyse forholdene lokalt i en trafikeret gade.

UBM modellen kræver som input den regionale luftforurening, dvs. luftforureningen betragtet på stor skala, hvor bidragene i høj grad kommer fra

udenlandske kilder. Dette input foreligger som timemiddelværdier beregnet med den hemisfæriske lang-transportmodel, DEHM (Danske Eulerske Hemisfæriske Model; Brandt et al., 2012) for år 2010 i forbindelse med rapportering indenfor natur- og miljøovervågningsprogrammet NOVANA. Den beregnede meteorologi er baseret på meteorologimodellen MM5v3.

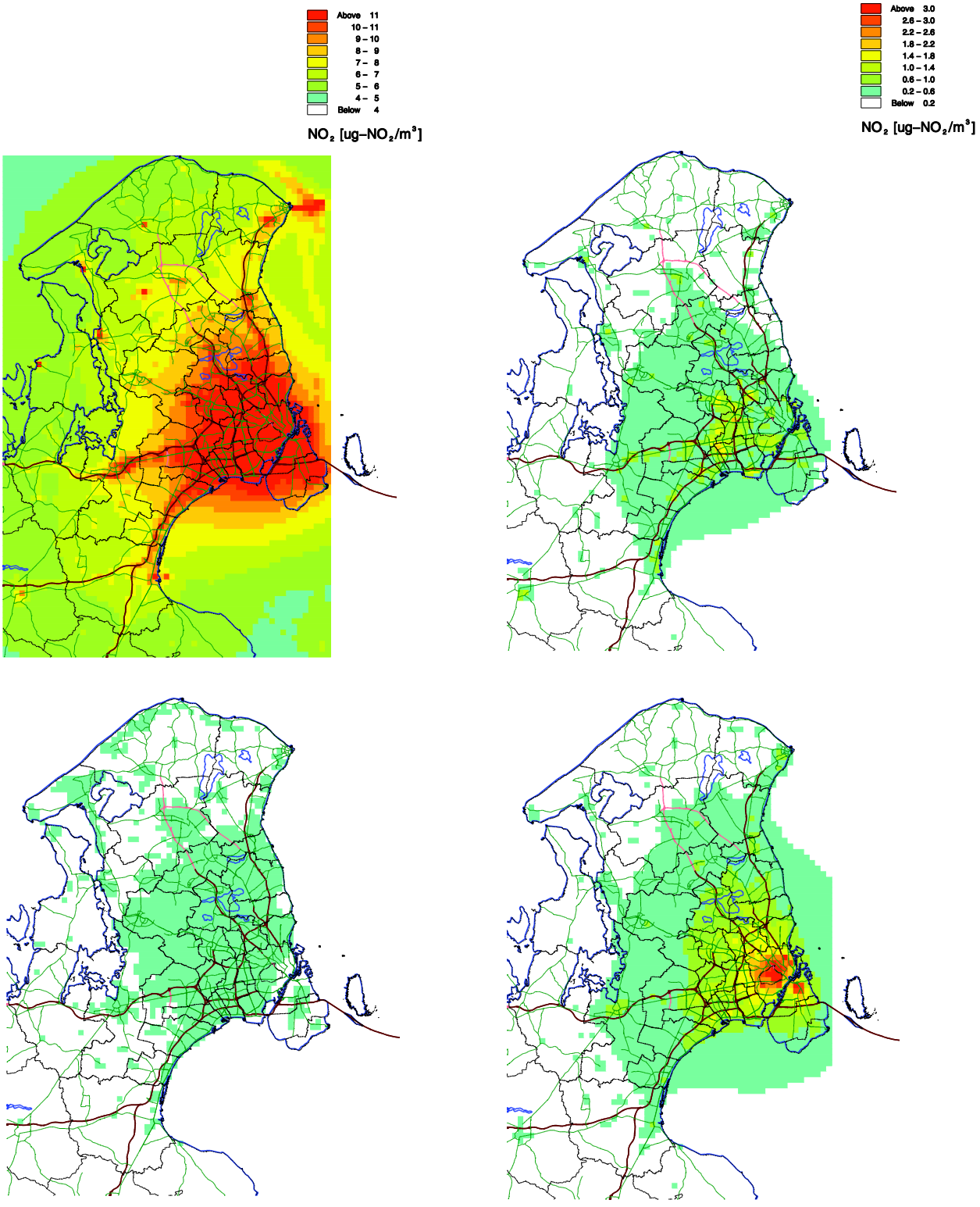
De emissionsdata, der benyttes som input, er baseret på SPREAD modellen som beskrevet i afsnit 2.1. Der er gennemført forskellige modelkørsler for at finde koncentrationsbidraget fra de ikke-vejgående maskiner (SNAP kategori 0808) fordelt efter tre fordelingsnøgler: industrigrunde, lave bygninger og befolkningstæthed.

Kemiske reaktioner i atmosfæren spiller ind på koncentrationen af forurenende stoffer. For at tage hensyn til dette er UBM modellen først kørt tre gange med alle emissioner fordelt efter de tre fordelingsnøgler. Dernæst er modellen kørt med alle emissioner, minus bidraget fra de ikke-vejgående maskiner, og dette resultat er trukket fra de tre modelkørsler for hver af de tre fordelinger. På denne måde er bidraget fra de ikke-vejgående maskiner fundet.

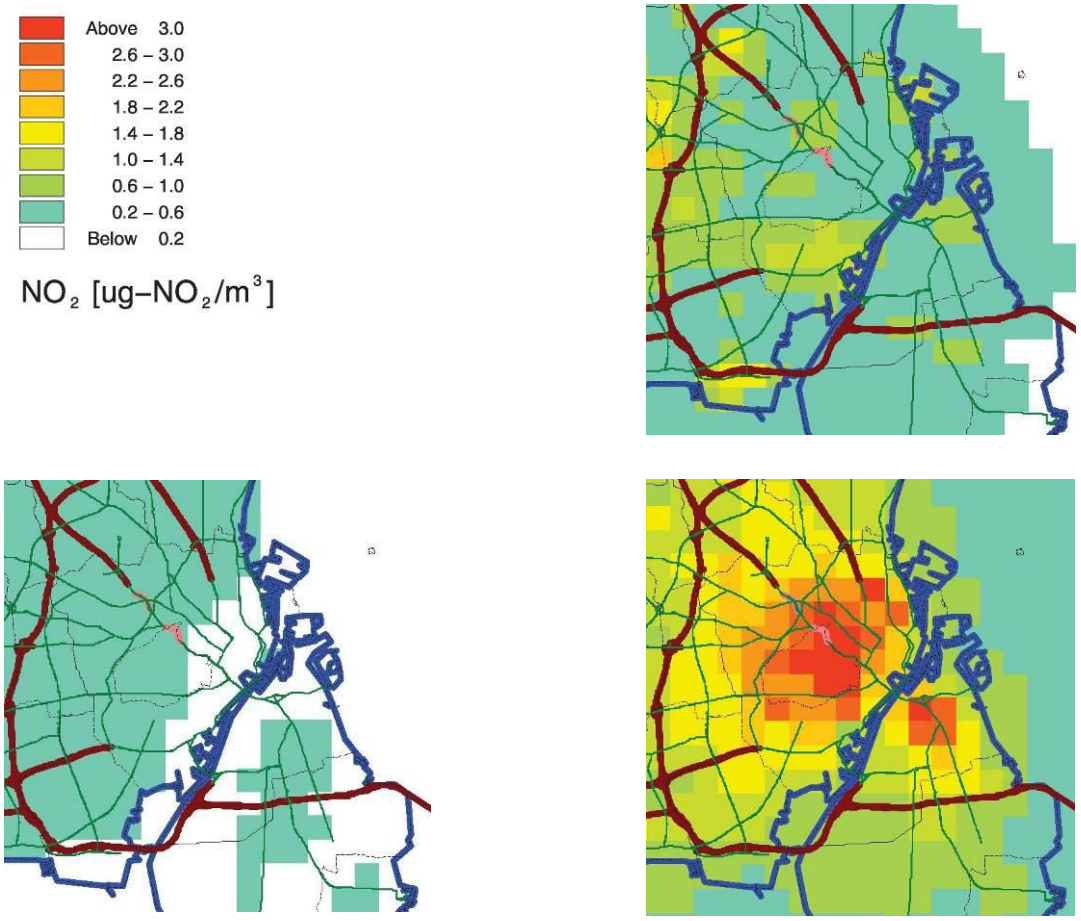
I Figur 2.3 er vist resultater af beregningerne for København vedrørende koncentrationen i luften af kvælstofdioxid (NO_2). Figuren diskuteres i det følgende. Der er udarbejdet tilsvarende figurer for Aarhus og for andre stoffer. Alle disse figurer er samlet i Bilag 1, der således indeholder kort med koncentrationer og koncentrationsbidrag for København og Aarhus for stofferne NO_X, NO_2 og $PM_{2,5}$. Der er ikke vist resultater for PM_{10}, da alle de primære partikelemissioner fra ikke-vejgående maskiner ifølge SPREAD modellen henregnes til $PM_{2,5}$ (partikler med en diameter mindre end 2,5 mikrometer).

Øverst til venstre i Figur 2.3 er vist koncentrationen af NO_2 beregnet på grundlag af alle kilder undtagen ikke-vejgående maskiner. De tre øvrige figurer på siden viser alene bidraget fra ikke-vejgående maskiner i henhold til de tre omtalte fordelingsnøgler. Disse tre figurer benytter fælles farveskala, mens farveskalaen for den første figur (totalen) er en anden. Figur 2.4 viser forstørrede udsnit af kortene fra Figur 2.3.

Det ses eksempelvis på Figur 2.4, at i henhold til den normalt benyttede fordelingsnøgle (industriareal) optræder de største bidrag i Københavns vestlige omegn og beløber sig til omkring 2 $\mu g/m^3$ for NO_2. I henhold til den alternative fordelingsnøgle baseret på lav bebyggelse får man en mere jævn fordeling af bidraget over hovedstadsregionen. Den tredje fordelingsnøgle – baseret på befolkningstæthed – leder til de største lokale bidrag til koncentrationen, som optræder i Københavns Kommune. I henhold til denne fordelingsnøgle er det maksimale NO_2-bidrag nogetsteds 3,7 $\mu g/m^3$. Fordelingsnøglen med befolkningstæthed er ikke medtaget som en seriøs fordelingsnøgle, men er ment som et yderpunkt, der kan illustrere konsekvenserne, hvis man antager, at emissionen fra ikke-vejgående maskiner følger befolkningstæthed.



Figur 2.3
Årsmiddelkoncentrationer i bybaggrunden af NO_2 i København for 2010 beregnet med UBM modellen.
Øverst tv.: Totale koncentrationer fra alle kilder. De øvrige tre figurer viser *bidrag fra ikke-vejgående maskiner* fordelt efter industrigrunde (øverst th.), lave bygninger (nederst tv.) og befolkningstæthed (nederst th.). De tre figurer med bidrag benytter en fælles farveskala.



Figur 2.4
Udsnit af foregående figur. Bidrag fra ikke-vejgående maskiner til årsmiddelkoncentrationer i bybaggrunden af NO_2 i København for 2010 beregnet med UBM modellen.
Der er tale om bidrag i forhold til tre fordelingsnøgler: Industrigrunde (øverst th.), lave bygninger (nederst tv.) og befolkningstæthed (nederst th.).

Beregnede årsmiddelværdier i bybaggrunden for målestationen H.C. Andersens Boulevard i København og Banegårdsgade i Aarhus (hvor der findes målestationer) er angivet i Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Årsmiddelkoncentrationer i bybaggrunden i de gitterceller i UBM-modellen, der indeholder H.C. Andersens Boulevard i København og Banegårdsgade i Aarhus, for 2010 beregnet med UBM. Totale koncentrationer fra alle kilder med tre forskellige fordelinger af ikke-vejgående trafik (SNAP kategori 0808) (industri, lave bygninger og befolkningstæthed), samt fra alle kilder, men uden den ikke-vejgående trafik (ingen non-road). Desuden bidrag fra ikke-vejgående maskiner efter de tre forskellige fordelinger (bidraget er differencen mellem de tre forskellige modelkørsler og "Ingen", som angiver scenariet "ingen ikke-vejgående maskiner"). NO_X regnes som NO_2 og enheden er derfor µg NO_2/m^3.

	Årsmidler				Bidrag fra ikke-vejgående			
	NO_X	NO_2	O_3	$PM_{2,5}$	NO_X	NO_2	O_3	$PM_{2,5}$
Fordelingsnøgle	**µg/m³**	**µg/m³**	**µg/m³**	**µg/m³**	**µg/m³**	**µg/m³**	**µg/m³**	**µg/m³**
København:								
Industri	25,3	20,6	47,8	7,8	0,7	0,4	-0,3	0,05
Lave bygninger	24,9	20,3	48,0	7,8	0,3	0,2	-0,1	0,02
Befolkningstæthed	27,8	22,2	46,6	8,0	3,1	2,0	-1,6	0,25
Ingen	24,7	20,2	48,2	7,8				
Aarhus:								
Industri	20,0	16,5	50,6	6,3	1,5	1,0	-0,8	0,12
Lave bygninger	18,9	15,7	51,2	6,2	0,4	0,3	-0,2	0,03
Befolkningstæthed	21,7	17,6	49,7	6,4	3,1	2,2	-1,8	0,25
Ingen	18,5	15,5	51,5	6,2				

Tabellen viser bybaggrundskoncentrationer, og beregningerne er foretaget for gitterceller med en størrelse på 1 x 1 km. Det skal bemærkes, at hvis man skal finde den faktiske, lokale koncentration et givet sted, skal man addere et gadebidrag fra den lokale trafik. Dette uddybes i afsnit 2.3.1.

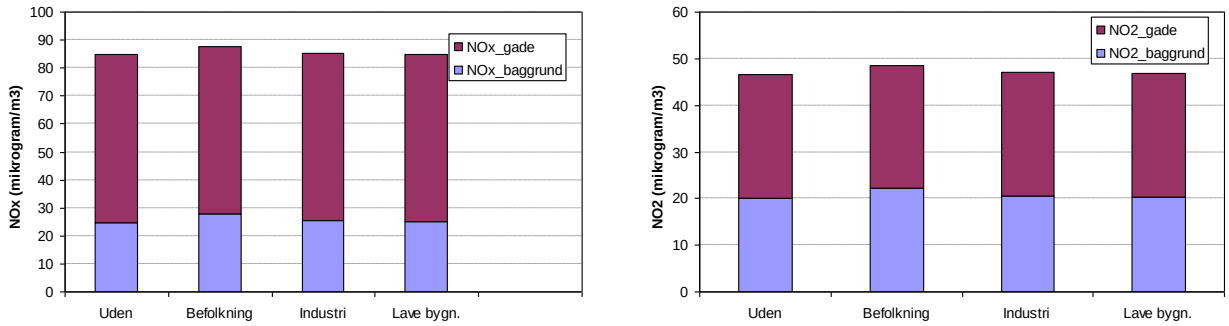
Tabellen viser eksempelvis, at for København er bybaggrundskoncentrationen for NO_2 uden hensyntagen til ikke-vejgående maskiner 20,2 µg/m³. Ved at anvende de tre fordelingsnøgler finder man et bidrag fra ikke-vejgående maskiner på mellem 0,2 og 2,0 µg/m³ NO_2, og med 0,4 µg/m³ med den normalt benyttede fordelingsnøgle. Det beløber sig til ca. 2 % af baggrundskoncentrationen. Den laveste værdi (0,2 µg/m³) må formodes at være en undervurdering af bidraget, mens den højeste (2,0 µg/m³) må formodes at være en overvurdering af bidraget.

Tabellen viser som nævnt bybaggrundskoncentrationer. Hvis man skal finde bidraget fra ikke-vejgående maskiner til den faktiske, lokale koncentration af et givet stof, kan man benytte tabellens værdier for så vidt angår NO_X og $PM_{2,5}$. For NO_2 optræder den komplikation, at der indgår kemiske reaktioner. Det indebærer, at hvis man befinder sig i en gade med et stort lokalt bidrag af NO_X fra trafik, er det ikke helt korrekt at antage, at det lokale bidrag til NO_2-koncentrationen er lig bybaggrundsbidraget. Det følgende afsnit belyser denne problematik.

2.3.1 Beregningseksempel for gadekoncentrationen

For at få klarhed over hvor meget de kemiske reaktioner betyder for det endelige resultat, er det ved brug af spredningsmodellen OSPM (til brug for gaderum) med et eksempel belyst, hvor stort bidraget er fra ikke-vejgående maskiner til de totale lokale koncentrationer (inklusive gadebidraget). OSPM beregner lokale gadekoncentrationer under hensyntagen til kemiske reaktioner. OSPM kan som grundlag benytte de bybaggrundskoncentrationer, der er beregnet med UBM-modellen, og som der er vist eksempler på i ovenstående Tabel 2.4. Resultater fra beregninger med OSPM for den lokale forurening ved målestationen på H.C. Andersens Boulevard er vist i Figur 2.5. Her er altså tale om forholdene i en trafikeret gade.

Af Figur 2.5 fremgår, at bidragene fra ikke-vejgående maskiner er små i forhold til den totale koncentration; forskellene mellem de 3 fordelingsnøgler er svære at skelne. Tallene bag figuren er vist i Tabel 2.5 (for NO_X) og Tabel 2.6 (for NO_2). For NO_2 ligger bidraget i intervallet 0,1 - 1,7 µg/m^3.



Figur 2.5
Beregnede gadekoncentrationer ved målestationen på H.C. Andersens Boulevard (HCAB) beregnet med OSPM modellen for år 2010. Tv. for NO_X og Th. for NO_2. Enhed mikrogram/m^3. Beregninger uden bidrag fra ikke-vejgående maskiner samt med bidrag iht. 3 fordelingsnøgler.

Tabel 2.5. Beregninger for NO_X-koncentrationer på HCAB i 2010 i enheden mikrogram/m^3. Resultater for bybaggrund samt gadekoncentration er vist i henhold til tre forskellige fordelingsnøgler. IVM står for ikke-vejgående maskiner.

Fordelingsnøgle	Uden ikke-vejgående maskiner	Industri	Lave bygninger	Befolkningstæthed
Bybaggrund	24,7	25,3	25,0	27,8
Bidrag fra IVM til bybaggrund	0	0,7	0,3	3,1
Gadekoncentration	84,7	85,3	84,9	87,8
Bidrag fra IVM til gadekoncentration	0	0,7	0,3	3,1

Tabel 2.6. Beregninger for NO_2-koncentrationer på HCAB i 2010 i enheden mikrogram/m^3. Resultater for bybaggrund samt gadekoncentration er vist i henhold til tre forskellige fordelingsnøgler.

Fordelingsnøgle	Uden ikke-vejgående maskiner	Industri	Lave bygninger	Befolkningstæthed
Bybaggrund	20,2	20,6	20,3	22,2
Bidrag fra IVM til bybaggrund	0	0,4	0,2	2,0
Gadekoncentration	46,7	47,0	46,8	48,4
Bidrag fra IVM til gadekoncentration	0	0,4	0,1	1,7

Sammenholdt med forholdene i bybaggrund er intervallet lidt lavere. Det skyldes, at kemiske reaktioner spiller ind. De medfører således, at med brug af fordelingsnøglen baseret på befolkningstæthed afdæmpes bidraget fra ikke-vejgående maskiner til NO_2-koncentrationen fra at være 2,0 µg/m^3 i bybaggrund til at være 1,7 µg/m^3, når man betragter gadekoncentrationen.

3 Effekt af krav til ikke-vejgående maskiner

Dette kapitel tager udgangspunkt i den nationale bestand af ikke-vejgående maskiner. Kapitlet belyser, hvor meget emissionen fra ikke-vejgående maskiner på nationalt plan vil blive reduceret i to scenarier, hvor der er gennemført nye miljømæssige krav til ikke-vejgående maskiner.

Man kan forestille sig mange forskellige udformninger af miljømæssige krav til ikke-vejgående maskiner (miljøzoner, krav til specifikke maskintyper etc.). Formålet med kapitlet er at give nogle overordnede holdepunkter og at præsentere det datagrundlag, der foreligger, idet de emissionsmæssige konsekvenser af to simple miljøscenarier beregnes.

I det følgende beskrives de emissionsmæssige konsekvenser af at udskifte ældre ikke-vejgående maskiner i den danske maskinpark indenfor bygge- og anlægssektoren samt produktion – samlet betegnet som industri i den nationale emissionsopgørelse – med maskiner der opfylder den nyeste emissionsnorm iht. EU's emissionsdirektiver. Den danske emissionsopgørelse for ikke-vejgående maskiner er nærmere dokumenteret i Winther (2012) samt Winther og Nielsen (2006).

3.1 Nationale emissioner fra industri

Tabel 3.1 viser de samlede energiforbrug samt NO_X og PM emissioner fordelt på brændstoftyper for ikke-vejgående maskiner anvendt i industri beregnet i den danske emissionsopgørelse for ikke-vejgående maskiner. Det ses at langt hovedparten af emissionen af NO_X og i særdeleshed emissionen af PM udledes af dieselmaskiner. Al udledning af PM fra dieselmaskiner antages at være fine partikler, dvs. $PM_{2,5}$. Mere detaljerede resultater for dieselmaskinernes energiforbrug, NO_X og PM emissioner er vist i Tabel 3.2.

Tabel 3.1. Energiforbrug, NO_X og PM emissioner per brændstoftyper for ikke-vejgående maskiner indenfor industri i den danske emissionsopgørelse (2011)

	Energi (TJ)	NO_X (tons)	PM (tons)
Diesel	12678	6618	638
Benzin	156	33	3,0
LPG	976	1296	4,8

Tabel 3.2. Energiforbrug, NO_X og PM emissioner per maskintype for dieselmaskiner indenfor industri i den danske emissionsopgørelse.

Maskintype	Antal maskiner	Energi (TJ)	NO_X (tons)	PM (tons)
Gaffeltrucks 0-2 tons (diesel)	555,3	45,0	30,7	8,0
Gaffeltrucks 2-3 tons (diesel)	2576,5	266,6	183,5	25,1
Gaffeltrucks 3-5 tons (diesel)	4155,2	686,7	415,1	50,7
Gaffeltrucks 5-10 tons (diesel)	1334,4	337,2	187,5	14,6
Gaffeltrucks >10 tons (diesel)	498,8	208,2	106,4	8,5
Larvebåndsdozere	263	218,1	76,8	2,9
Larvebåndslæssere	180	160,0	56,3	2,1
Gummihjulslæssere (0-5 tons)	3288	445,8	238,8	24,5
Gummihjulslæssere (> 5,1 tons)	2655	2102,3	840,7	59,3
Hydr. gravemaskiner på hjul	306	242,3	96,9	6,8
Hydr. gravemaskiner på bånd (0-5 tons)	8796	1311,9	702,7	72,0
Hydr. gravemaskiner på bånd (> 5,1 tons)	3032	2640,9	1056,1	74,4
Grave/læssemaskiner	3455	610,2	277,5	20,7
Dumpere	1593	385,8	176,4	10,7
Minilæssere	966	114,6	69,0	10,1
Teleskoplæssere	3416	675,5	406,5	59,5
Vibr.plader	3500	43,6	42,9	7,6
Køle- og fryseanlæg (distribution)	3000	172,9	170,4	30,6
Køle- og fryseanlæg (fjern)	3500	60,5	59,6	10,7
Tromler og stampere	2800	253,7	197,6	30,9
Personlifte	150	8,1	5,9	0,9
Fejemaskiner o.l.	200	8,1	4,4	0,4
Højtryksrensere	50	6,7	4,9	0,7
Generator	5000	249,8	216,7	17,6
Kompressor	5000	624,5	524,3	42,1
Traktorer (samfærdsel, industri)	3000	342,2	243,8	34,9
Pumper	1000	2,0	2,0	0,1
Vejbaneudlæggere	300	64,0	54,1	2,3
Lette køretøjer	500	110,0	44,0	3,1
Motorgrader	100	30,8	12,3	0,9
Mellemtunge køretøjer	350	72,2	28,9	2,0
Affaldskompaktorer	100	55,5	42,3	1,7
Tunge køretøjer	650	122,5	43,1	1,6
I alt		**12678**	**6618**	**638**

I forhold til den samlede nationale udledning udgør emissionen fra ikke-vejgående maskiner indenfor industri henholdsvis ca. 6 % (NO_X) og 3 % ($PM_{2,5}$) – se Tabel 2.1.

3.2 Miljøscenarier

Start- og slutår for EU's emissionstrin (Stage I-IV) for ikke-vejgående dieselmaskiner er vist i Tabel 3.3. Udover EU's emissionstrin viser tabellen tre ældre emissionstrin (<1981, 1981-1990 og 1991-Stage 1), som der er opstillet emissionsfaktorer for i den danske emissionsopgørelse. Ved startår forstås det første år, hvor den pågældende emissionsnorm kræves overholdt for ny maskiner.

Tabel 3.3. Startår og slutår for emissionstrin for ikke-vejgående dieselmaskiner indenfor industri i den danske emissionsopgørelse.

			Transient drift		Konstant drift	
	Effekt (kW)	**Emissionstrin**	**Startår**	**Slutår**	**Startår**	**Slutår**
A	P<19	<1981	0	1980	0	1980
A	P<19	1981-1990	1981	1990	1981	1990
A	P<19	1991-Stage I	1991	9999	1991	9999
A	P<19	Stage I				
A	P<19	Stage II				
A	P<19	Stage IIIA				
A	P<19	Stage IIIB				
A	P<19	Stage IV				
B	19<=P<37	<1981	0	1980	0	1980
B	19<=P<37	1981-1990	1981	1990	1981	1990
B	19<=P<37	1991-Stage I	1991	2000	1991	2006
B	19<=P<37	Stage I				
B	19<=P<37	Stage II	2001	2006	2007	2010
B	19<=P<37	Stage IIIA	2007	9999	2011	9999
B	19<=P<37	Stage IIIB				
B	19<=P<37	Stage IV				
C	37<=P<56	<1981	0	1980	0	1980
C	37<=P<56	1981-1990	1981	1990	1981	1990
C	37<=P<56	1991-Stage I	1991	1998	1991	2006
C	37<=P<56	Stage I	1999	2003		
C	37<=P<56	Stage II	2004	2007	2007	2011
C	37<=P<56	Stage IIIA	2008	2012	2012	9999
C	37<=P<56	Stage IIIB	2013	9999		
C	37<=P<56	Stage IV				
D	56<=P<75	<1981	0	1980	0	1980
D	56<=P<75	1981-1990	1981	1990	1981	1990
D	56<=P<75	1991-Stage I	1991	1998	1991	2006
D	56<=P<75	Stage I	1999	2003		
D	56<=P<75	Stage II	2004	2007	2007	2011
D	56<=P<75	Stage IIIA	2008	2011	2012	9999
D	56<=P<75	Stage IIIB	2012	2014		
D	56<=P<75	Stage IV	2015	9999		
E	75<=P<130	<1981	0	1980	0	1980
E	75<=P<130	1981-1990	1981	1990	1981	1990
E	75<=P<130	1991-Stage I	1991	1998	1991	2006
E	75<=P<130	Stage I	1999	2002		
E	75<=P<130	Stage II	2003	2006	2007	2010
E	75<=P<130	Stage IIIA	2007	2011	2011	9999
E	75<=P<130	Stage IIIB	2012	2014		
E	75<=P<130	Stage IV	2015	9999		
F	130<=P<560	<1981	0	1980	0	1980
F	130<=P<560	1981-1990	1981	1990	1981	1990
F	130<=P<560	1991-Stage I	1991	2001	1991	2006
F	130<=P<560	Stage I				
F	130<=P<560	Stage II	2002	2005	2007	2010
F	130<=P<560	Stage IIIA	2006	2010	2011	9999
F	130<=P<560	Stage IIIB	2011	2013		
F	130<=P<560	Stage IV	2014	9999		

De emissionsmæssige konsekvenser af to miljøscenarier for ikke-vejgående maskiner er beregnet. I Miljøscenarie 1 (mest vidtgående) er alle ældre die-

seldrevne ikke-vejgående maskiner udskiftet, således at samtlige maskiner overholder det nyeste emissionstrin (svarende til 56 % af alle dieseldrevne ikke-vejgående maskiner). I Miljøscenarie 2 er alle dieseldrevne maskiner ældre end Stage II udskiftet med den nyeste emissionsnorm (svarende til 26 % af alle dieseldrevne ikke-vejgående maskiner).

Emissionstotaler for NO_X og PM er vist i Tabel 19 i henhold til den nationale opgørelse og de to miljøscenarier. Det ses, at NO_X og PM emissionerne kan reduceres med hhv. 24 % og 32 % ved at udskifte alle maskiner ældre end nyeste emissionstrin med maskiner på det nyeste (miljøscenarie 1). Ved at udskifte alle maskiner ældre end Stage II med den nyeste emissionsnorm beregnes emissionsreduktioner for NO_X og PM for ikke-vejgående maskiner på hhv. 14 % og 24 % i miljøscenarie 2.

Tabel 3.4. Emissionstotaler for ikke-vejgående maskiner i henhold til den nationale emissionsopgørelse og miljøscenarie 1 og 2. Totalerne inkluderer bidrag fra ikke-diesel maskiner, som er upåvirket af miljøkravene. Tal for 2011.

	NO_X	PM
National total	7947	646
Miljøscenarie 1	6215	439
Miljøscenarie 2	6860	491
% reduktion Miljøscenarie 1	24	32
% reduktion Miljøscenarie 2	14	24

3.3 Diskussion

Man kan foretage nogle overslag over, hvilken effekt de to scenarier i givet fald vil have for koncentrationer i København ved at betjene sig af resultaterne i kapitel 2.

NO_X-bidraget til koncentrationer i bybaggrund fra mobile ikke-vejgående maskiner i den gittercelle, der indeholder H.C. Andersens Boulevard, er beregnet til henholdsvis 0,7 µg/m^3 med den normalt benyttede fordelingsnøgle (industriareal), og til 3,1 µg/m^3 med en fordelingsnøgle baseret på befolkningstæthed.

Hvis emissionsbidraget fra ikke-vejgående maskiner bliver reduceret med 26 % (svarede til Miljøscenarie 1), vil koncentrationsbidraget for NO_X bliver reduceret tilsvarende. Overslagsmæssigt vil en ændring af bidraget til NO_X-koncentrationer bevirke en ændring i NO_2-bidraget, der beløber sig til ca. 2/3 af NO_X-ændringen (dette overslag er baseret på resultaterne i Tabel 2.4).

Alt i alt vil Miljøscenarie 1 bevirke en forventet reduktion i NO_2-koncentationen ved HCAB på cirka 0,1 µg/m^3, hvis den normale fordelingsnøgle benyttes (det centrale estimat). Reduktionen vil være 0,5 µg/m^3, hvis man baserer sig på befolkningstæthed som fordelingsnøgle, hvilket må antages at resultere i en overvurdering af effekten.

Det er af interesse at sammenligne med effekten af ren-luftzoner. I en rapport om ren-luftzoner i København (Jensen et al., 2012) er der foretaget vurdering af effekten af forskellige scenarier for ren-luftzoner. Det mest vidtgående af hovedscenarierne (3B: "Person- og varebilscenarie med fremme af Euro 6") giver en beregnet reduktion af NO_2-koncentrationen på H.C. Andersens Boulevard på 2 µg/m^3 i 2013 (og 2,4 µg/m^3 i 2017). Andre scenarier giver lavere effekt. Eksempelvis vil "Varebilscenarie" 2A med skærpede

emissionskrav til varebiler udløse NO_2-reduktioner på 0,1 µg/m^3 i 2013 og 0,3 µg/m^3 i 2017.

4 Konklusion

Det overordnede spørgsmål, som nærværende rapport besvarer, er: Hvor stort et bidrag til luftforureningen (NO_X, NO_2 og partikler, både i henseende til emission og koncentration) leverer ikke-vejgående maskiner i byområderne København og Aarhus?

Der kan ikke gives et præcist svar på dette spørgsmål, men i det foregående er præsenteret nogle holdepunkter, idet data i den nationale emissionsopgørelse er benyttet som grundlag.

4.1 Fordelingsnøgler og bidrag fra ikke-vejgående maskiner

Den nationale emissionsopgørelse angiver værdier for emissioner som en total for Danmark. Emissionsmodellen SPREAD benyttes til at fordele emissionerne geografisk. SPREAD betjener sig af en fordelingsnøgle til at beskrive den geografiske fordeling af emissionerne. Den benyttede fordelingsnøgle er baseret på proxydata, og den geografiske fordeling af emissionerne er derfor behæftet med væsentlig usikkerhed. Det er belyst, hvad konsekvensen er af at benytte den nuværende fordelingsnøgle (baseret på forekomsten af industriarealer), samt af tre andre mulige fordelingsnøgler. For tre af fordelingsnøglerne er dette gjort ikke alene for emissionerne, men også for koncentrationen i luften af en række forurenende stoffer, mens den sidste fordeling baseret på det bebyggede areal, kun er belyst i forhold til emissionerne. To af de tre alternative fordelingsnøgler (befolkningstæthed og lav bebyggelse) er tænkt som yderpunkter, der skal illustrere konsekvenserne, hvis emissionen fra ikke-vejgående maskiner fordeles efter helt andre kriterier end det nuværende.

Hvad emissioner angår, får man ved brug af den normalt anvendte fordelingsnøgle, at emissions-bidraget fra mobile ikke-vejgående maskiner i Københavnsområdet er på 6 % for NO_X og 3 % for $PM_{2,5}$. For Aarhus-området er de tilsvarende tal et emissions-bidrag på 10 %, hvad angår NO_X, og 9 %, hvad angår $PM_{2,5}$.

Der er foretaget modelberegninger af koncentrationsbidraget fra mobile ikke-vejgående maskiner for byerne København og Aarhus og hele deres opland. Der foreligger et komplet sæt kort med beregningsresultater i Bilag 1. Specielt er der foretaget en gennemregning af forholdene på gadeniveau vedrørende H.C. Andersens Boulevard i København. Den viser, at det beregnede bidrag til koncentrationer af NO_2 fra mobile ikke-vejgående maskiner for 2010 er på 0,4 µg/m^3 med til den normalt anvendte fordelingsnøgle (industriareal). Denne værdi kan ses som et centralt estimat. De 0,4 µg/m^3 kan sammenholdes med et samlet beregnet niveau på 48 µg/m^3 NO_2 lokalt i gaden og et beregnet baggrundsniveau i området omkring Rådhuspladsen (bybaggrund) på 20 µg/m^3. Bidraget udgør ca. 2 % af baggrundskoncentrationen i byen og ca. 0,8 % af det lokale niveau i gaden. Ved at benytte den alternative fordelingsnøgle baseret på befolkningstæthed estimeres bidraget fra ikke-vejgående maskiner til at være ca. en faktor 4 større – 1,7 µg/m^3 – mens det er væsentligt lavere – 0,1 µg/m^3 – ved at basere sig på et andet yderpunkt for en fordelingsnøgle, nemlig lav bebyggelse.

Hvis man bruger befolkningstæthed som fordelingsnøgle findes der steder med højere befolkningstæthed end området omkring H.C. Andersens Boulevard. Det maksimale NO_2 bidrag nogetsteds i Københavnsområdet i henhold til denne fordelingsnøgle er 3,7 µg/m^3, hvilket kan sammenholdes med et totalt baggrundsniveau på omkring 20 µg/m^3.

I det centrale Aarhus svarer koncentrationsbidragene omtrent til de københavnske, men baggrundsniveauet er lidt lavere (omkring 15 µg/m^3).

Resultaterne opnået via de betragtede fordelingsnøgler definerer et sandsynligt interval for, hvor store emissioner og koncentrationsbidrag, der kan forekomme under nogenlunde gennemsnitlige forhold. Såfremt der lokalt foregår en omfattende anlægsaktivitet vil det være nødvendigt med en mere specifik vurdering af udledningerne for at kunne vurdere koncentrationsbidraget fra anvendelsen af de ikke-vejgående maskiner. I områder med stor befolkningstæthed vil den største værdi i intervallet efter alt at dømme kraftigt overvurdere bidraget fra ikke-vejgående maskiner. Fordelingsnøglen baseret på industriareal anses derimod for at resultere i et rimeligt centralt estimat. SPREAD modellen forbedres løbende, og da den anvendte fordelingsnøgle for mobile ikke-vejgående maskiner i industrien er behæftet med stor usikkerhed, vil det blive tilstræbt at udarbejde en forbedret fordelingsnøgle. Én mulighed er at inddrage data fra BBR registret, og basere fordelingen på en række udvalgte bygningskategorier.

Når der er behov for emissionsdata for ikke-vejgående maskiner med høj geografisk opløsning vil det optimale i case studier være at udføre emissionsberegninger for de enkelte anlægsarbejder i et konkret område. Det kan imidlertid være vanskeligt at indhente de relevante data. Derfor vil det ofte være nødvendigt at benytte SPREAD med en passende fordelingsnøgle.

Miljøstyrelsen har iværksat et søsterprojekt til nærværende projekt, som går ud på at indhente oplysninger om brugen af entreprenørmaskiner til forskellige typer af anlægsprojekter. Foreløbige resultater fra det pågældende projekt har været sammenlignet med resultaterne fra det nærværende. Sammenligningen indikerer at den nuværende fordelingsnøgle resulterer i et forholdsvis centralt estimat, til trods for at den er behæftet med stor usikkerhed. Men i tilfælde, hvor der er behov for detaljerede analyser med hensyntagen til konkrete anlægsprojekter, bør der så vidt muligt indhentes mere præcise data end SPREAD modellen er i stand til at levere.

4.2 Hvilken effekt vil forskellige minimumsstandarder have?

Man kan forestille sig mange forskellige udformninger af miljømæssige krav til ikke-vejgående maskiner (miljøzoner, krav til specifikke maskintyper etc.). To simple miljøscenarier kunne være: Et meget vidtgående scenarie (Miljøscenarie 1), hvor alle maskiner, der ikke lever op til de nyeste emissionskrav er udskiftet med maskiner på det nyeste emissionstrin, og et mindre vidtgående scenarie (Miljøscenarie 2), hvor alle maskiner ældre end det såkaldte Stage II er udskiftet med maskiner, der overholder den nyeste emissionsnorm.

Det mest vidtgående scenarie (1) bevirker emissionsreduktioner for hele bestanden af ikke-vejgående maskiner på 24 % for NO_X og 32 % for $PM_{2,5}$-udstødning. Det mindre vidtgående scenarie (2) bevirker emissionsreduktioner på 14 % for NO_X og 24 % for $PM_{2,5}$-udstødning.

En overslagsmæssig betragtning viser, at for det mest vidtgående scenarie vil reduktionen i NO_2-koncentrationen blive på ca. 0,1 µg/m^3 (svarende til ca. 0,2 %) på H.C. Andersens Boulevard, når den sædvanlige geografiske fordelingsnøgle lægges til grund.

5 Referencer

Berkowicz, R. 2000. A Simple Model for Urban Background Pollution. Environmental Monitoring and Assessment Vol. 65, Issue 1/2, pp. 259-267.

Brandt, J., J. D. Silver, L. M. Frohn, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, C. A. Skjøth, H. Villadsen, A. Zare, and J. H. Christensen 2012: An integrated model study for Europe and North America using the Danish Eulerian Hemispheric Model with focus on intercontinental transport. Atmospheric Environment, Volume 53, June 2012, pp. 156-176, doi:10.1016/j.atmosenv.2012.01.011

Jensen, S.S., Ketzel, M., Brandt, J., Winther, M. 2012: Luftkvalitetsvurdering af ren-luftzone i København. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 86 s. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 25. http://www2.dmu.dk/Pub/SR25.pdf

Olesen, H.R., Ellermann, T., Winther, M., Plejdrup, M.S., Brandt, J. (2013): Luftforurening fra togdrift i byområder. Miljøstyrelsen. - Miljøprojekt nr. 1484. 58 s. http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2013/04/978-87-93026-15-5.pdf

Plejdrup, M.S. & Gyldenkærne, S. 2011: Spatial distribution of emissions to air – the SPREAD model. National Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark. 72 pp. – NERI Technical Report no. FR823.

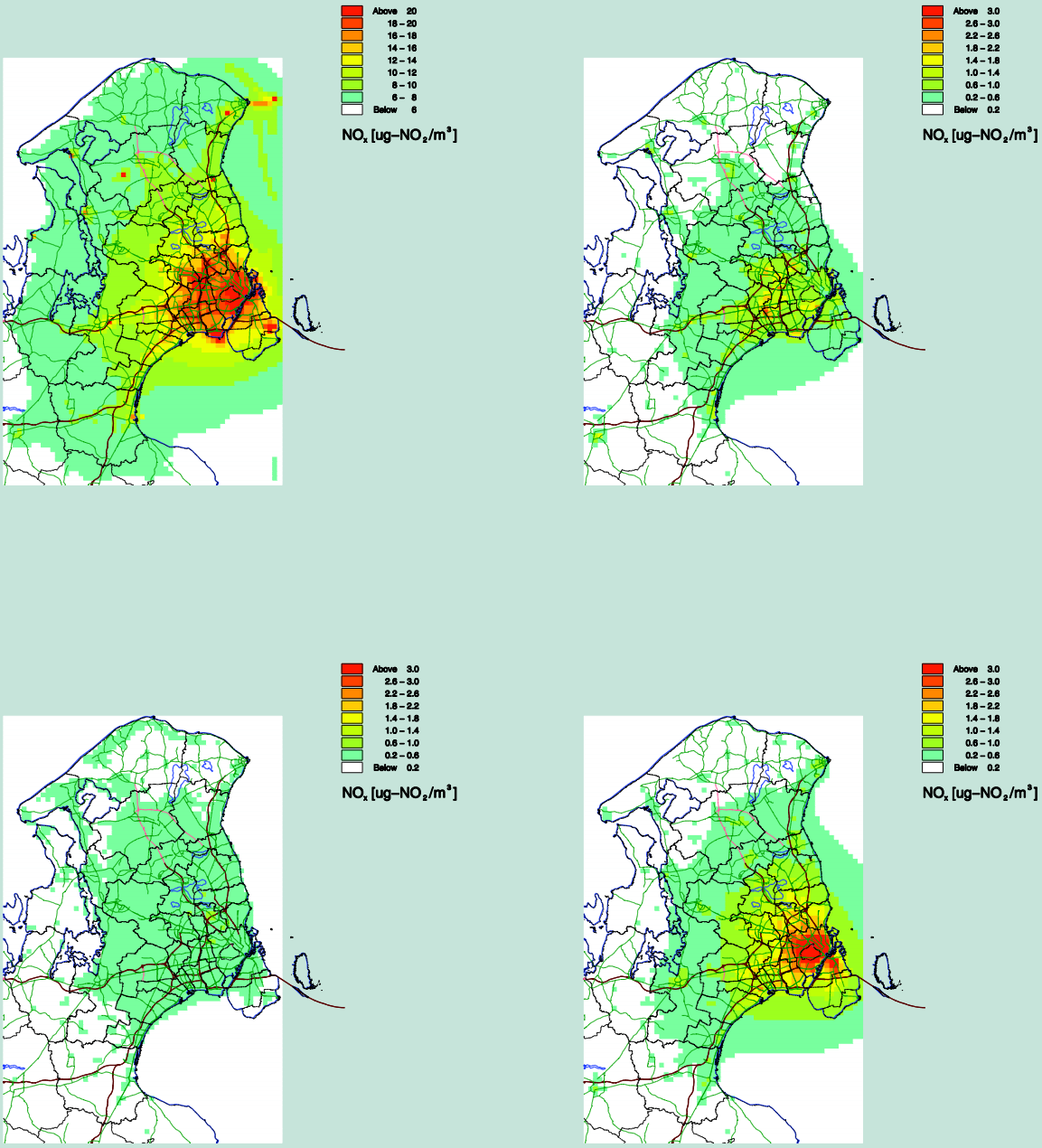
Winther, M. & Nielsen, O.K. 2006: Fuel use and emissions from non-road machinery in Denmark from 1985–2004 – and projections from 2005-2030. The Danish Environmental Protection Agency. - Environmental Project 1092: 238 pp. Available at: http://www.dmu.dk/Udgivelser/Arbejdsrapporter/-Nr.+200-249/

Winther, M. 2012: Danish emission inventories for road transport and other mobile sources. Inventories until the year 2010. National Environmental Research Institute, University of Aarhus. 283 pp. – DCE Scientific Report No. 24. http://www.dmu.dk/Pub/SR24.pdf

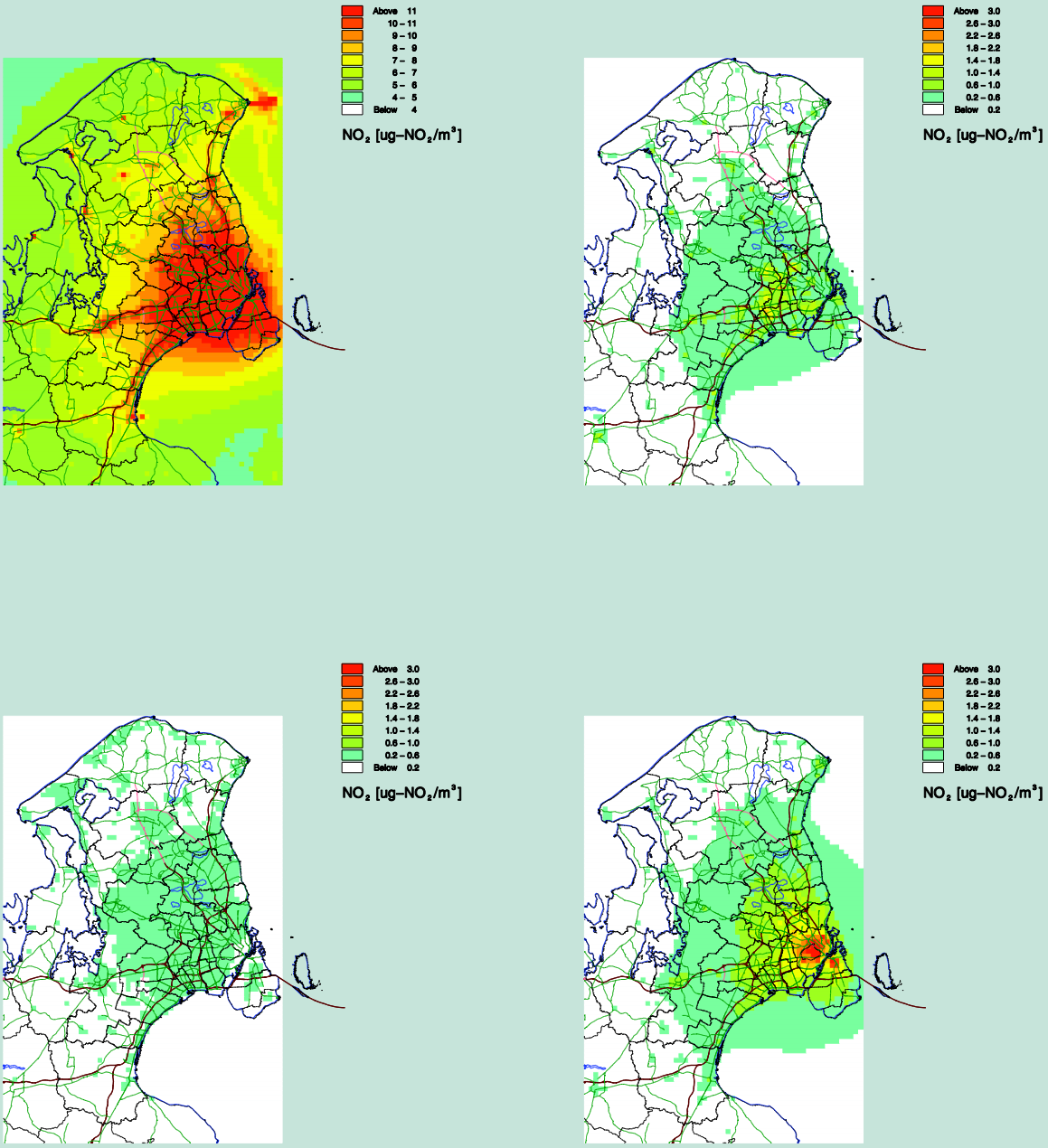
Bilag 1

Figurerne her i bilaget vedrører afsnit 2.3. De viser årsmiddelkoncentrationer i bybaggrunden af forskellige stoffer for året 2010 beregnet med UBM modellen. Der vises totale koncentrationer samt bidraget fra ikke-vejgående maskiner i henhold til 3 forskellige fordelingsnøgler.

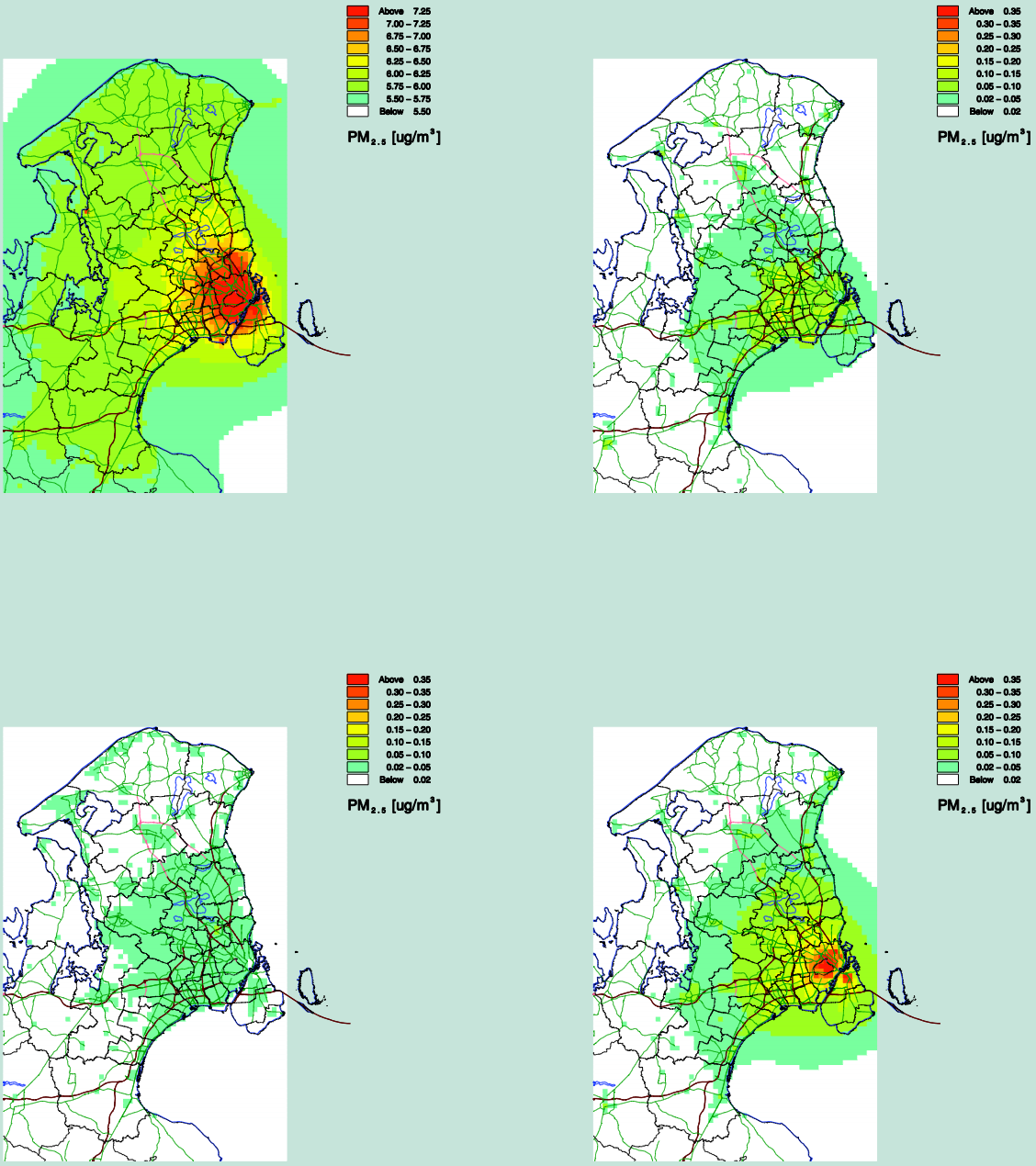
Der er vist tre sider med resultater fra København, dernæst tre sider med resultater fra Aarhus. Hvert sæt på tre sider vedrører koncentrationer i luften af henholdsvis NO_X, NO_2 og $PM_{2,5}$. Øverst til venstre på hver side er vist koncentrationen af pågældende stof beregnet på grundlag af alle kilder undtagen ikke-vejgående maskiner. Denne figur benytter sin egen farveskala. De tre øvrige figurer på hver side viser alene bidraget fra ikke-vejgående maskiner i henhold til de tre omtalte fordelingsnøgler. Disse tre figurer med bidrag benytter en fælles farveskala.



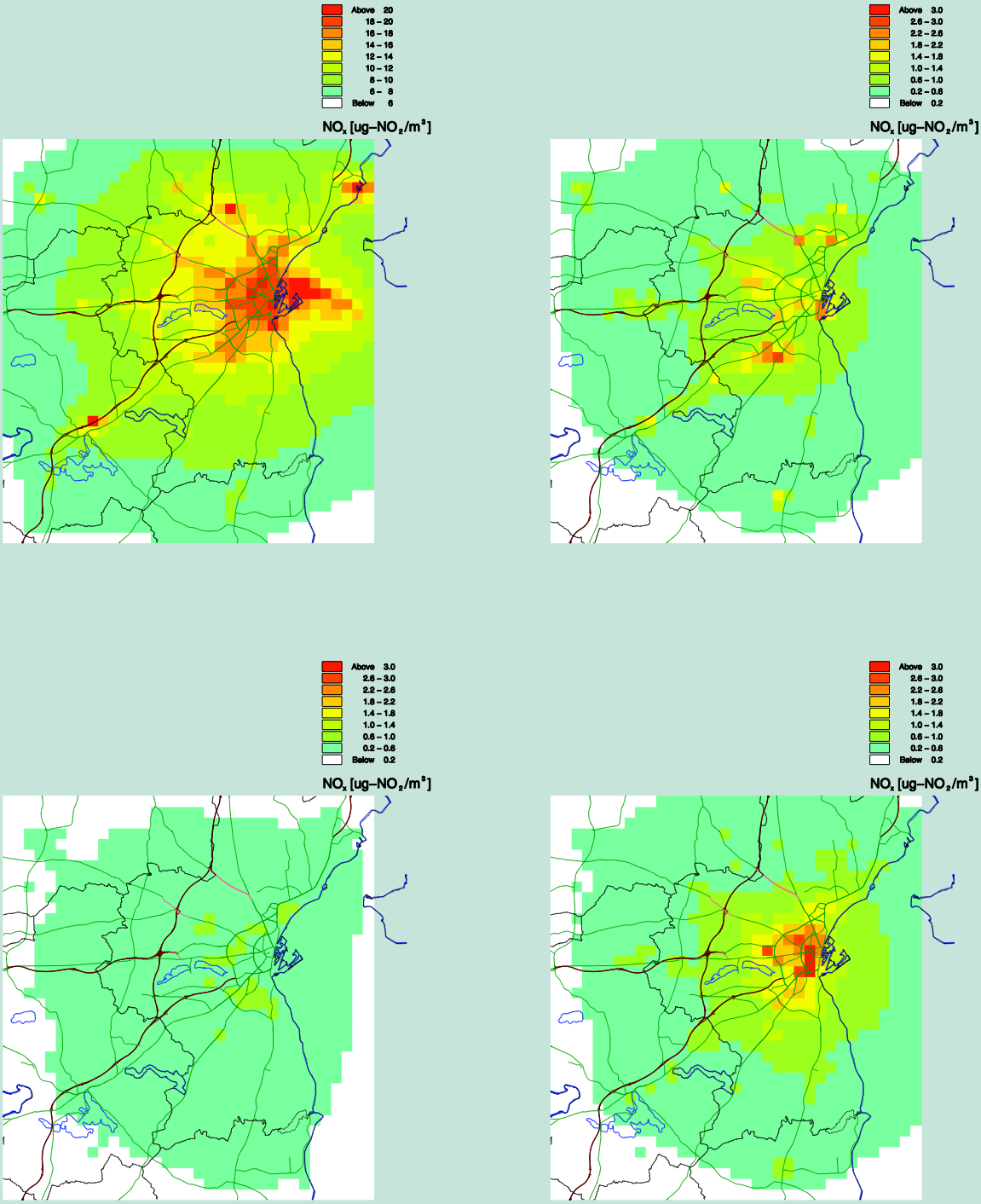
Figur B.1
Årsmiddelkoncentrationer i bybaggrunden af NO_X i København for 2010 beregnet med UBM modellen.
Totale koncentrationer fra alle kilder (øverst tv.). Bidrag fra ikke-vejgående maskiner fordelt efter industrigrunde (øverst th.), lave bygninger (nederst tv.) og befolkningstæthed (nederst th.).



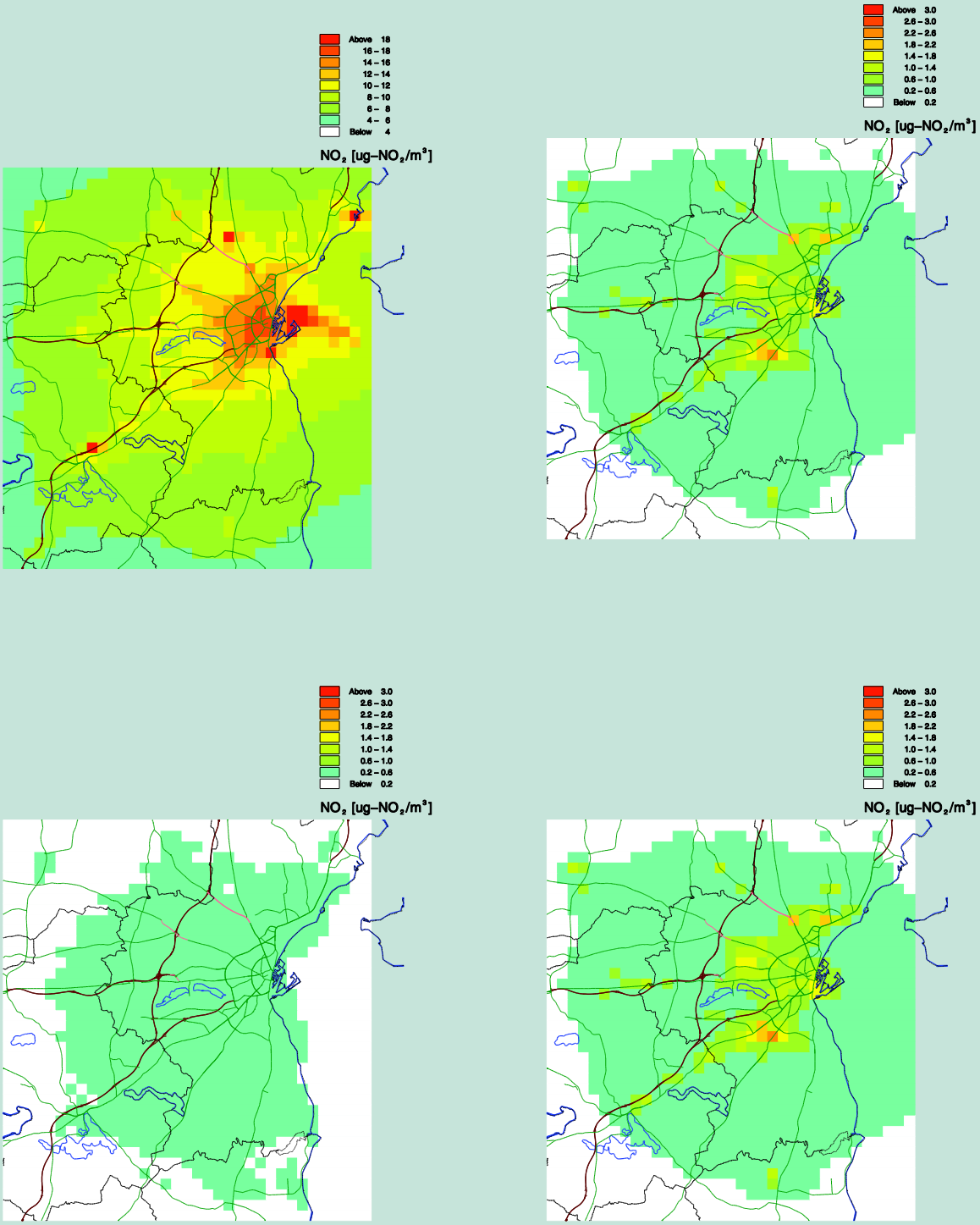
Figur B.2
Årsmiddelkoncentrationer i bybaggrunden af NO_2 i København for 2010 beregnet med UBM modellen.
Totale koncentrationer fra alle kilder (øverst tv.). Bidrag fra ikke-vejgående maskiner fordelt efter industrigrunde (øverst th.), lave bygninger (nederst tv.) og befolkningstæthed (nederst th.).



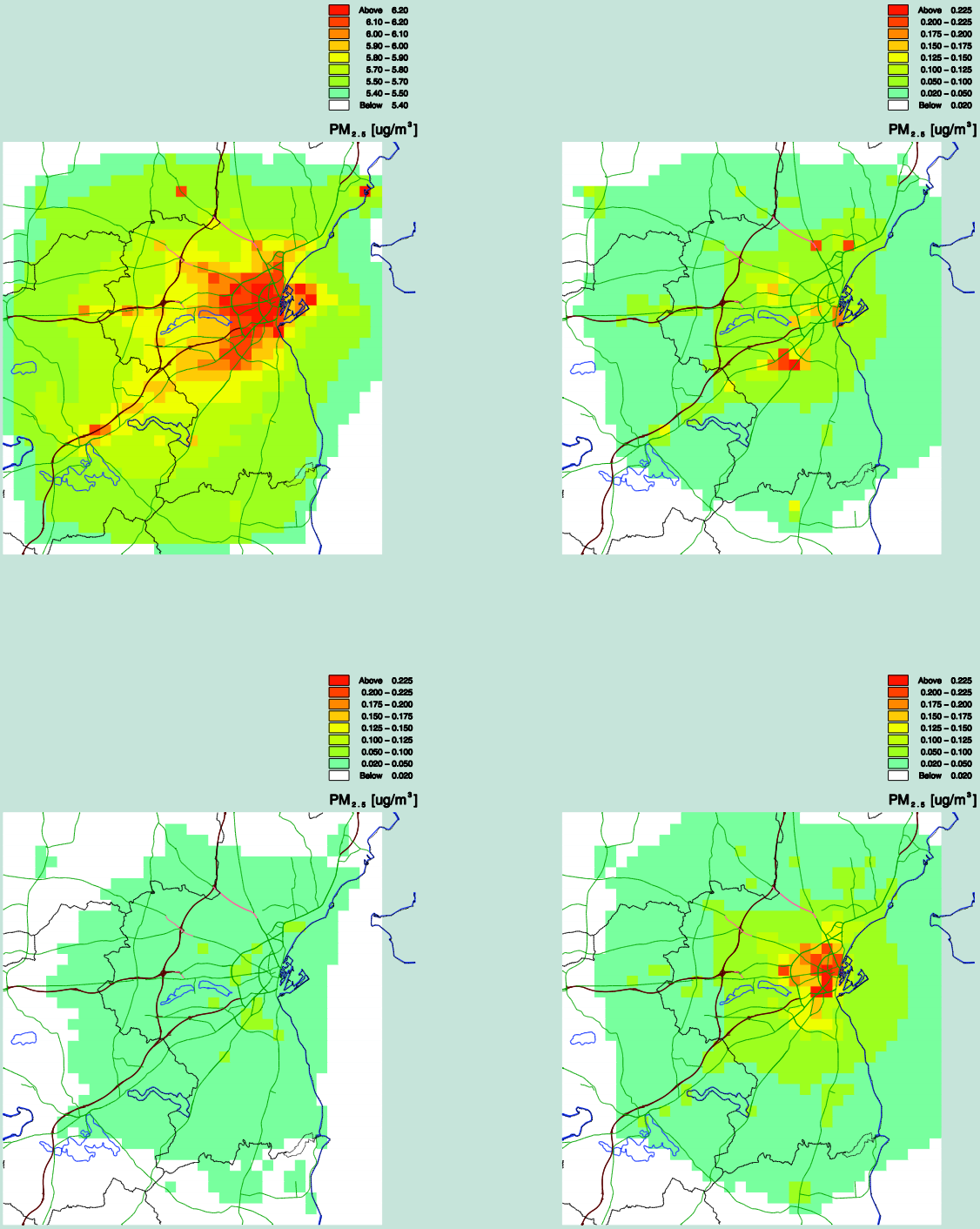
Figur B.3
Årsmiddelkoncentrationer i bybaggrunden af $PM_{2.5}$ i København for 2010 beregnet med UBM modellen.
Totale koncentrationer fra alle kilder (øverst tv.). Bidrag fra ikke-vejgående maskiner fordelt efter industrigrunde (øverst th.), lave bygninger (nederst tv.) og befolkningstæthed (nederst th.).



Figur B.4
Årsmiddelkoncentrationer i bybaggrunden af NO_X i Aarhus for 2010 beregnet med UBM modellen.
Totale koncentrationer fra alle kilder (øverst tv.). Bidrag fra ikke-vejgående maskiner fordelt efter industrigrunde (øverst th.), lave bygninger (nederst tv.) og befolkningstæthed (nederst th.).



Figur B.5
Årsmiddelkoncentrationer i bybaggrunden af NO_2 i Aarhus for 2010 beregnet med UBM modellen.
Totale koncentrationer fra alle kilder (øverst tv.). Bidrag fra ikke-vejgående maskiner fordelt efter industrigrunde (øverst th.), lave bygninger (nederst tv.) og befolkningstæthed (nederst th.).



Figur B.6
Årsmiddelkoncentrationer i bybaggrunden af $PM_{2,5}$ i Aarhus for 2010 beregnet med UBM modellen.
Totale koncentrationer fra alle kilder (øverst tv.). Bidrag fra ikke-vejgående maskiner fordelt efter industrigrunde (øverst th.), lave bygninger (nederst tv.) og befolkningstæthed (nederst th.).

LUFTFORURENING FRA MOBILE IKKE-VEJGÅENDE MASKINER I BYOMRÅDER

Rapporten beskriver resultaterne af et projekt om den rolle, som brugen af entreprenørmaskiner mv. har for luftforurening i Danmark, specielt i byområderne København og Aarhus. Dette er gjort ved at kortlægge forholdene for den kategori af maskiner, der benævnes som "ikke-vejgående maskiner i industrien", dvs. bl.a. gravemaskiner, dumpere, dozere, pumper, generatorer, kompressorer og gaffeltrucks. Rapporten beskriver disse maskiners bidrag i henseende til emissioner og koncentrationer af kvælstofoxider og fine partikler.

Resultaterne er baseret på brug af en fordelingsnøgle til geografisk fordeling af emissionerne. Der vises resultater ved at benytte en normalt anvendt fordelingsnøgle samt ved at benytte forskellige alternative fordelingsnøgler. Endelig belyses effekten af mulige krav til ikke-vejgående maskiner.

ISBN: 978-87-7156-016-9
ISSN: 2244-9981