

Vurdering af krydstogtskibes bidrag til luftforurening

Helge Rørdam Olesen og Ruwim Berkowicz
Danmarks Miljøundersøgelser

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	6
SUMMARY AND CONCLUSIONS	9
1 INDLEDNING	12
2 BAGGRUND	14
2.1 ADGANGEN TIL OZON SÆTTER ET LOFT FOR NO ₂ -KONCENTRATIONER	14
2.2 NIVEAUER AF NO ₂ -KONCENTRATIONER	15
2.3 KRYDSTOGTSKIBENES EMISSIONER SAT I PERSPEKTIV	16
2.4 BEMÆRKELESVÆRDIG SO ₂ -EMISSION	16
3 MÅLESTOKKE FOR "BIDRAG" TIL LUFTFORURENING	17
4 DATAGRUNDLAG OG FORUDSÆTNINGER	19
4.1 EMISSIONER	19
4.2 KONVERTERING TIL PM ₁₀	21
4.3 ANDEL DIREKTE EMITTERET SOM NO ₂	22
4.4 RØGRENSNINGSUDSTYR	22
4.5 OML-MODELLEN	23
4.5.1 Fysiske data for kilderne	23
4.5.2 Receptornet	24
4.6 METEOROLOGISKE DATA	24
4.7 BAGGRUNDSKONCENTRATIONER	24
5 BASISBEREGNING	26
5.1 BASISBEREGNING FOR NO _x	28
5.2 BASISBEREGNING FOR SO ₂	35
5.3 BASISBEREGNING FOR PARTIKLER	37
6 SUPPLERENDE BEREGNINGER OG FØLSOMHEDSANALYSE	39
6.1 BETYDNINGEN AF DIREKTE EMISSION AF NO ₂	39
6.2 BETYDNINGEN AF AT BRUGE ANDRE DATA FOR BAGGRUNDSKONCENTRATIONER	40
6.3 BETYDNINGEN AF METEOROLOGI	42
6.4 BETYDNINGEN AF RECEPTORNETTETS TÆTHED	43
6.5 BETYDNINGEN AF TIDSFORSKYDNING	44
6.6 BETYDNINGEN AF RECEPTORHØJDE	45
6.7 BETYDNINGEN AF RØGGASTEMPERATUR	46
6.8 DISKUSSION	46
7 KONKLUSION	48
8 REFERENCER	49

Bilag - se næste side

- Bilag A Emissioner fra krydstogtskibe i Københavns Havn. Metoder og antagelser
- Bilag B Spørgeskema
- Bilag C Tabel med OML-data
- Bilag D Tabel med anløbsdata
- Bilag E Serie af overheads: "Den begrænsede adgang til ozon sætter et loft over NO₂-koncentrationen".

Forord

Denne rapport udgør afrapporteringen af projektet "Vurdering af krydstogtskibes bidrag til luftforureningen".

Danmarks Miljøundersøgelser er hovedansvarlig for beregninger og analyser i nærværende rapport, mens FORCE Technology har udført et delprojekt med indsamling af emissionsdata, der er beskrevet i bilag A.

Projektets styringsgruppe er Ulrik Torp (Miljøstyrelsen), Jørgen Vesth-Hansen (Københavns Havn), Jakob Fryd (Miljøkontrollen), Henrik Saxe (IMV), Helge Rørdam Olesen (DMU), Tom Wismann (FORCE), Jørgen Boje (FORCE) og Gert Nørgaard (Copenhagen Malmö Port).

Sammenfatning og konklusioner

På foranledning af Miljøstyrelsen har DMU gennemført en undersøgelse af luftforureningen fra krydstogtskibe i Københavns Havn. Baggrunden for projektet er, at Institut for Miljøvurdering (IMV) i 2003 gennemførte nogle overslagsmæssige beregninger af bidraget til forureningsniveauet fra skibene i Københavns Havn. Disse beregninger viste, at det ikke kunne udelukkes, at emissionerne af NO_x fra krydstogtskibene udgør et væsentligt bidrag til luftforureningen i visse dele af København.

Udstødningsgasser fra forbrændingsmotorer – f.eks. fra krydstogtskibe – indeholder en blanding af kvælstofoxider (NO_x). NO_x er summen af NO og NO_2 , og NO kan omdannes til NO_2 . Sundhedsmæssigt og i relation til grænseværdier er det NO_2 , der er interessant, idet stoffet er en luftvejsirritant. Når man skal vurdere forureningen med NO_2 er det vigtigt at gøre sig klart, at på tæt hold af en forureningskilde kan koncentrationen af NO_x være langt større end koncentrationen af NO_2 . Det er også vigtigt at gøre sig klart, at mængden af tilgængeligt ozon fra baggrundsluften sætter et "loft" over, hvor megen NO_2 , der kan dannes.

De foreliggende, ny beregninger er væsentligt mere detaljerede end de ovenfor nævnte. I forhold til den tidligere undersøgelse gør det en forskel – som resulterer i markant anderledes konklusioner – at emissionen er fordelt over adskillige kajpladser, at stor emission kun forekommer i en lille del af årets timer, og frem for alt, at effekten af atmosfærekemi og baggrundskoncentrationer (ozon) har en dæmpende virkning, når man skal "oversætte" NO_x -emissioner til koncentrationer af NO_2 .

Data vedrørende skibenes emissioner er sammenstillet af FORCE Technology; FORCE Technology's afrapportering af arbejdet med emissioner indgår som et bilag til nærværende rapport.

Beregningerne er udført på baggrund af data, der er indsamlet fra rederierne. Det har overrasket at ingen af rederierne har angivet at de har brugt røgrensningsudstyr, selv om det vides at være installeret på ihvertfald nogle skibe. Spørgsmålet er ikke undersøgt nærmere, men grundlaget for nærværende beregninger er således, at der *ikke* er benyttet røgrensningsudstyr.

Med udgangspunkt i data for emissioner, skibenes fysiske udformning, meteorologi og baggrundskoncentrationer er der udført spredningsmeteorologiske beregninger med OML-modellen (OML-Multi version 5.03). Der er som udgangspunkt udført en "basisberegning" med OML-modellen baseret på en konkret kombination af data og forudsætninger. Basisberegningen udgør et fast holdepunkt, men den alene giver ikke et fyldestgørende billede af forholdene, og den følges derfor op af supplerende beregninger og følsomhedsanalyser. Følgende spørgsmål er undersøgt:

- Betydningen af forskellige antagelser om, hvor meget NO_2 der emitteres direkte (som andel af NO_x -emissionen);
- Forskellige forudsætninger om baggrundskoncentrationer;

- Virkningen af at vælge et andet år for meteorologiske data og baggrundsdata;
- Følsomhed over for den geografiske opløsning i beregningerne;
- Betydningen af at tidsforskyde krydstogtskibenes anløb i forhold til øvrige data.
- Virkningen af en anden receptorhøjde;
- Betydningen af røggastemperaturen.

Hvad angår kvælstofoxider er der i EU fastsat en grænseværdi for NO_2 , som tager udgangspunkt i den 19. højeste timeværdi på et år; denne må ikke overstige $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (grænseværdien skal være opfyldt i 2010). Der findes også en grænseværdi relateret til årsmiddelværdien af NO_2 ; årsmiddelværdien må ikke overstige $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (i år 2010).

Den mest centrale figur fra basisberegningen er gengivet som *Figur 1*. Den kan jævnføres med grænseværdien for den 19. højeste timeværdi. Figuren viser den geografiske fordeling af den 19. højeste timeværdi af NO_2 i løbet af et år. Der er taget hensyn til krydstogtskibene, overlejret på den generelle baggrundsforurening i byen. Baggrundskoncentrationen antages at være konstant overalt i området. Værdierne ligger i intervallet mellem 98 og $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$, og de må som nævnt ikke overstige $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Såfremt krydstogtskibene ikke havde været til stede, havde figuren vist et konstant niveau på $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$, svarende til koncentrationen fra baggrundsforurening.

Hvad angår *årsmiddelværdien* for NO_2 er der i henhold til basisberegningen et niveau på ca. $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, næsten upåvirket af om krydstogtskibene er tilstede eller ej. Krydstogtskibenes bidrag er ca. $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, når det er størst. Dette skal sammenholdes med en grænseværdi på $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



FIGUR 1 VED SIDEN AF ET NORMALT KORT ER VIST ET SKEMATISK KORT, DER DÆKKER DET TILSVARENDE OMRÅDE PÅ 1800 X 4800 M VED HAVNEN. DE ENKELTE FIRKANTER ER 200 X 200 M. DE HVIDE RINGE ER KAJPLADSER.

"KORTET" VISER FOR HVERT BEREKNINGSPUNKT I OMRÅDET DEN NITTENDE HØJESTE TIMEVÆRDI AF NO_2 I HENHOLD TIL BASISBEREGNINGEN.

DE VISTE VÆRDIER SKAL SAMMENHOLDES MED GRÆNSEVÆRDIEN PÅ $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. BEMÆRK AT SKALAEN BLOT GÅR FRA 98 TIL 101. I DET SORTE OMRÅDE ER VÆRDIEN 98, OG DENNE VÆRDI VIL FORBLIVE AT VÆRE 98, UANSET OM KRYDSTOGTSKIBENE ER TIL STEDE ELLER EJ.

Der er gennemført en række supplerende beregninger og følsomhedsanalyser, som belyser betydningen af at regne med andre forudsætninger end det er gjort i basisberegningen. Følsomhedsanalyserne rykker ikke ved det generelle billede, som er tegnet af basisberegningen: At NO₂-bidraget fra krydstogtskibene ikke tilnærmelsesvis er i stand til at løfte koncentrationerne op i nærheden af grænseværdierne for NO₂, hverken lige omkring krydstogtskibene eller længere væk.

Ud over beregningerne for NO₂ er der udført beregninger for forurening med svovldioxid og partikler fra krydstogtskibene. Disse beregninger godtgør, at krydstogtskibenes bidrag til SO₂-forurening er større end tidligere antaget – uden dog at være alarmerende – mens bidraget til forurening med partikler er særdeles beskedent i forhold til EU's grænseværdier.

Alt i alt giver de gennemførte beregninger bl.a. svar på følgende centrale spørgsmål:

- Har krydstogtskibene potentiale til at påvirke den 19. højeste timeværdi af NO₂? Svaret er *Ja*, men kun ganske lidt, og kun i den umiddelbare nærhed af kajpladserne – jævnfør *Figur 1*.
- Er krydstogtskibenes tilstedeværelse i stand til at løfte den 19. højeste timeværdi op over tærsklen på 200 µg/m³? Svaret er klart *Nej*.
- Er krydstogtskibenes bidrag til den gennemsnitlige NO₂-forurening på årsbasis væsentligt? Svaret er *Nej*.

Summary and conclusions

The present study concerns the contribution to air pollution caused by cruise ships calling at the Port of Copenhagen. The Danish EPA has commissioned the study to be conducted by NERI (NERI is the National Environmental Research Institute, in Danish called DMU). The study can be regarded as a follow-up to a previous, but less detailed study undertaken by the Danish Environmental Assessment Institute (IMV) in 2003, which rose concern that emission of NO_x from cruise ships could cause severe air pollution problems in certain parts of Copenhagen.

The present study is limited to emissions with possible health effects, i.e. NO_2 , SO_2 and PM_{10} . It is considerably more detailed than the one mentioned above. The main differences are that the present study takes into account the fact that emission from the cruise ships is distributed among several quays, that the emission takes place only during certain periods of the year, and – very importantly – that background concentrations and atmospheric chemistry have a substantial smoothing effect, when "translating" NO_x emissions to NO_2 concentrations.

A further difference is that the present study concerns only cruise ships, not all ships in the Port of Copenhagen.

The current study is based on information on those cruise ships that actually called at the port of Copenhagen in 2004. A detailed emission inventory has made it possible to avoid several simplifying assumptions of the previous study.

Data for emissions from the cruise ships have been compiled by FORCE Technology. An annex to the present report provides further specifications on the methodology and results of the emission inventory.

When compiling the emission inventory, a principal source of information was a questionnaire sent to the ship agents. It has come as a surprise that it was not reported for any ship that an exhaust cleaning system was in use, even though cleaning systems are known to be installed on at least one ship. This question has not been pursued further in the context of the present study; the entire set of calculations has been based on the assumption that exhaust-cleaning systems have *not* been used.

According to the data from 2004, a maximum of 6 cruise ships were present in the harbour at the same time. The total yearly emission of NO_x from cruise ships in the Port of Copenhagen was 145 ton, while the total emission from all ships in the harbour was 600 ton/year.

Atmospheric dispersion calculations have been conducted based on data on emission, physical characteristics of the cruise ships, meteorology and background concentrations. The Danish OML model (OML-Multi 5.03) was used for the computations.

The exhaust gas from combustion engines – such as the engines in cruise ships – contains a mixture of nitrogen oxides (NO_x). NO_x is the sum of NO and NO_2 . In terms of health effects and limit values, NO_2 is the substance of interest.

When evaluating concentrations of NO_2 it is important to be aware that there is not a one-to-one correspondence between NO_x and NO_2 ; close to sources of pollution, concentrations of NO_x can be much higher than those of NO_2 . It is also important to note that the amount of available ozone in the background air sets a "ceiling", limiting the amount of NO_x that can be converted to NO_2 (the concept of a "ceiling" set by ozone applies for dispersion at a local scale, not for long-range transport).

As a point of reference a "Basic Run" was carried out, based on one specific set of input data. This Basic Run is discussed in details in the report; it yields a good impression of the contribution of pollution from cruise ships. Additional model runs were conducted to investigate the sensitivity of results to various assumptions. The following issues were explored:

- Assumptions concerning the rate of direct emission of NO_2 (as a fraction of the NO_x emission);
- Assumptions concerning background concentrations;
- The effect of choosing a different year for meteorological data and background data;
- Sensitivity to the spatial resolution of the calculations;
- The effect of a time shift of emission data in respect to meteorological data;
- The effect of receptor height;
- The effect of the temperature of the exhaust gas from the stacks.

In relation to nitrogen oxides, an EU directive (99/30/EC) sets a limit for NO_2 that is based on hourly concentrations. The hourly concentration of NO_2 is allowed to exceed a limit of $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no more than 18 times a year (this limit must be complied with in 2010).

Another limit value for NO_2 refers to the *annual average*, which must not exceed $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (from 2010).

Some main results from the Basic Run are presented in *Figur 2*. These results can be compared to the first limit value mentioned above. The map shows the 19th highest NO_2 concentration during one year concentrations, resulting from the combined effect of cruise ships and the urban background pollution in the city of Copenhagen. The background pollution is assumed constant throughout the area. The values in *Figur 2* are all in the interval between 98 and $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$; according to the limit they are required to be less than $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. If the cruise ships had not been present, *Figur 2* would have shown a constant value of $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$, corresponding to the contribution from the urban background pollution.

Concerning the *annual average concentration* of NO_2 , the Basic Run results in a level of around $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, almost unaffected by the presence of cruise ships. Their maximum contribution is $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at the location where the impact is greatest. These numbers should be compared to a limit value of $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



FIGUR 2 THE LEFT PANEL SHOWS A MAP, WHILE THE RIGHT SHOWS A CORRESPONDING SCHEMATIC "MAP" OF CONCENTRATIONS. THE TWO MAPS COVER THE SAME AREA (1800 M X 4800 M). EACH OF THE SMALL SQUARES ON THE RIGHT IS 200 X 200 M. THE WHITE RINGS ON THE SCHEMATIC MAP REPRESENT QUAYS. FOR EACH CALCULATION POINT (RECEPTOR) THE SCHEMATIC MAP SHOWS THE NINETEENTH HIGHEST HOURLY CONCENTRATION OF NO₂ DURING ONE YEAR, ACCORDING TO THE BASIC RUN. THE VALUES DISPLAYED SHOULD BE COMPARED TO THE LIMIT VALUE OF 200 µG/M³. PLEASE NOTE THAT THE SCALE IS LIMITED TO THE INTERVAL 98 TO 101 µG/M³. THROUGHOUT THE BLACK AREA THERE IS A CONSTANT VALUE OF 98 µG/M³, AND THIS VALUE REMAINS 98, IRRESPECTIVE OF WHETHER THE CRUISE SHIPS ARE PRESENT OR NOT.

A series of additional model runs have been conducted in order to investigate the effects of different assumptions in various respects. These analyses do not change the overall conclusions derived from the Basis Run: That the increase of NO₂ concentrations resulting from the presence of cruise ships is not by any means capable of increasing the level of NO₂ above the limit values, neither close to the ships nor far away from them.

The discussion above concerns nitrogen oxides. In addition to these calculations, contributions of SO₂ and PM₁₀ from the cruise ships have been evaluated. The computations reveal that the contribution to SO₂ concentrations is much larger than estimated in the previous study, but that concentration levels are far from alarming. For particles in terms of PM₁₀, the contribution from cruise ships is very small compared to EU limit values.

In summary, the present study provides an answer to many questions concerning pollution from cruise ships in harbour, most notably the following:

- Is the emission from cruise ships capable of increasing the 19th highest concentration value of NO₂? The answer is *Yes*, but only very little, and only in the immediate vicinity of the quays.
- Is the presence of cruise ships capable of increasing the 19th highest concentration above the level defined by the limit value? The answer is a clear *No*.
- Is the contribution from cruise ships to NO₂ pollution in terms of annual averages important? The answer is *No*.

1 Indledning

På foranledning af Miljøstyrelsen har Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) gennemført en undersøgelse af luftforureningen fra krydstogtskibe i Københavns Havn. Baggrunden for projektet er, at Institut for Miljøvurdering (IMV) i 2003 gennemførte nogle overslagsmæssige beregninger af bidraget til forureningsniveauet fra skibene i Københavns Havn (Boje et al., 2003; Saxe og Larsen 2003; Saxe og Larsen 2004). Disse beregninger viste, at det ikke kunne udelukkes, at emissionerne af NO_x fra krydstogtskibene udgør et væsentligt bidrag til luftforureningen i visse dele af København.

I foråret 2004 besluttede Copenhagen-Malmö Port, Københavns Havn, Miljøkontrollen i København og Miljøstyrelsen derfor i fællesskab at iværksætte mere detaljerede beregninger, udført af DMU og med Miljøstyrelsen som rekvirent; det er resultatet af disse mere detaljerede undersøgelser, som hermed foreligger.

I forhold til den tidligere undersøgelse gennemført af IMV er der tale om flere væsentlige ændringer i detaljeringsgraden:

- I den nye undersøgelse udføres beregninger eksplicit for NO_2 – ikke blot for NO_x . NO_2 er sundhedsskadeligt, og der foreligger grænseværdier for NO_2 . I forbindelse med beregningerne tages der hensyn til baggrundskoncentrationer af NO_x og NO_2 samt af ozon, som er afgørende for omdannelse af NO til NO_2 .
- I den tidligere undersøgelse blev der regnet som om al emission fra krydstogtskibe var samlet i eet punkt, og det blev i nogle sammenhænge antaget, at de emitterede over hele året. Alle krydstogtskibe antoges at have samme fysiske udformning og emissionsforhold. Nærværende undersøgelse er mere detaljeret i alle disse henseender. Her foretages beregninger på grundlag af de skibe, der faktisk anløb havnen i sæsonen 2004. Der benyttes oplysninger om skibenes placering ved kaj, deres opholdstid, og de bedst tilgængelige oplysninger om enkelte skibes emissioner og fysiske udformning (skorstenshøjde, bygningshøjde, røggastemperatur mv.).
- Den nye undersøgelse omfatter kun krydstogtskibe, mens den tidligere omfattede alle skibe i havnen.

Andre ændringer i forudsætningerne (receptorhøjde, se følsomhedsanalysen afsnit 6.6) var af mindre betydning.

Beregningerne er foretaget for NO_2 , partikler og svovldioxid, og kun for selve krydstogtskibene og ikke for den trafik på land skibene afstedkommer. Beregningerne er udført med den atmosfæriske spredningsmodel OML-Multi (version 5.03), der er udviklet ved Danmarks Miljøundersøgelser .

Data vedrørende skibenes emissioner er sammenstillet af FORCE Technology. I samarbejde med Copenhagen Malmö Port har Force udsendt et spørgeskema til rederierne for at indhente oplysninger om skibenes emissionsforhold. FORCE Technology's afrapportering af arbejdet med emissioner er medtaget som Bilag A til nærværende rapport.

Rapporten indholder følgende kapitler:

- *Baggrund.* Der gøres rede for nogle grundlæggende fakta om fysiske og kemiske forhold og om hvorledes tilstedeværelsen af ozon sætter et "loft" over koncentrationen af den sundhedsskadelige NO_2 . For at sætte de efterfølgende kapitler i perspektiv gives lidt baggrundsinfomation om forureningsniveauer i København. Endelig diskuteres nogle aspekter omkring emissionerne kortfattet.
- *Målestokke for "bidrag" til luftforurening.* "Bidrag" er ikke noget entydigt begreb, og afsnittet anskueliggør nogle faldgruber i den forbindelse.
- *Kapitlet Datagrundlag og forudsætninger* gør i hovedtræk rede for det datagrundlag og de forudsætninger, der benyttes efterfølgende. Kapitlet tjener som en introduktion til mere detaljerede diskussioner i de følgende kapitler.
- *Basisberegning.* Der er udført en "basisberegning" med OML-modellen baseret på een konkret kombination af data og forudsætninger. Basisberegningen udgør et fast holdepunkt, men dén alene giver ikke noget fyldestgørende billede af forholdene. Derfor uddybes en række problemstillinger i det følgende kapitel.
- *Kapitlet Supplerende beregninger og følsomhedsanalyse* belyser betydningen af at regne med andre forudsætninger end det er gjort i basisberegningen.. Afsnittet tjener til at udbygge det billede af forholdene, som basisberegningen giver. Eksempelvis bygger basisberegningen på een bestemt kombination af skibstrafik, baggrundsforurening og meteorologi(skibstrafik fra 2004, andre data fra 2003), mens der jo givetvis vil optræde andre kombinationer i fremtiden. Der er en lang række øvrige forhold, hvor man kunne anlægge andre forudsætninger end ved basisberegningen, og betydningen af disse belyses i kapitlet.
- *Konklusionen* opsummerer hovedkonklusioner.

2 Baggrund

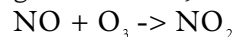
2.1 ADGANGEN TIL OZON SÆTTER ET LOFT FOR NO₂-KONCENTRATIONER

Nærværende undersøgelse tager sigte på at belyse krydstogtskibes bidrag til forurening med bl.a. NO₂. NO₂ er sundhedsskadeligt og der findes grænseværdier for NO₂.

NO_x er betegnelsen for summen af NO og NO₂, og NO kan omdannes til NO₂. Når man foretager beregninger, er det lettest at gøre for NO_x. Man får imidlertid kun et klart billede af forholdene ved at skelne mellem NO₂ og NO_x, sådan som det er gjort i den foreliggende undersøgelse.

Det vil være på sin plads at indlede med nogle generelle bemærkninger om sammenhængen mellem NO, NO₂ og ozon.

Udstødningsskiver fra forbrændingsmotorer indeholder en blanding af kvælstofoxider (NO_x); blandingen består hovedsagelig af NO, men er iblandet en mindre procentdel (5-10%) NO₂. Når udstødningsskiverne spredes, sker der hurtigt en reaktion, hvor ozon i luften reagerer med NO og danner NO₂:

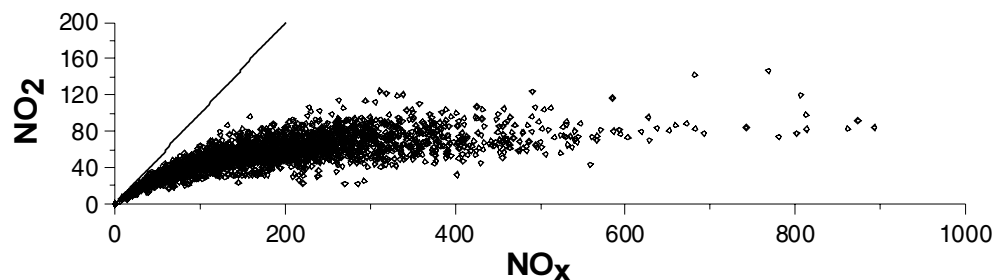


Reaktionen forudsætter at der er ozon til stede. Koncentrationen af ozon i omgivelserne er derfor afgørende for, hvor meget NO₂ der kan dannes. Under forhold, hvor der emitteres meget NO_x – f.eks. i trafikerede gader – vil ozonen blive "brugt op". Mængden af tilgængelig ozon sætter således et "loft" over, hvor store NO₂-koncentrationer man vil opleve. Dette fænomen fremgår tydeligt af måledata fra trafikerede gader. Et eksempel er vist i *Figur 3*, der afbilder sammenhængen mellem koncentrationer af NO₂ og NO_x målt på Jagtvej i København. Det fremgår af figuren, at store koncentrationer af NO_x ikke modsvares af tilsvarende store koncentrationer af NO₂. Årsagen er, at ozonen er "spist op".

Det er således en vigtig pointe, at man ikke kan antage, at alt NO_x foreligger som NO₂.

Hvis vi betragter forholdene i en røgfane fra et krydstogtskib i nogle hundrede meters afstand fra skibet vil NO₂-koncentrationen være lig summen af:

- Baggrundskoncentrationen, dvs. NO₂-koncentrationen i den omgivende luft, der blæser hen mod krydstogtskibet.



FIGUR 3 SAMMENHÆNG MELLEM MÅLTE KONCENTRATIONER AF NO₂ OG NO_x PÅ JAGTVEJ I KØBENHAVN FOR SAMTLIGE TIMER I ÅRET 1998. ENHEDEN ER µG/M³ (REGNET SOM NO₂). EN-TIL-EN LINJEN ER INDETEGNET.

- Et bidrag, der skyldes den NO_2 der direkte emitteres som NO_2 fra motoren.
- Et bidrag af NO_2 , der er dannet fra NO ved reaktion med ozon.

Det er vigtigt at gøre sig klart at ozon godt kan "bruges op" i røgfanen, uanset at der til stadighed ankommer "ny" luft med frisk ozon til krydstogtskibet. Appendix E gengiver en serie overheads, der forenklet illustrerer processen.

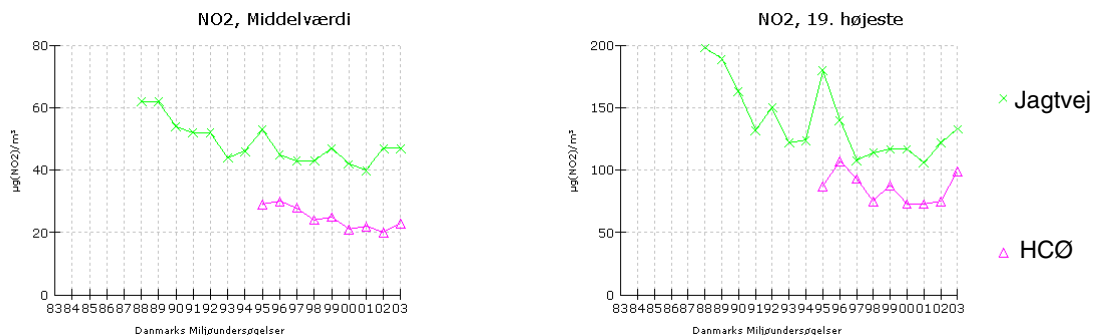
Ved beregningerne i undersøgelsen benyttes den atmosfæriske spredningsmodel OML-Multi (version 5.03), der er udarbejdet ved Danmarks Miljøundersøgelser, og som bl.a. benyttes i forbindelse med Miljøstyrelsens Luftvejledning (Miljøstyrelsen, 2001). OML-modellen indeholder en facilitet, der inddrager kemi, og som tillader beregning af NO_2 ud fra information om baggrundskoncentrationer af NO_x , NO_2 og ozon. Antagelserne om baggrundskoncentrationer er uddybet i Kapitel 4.

2.2 NIVEAUER AF NO_2 -KONCENTRATIONER

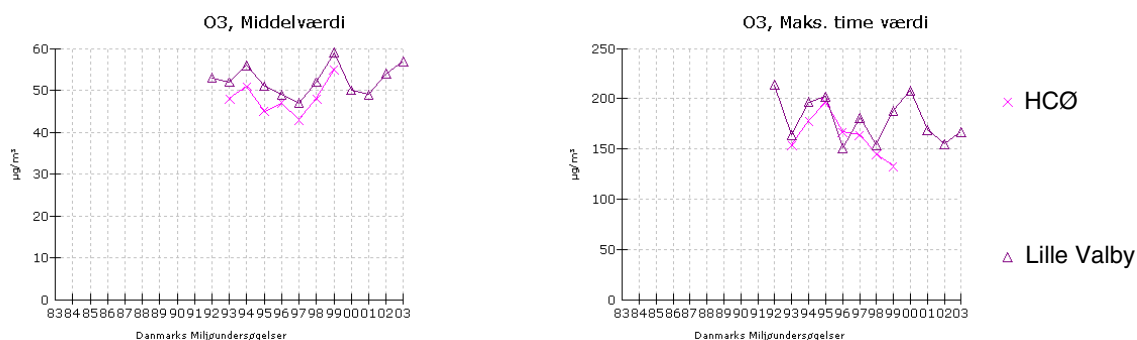
For at sætte beregningsresultaterne i perspektiv gengives her figurer, som viser hvordan koncentrationen af NO_2 har udviklet sig i årenes løb to steder i København: På Jagtvej, der er en gade underlagt stor indflydelse fra trafikforurening, og på taget af HC Ørsted Institutet, der repræsenterer den baggrundsforurening, man oplever i København.

Der er dels vist middelværdien, hvor en grænseværdi på $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ skal være overholdt fra 2010, og dels den 19. højeste timemiddelværdi, hvor grænseværdien er på $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (fra 2010). Det ses at grænseværdien for middelværdien er overskredet på Jagtvej. Andre undersøgelser viser, at der er problemer med at overholde denne grænseværdi for en del andre trafikerede gader. Grænseværdien for den 19. højeste timeværdi er derimod overholdt.

Som før nævnt sætter adgangen til ozon et loft for omdannelsen af NO til NO_2 . Det er derfor også af interesse at kende niveauerne for ozon-koncentrationer (i baggrundsluften). I året 2003 der benyttes til basisberegningen er middelværdien af ozon relativt høj (Figur 5).



FIGUR 4 JAGTVEJ ER EN TRAFIKERET GADE; HCØ HENVISER TIL HC ØRSTED INSTITUTTET (BY-BAGGRUND).



FIGUR 5 NIVEAU AF OZON IGennem EN ÅRRÆKKE. DELS I BY-BAGGRUNDEN (HC ØRSTED INSTITUTTET), DELS I DEN LANDLIGE BAGGRUND (LILLE VALBY NORD FOR ROSKILDE).

2.3 KRYDSTOGTSKIBENES EMISSIONER SAT I PERSPEKTIV

I det følgende kapitel og i Bilag A gøres der nøjere rede for emissionsdata. Her skal blot gøres nogle generelle bemærkninger for at sætte tingene i perspektiv.

I henhold til opgørelsen udgør krydstogtskibenes emission af NO_x 145 tons¹ på årsbasis for samtlige krydstogtskibe. Der var tale om 62 skibe med i alt 259 anløb, hver med en gennemsnitlig varighed på 14 timer. Tallet på 145 ton kan sættes i perspektiv ved at sammenligne det med emissionen fra andre kilder:

- Krydstogtskibene: 145 ton/år.
- Samtlige skibe i Københavns havn: ca. 600 ton/år².
- NO_x -emissionen fra Amagerværket i 2003: ca. 2500 ton³.
- NO_x -emissionen fra al trafik i hovedstadsområdet er ca. 30.000 ton/år⁴.
- Emissionen fra international skibstrafik i Øresund er ca. 67.000 ton/år⁵.

Mængdemæssigt syner NO_x -emissionen fra krydstogtskibene altså ikke af voldsomt meget. Skibenes placering centralt i København gør det dog relevant at undersøge om der er lokale problemer.

2.4 BEMÆRKELSVÆRDIG SO_2 -EMISSION

I forhold til resultaterne af den tidligere undersøgelse (Wisman og Oxbøl, 2002) er der en meget væsentlig ændring af SO_2 -emissionen. I den tidligere opgørelse var svovlprocenten i krydstogtskibenes brændsel anslået til 0,05%, hvilket førte til, at den beregnede SO_2 -emission fra krydstogtskibene var 1,79 ton på årsbasis. I henhold til den aktuelle opgørelse som bygger på besvarelser af et spørgeskema (Bilag B) ligger de faktiske svovlprocenter mellem 0,19 og 3,2%. SO_2 -emissionen er som konsekvens heraf (og p.gr. mere trafik) øget med en faktor 49 (!) til 88 ton på årsbasis.

Det hører dog med til billedet, at der på internationalt plan er vedtaget krav som sætter en grænse på 1,5% svovl i brændslet ved sejlads i Nord- og Østersøen, og på længere sigt (2010) på 0,1% for skibe i havn.

¹ Hvad angår enhed for NO_x -emission: se afsnit 4.3

² Tal fra Boje et al. (2003), korrigeret med tal for krydstogtskibene fra Bilag A.

³ Energi E2, 2004

⁴ DMU's estimater af emissioner fra trafik.

⁵ Opsis, 2004.

3 Målestokke for "bidrag" til luftforurening

Både i daglig tale og her i rapporten benyttes begrebet "bidrag" til luftforurening. Der er imidlertid ikke tale om et entydigt, veldefineret begreb.

Der findes mange forskellige måder at opgøre en kildes bidrag til luftforurening på, og vi har her i rapporten søgt at belyse spørgsmålet relativt alsidigt ved at tage udgangspunkt i adskillige forskellige "målestokke".

Dette afsnit har primært til formål at advare mod nogle faldgruber, man nemt kan blive offer for, når man diskuterer "bidrag". Afsnittet inkluderer imidlertid også en diskussion af, hvordan man i det hele taget skal definere "bidrag".

De nævnte faldgruber har to hovedårsager:

- Den ene optræder, når man diskuterer bidrag og som målestok bruger en grænseværdi, som er *baseret på fraktilværdier*⁶, sådan som vi gør her i rapporten. Man kan *ikke* lægge fraktilværdier sammen. Eksempelvis er det er en fejlslutning at sige, at kilde A giver et bidrag på 50 % af grænseværdien og kilde B et bidrag på 50%, ergo bruger de tilsammen kvoten.
- Den anden faldgrube er aktuel, hvis man har et stof, der vekselvirker med andre stoffer. Et eksempel er NO₂. I sine betragtninger må man *antage et eller andet* om koncentrationen af ozon og af andre stoffer, og man må være særdeles bevidst om disse antagelser for at undgå fejlslutninger.

De ovenstående betragtninger kræver nok nogen uddybning. I den forbindelse skal det tydeliggøres, hvordan man skal forstå ordet "bidrag". En nærliggende definition er følgende:

En kildes bidrag bestemmes ved at sammenligne en situation, hvor kilden er til stede, med en situation, hvor kilden ikke er til stede.

Denne definition er udmærket, men langtfra entydig. Den efterlader følgende spørgsmål:

- *Hvilken situation skal være vort udgangspunkt?*
Det vil være rimeligt at svare "Virkeligheden i dag" (eller en eller anden approksimation til virkeligheden) – men man kan f.eks. også vælge at lade sin udgangssituation være en jomfruelig, uforurennet verden. I det meste af rapporten har vi ladet udgangspunktet være en approksimation til virkeligheden, nemlig en situation, hvor vi har byens baggrundsforurening som udgangspunkt, men vi har også forsøgt os med andre varianter.
- *Hvilken parameter vil vi bruge som målestok?*
Nogle mulige valg er årsmiddelværdien eller en parameter, der er relateret

⁶ Et eksempel på en fraktilværdi er: *Den 19. højeste koncentration blandt alle årets timemiddelværdier.*

til grænseværdien. F.eks. betragter vi for NO₂ både årsmiddelværdien og den 19. højeste timeværdi.

- *Hvordan skal vi foretage sammenligningen mellem scenarierne med og uden kilden?*

Her i rapporten vises typisk et kort for scenariet *med* krydstogtskibe. Det er underforstået – og det siges lejlighedsvis eksplicit – at scenariet med krydstogtskibene skal sammenlignes med et udgangsscenario, der kun omfatter baggrundsforureningen.

For nogle kombinationer af stoffer og parametre består der ingen fare for at nogen af de to ovennævnte faldgruber vil genere.

Det gælder f.eks. *årsmiddelværdier* for *partikler*. Årsmiddelværdien er simpel at håndtere, og partikler vekselvirker ikke nævneværdigt med andre stoffer inden for de tidsrum, som vi her beskæftiger os med. I dette tilfælde kan man i et givet geografisk punkt uden problemer addere og subtrahere en kildes bidrag til bidraget fra de øvrige kilder. Man får samme resultat for krydstogtskibes bidrag, uanset om man regner som om krydstogtskibene er alene i verden, eller om man tager samtlige andre kilder med i betragtning.

Men her i rapporten beskæftiger vi os i høj grad med fraktilværdier for NO₂, og det giver en del muligheder for misforståelser. Man kan *ikke* addere og subtrahere fraktilværdier. Ydermere er det sådan, at NO₂ indgår i kemiske omdannelsesprocesser, og derfor får man forskellige resultater, alt afhængigt af, hvilke forudsætninger man anlægger om den baggrundsforurening, der danner udgangspunkt for betragtningerne.

For NO₂ gælder det, at jo mere jomfruelige forudsætninger, vi anlægger, desto større syner en ekstra kildes betydning. Der er imidlertid ingen rimelighed i at anlægge alt for jomfruelige forudsætninger, hvis vores diskussion af bidrag skal beskrive virkeligheden. Vi har her i rapporten belyst spørgsmålet om forudsætninger ved at prøve at bruge flere forskellige. Eksempelvis har vi i eet sæt følsomhedsanalyser antaget, at den luftmasse, krydstogtskibene befinder sig i, er magen til den, der forekommer ude på landet ved målestationen ved Lille Valby (6 km nord for Roskilde). I forbindelse med "basisberegningen" antager vi, at luftmassen svarer til den, der befinder sig over København.

4 Datagrundlag og forudsætninger

4.1 EMISSIONER

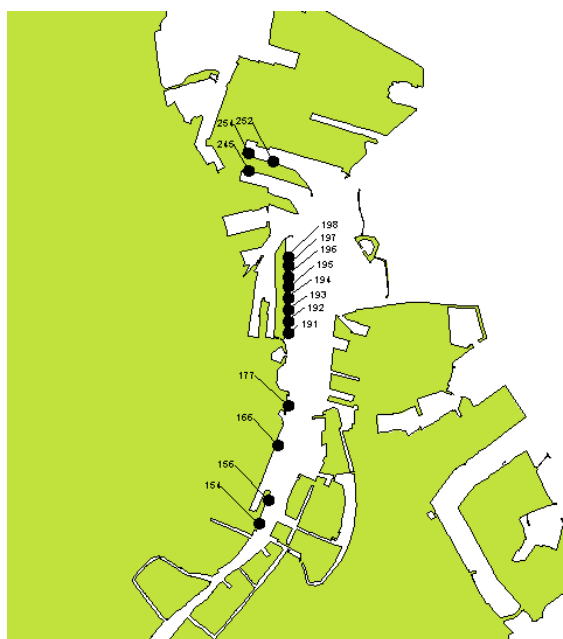
Bilag A er rapporten "Emissioner fra krydstogtskibe i Københavns Havn. Metoder og antagelser" fra FORCE Technology. De emissionsdata, der benyttes ved beregningerne fremgår i hovedsagen af bilag C (baseret på et bilag fra FORCE Technology's rapport) samt bilag D, der er en liste over krydstogtskibes anløb i sæsonen 2004. Den oprindelige liste over anløb stammer fra Copenhagen Malmö Port, mens FORCE Technology har indarbejdet nogle opdaterede oplysninger, så listen senest er revideret i starten af oktober 2004.

Der er tale om 259 anløb af 62 forskellige skibe, fordelt på 15 kajpladser (*Figur 6*). Den gennemsnitlige varighed af et ophold var 14 timer. Der var 115 kombinationer af skib og kajplads, og i relation til OML-beregninger har det svarende hertil været hensigtsmæssigt at arbejde med 115 kilder. Eksempelvis er kombinationen af skibet Adriana og kajplads 117 en kilde, mens Adriana og kajplads 195 er en anden. Der var i alt emission i 2151 timer (ca. 25% af årets timer). I nogle timer skete emissionen fra mere end eet skib.

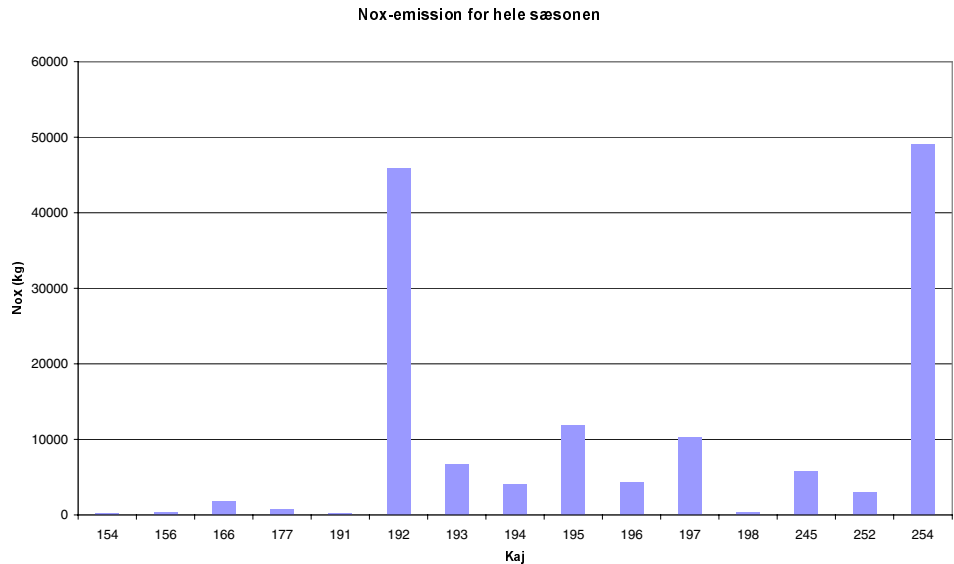
Figur 7 - Figur 11 viser forskellige interessante informationer, der kan udledes af disse data.

Figur 7 viser hvordan NO_x -emissionen er fordelt på kajpladser. Der er interessant, at ud af den samlede NO_x -emission på 145 ton foregår 45 ton på en kajplads (192 ved Langelinjekajen), og 49 ton på en anden (254 ved Orientkajen).

Emissionsraten for NO_x for de enkelte skibe fremgår af *Figur 8* – dog er der kun vist data for de 25 skibe (ud af 62) der har størst emission.



FIGUR 6 KAJPLADSER HVOR DER I 2004 ANLØB KRYDSTOGTSKIBE.

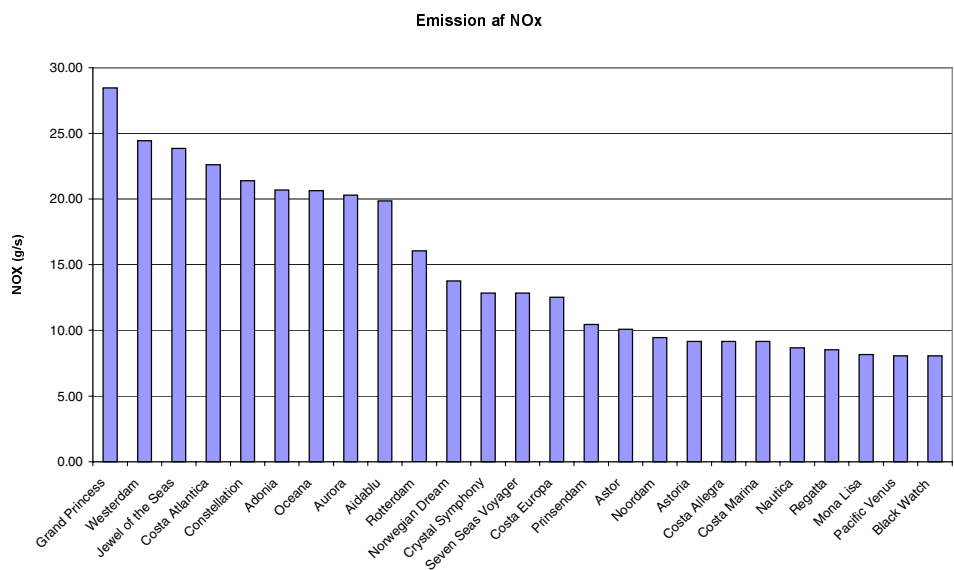


FIGUR 7 FORDELING AF SÆSONENS NOX-EMISSION PÅ DE 15 KAJPLADSER.

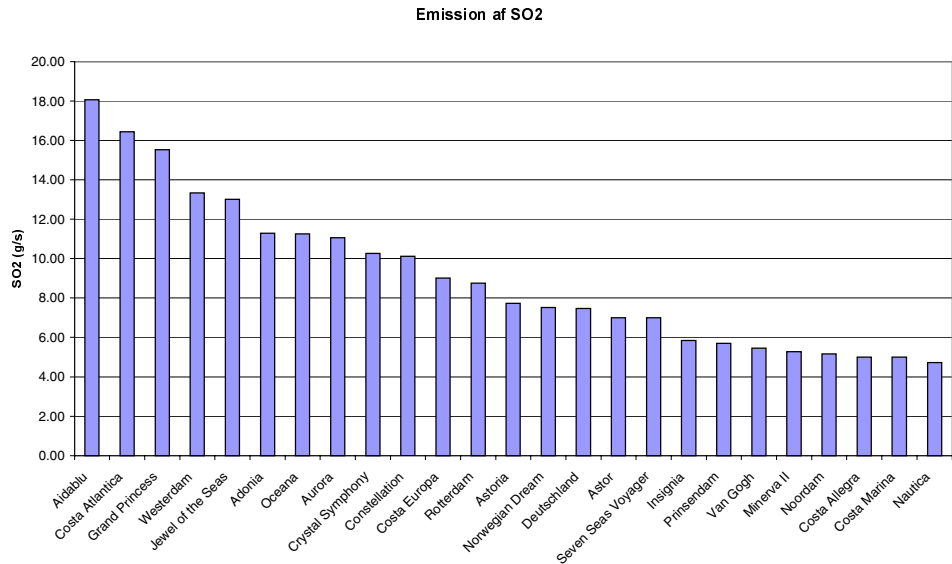
Emissionsraten for SO_2 fremgår af Figur 9.

Det har ganske stor betydning for beregningsresultaterne, at der ikke findes eet skib som emitterer konstant, men derimod et varierende antal skibe med variende emissioner. Figur 10 viser antallet af krydstogtskibe, der lå ved kaj samtidig. Den 23. juni optrådte det maksimale antal skibe: 6.

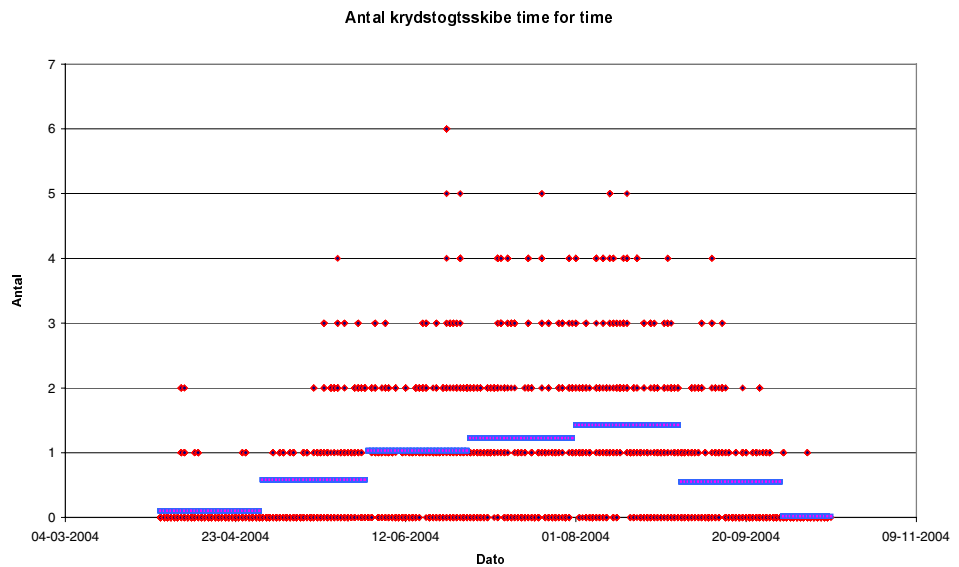
NO_x -emissionen time for time fremgår af Figur 11. Lejlighedsvis var der væsentligt større emission end de 13,2 g/s, som der blev regnet med i den tidligere undersøgelse. Som det vil fremgå af de følgende kapitler slår det imidlertid ikke igennem i voldsomt store NO_2 -koncentrationer – dels er emissionen fordelt over adskillige kajpladser, når den er rigtig stor, dels foregår stor emission kun i en lille del af årets timer, og endelig har effekten af atmosfærekemi og baggrundskoncentrationer en dæmpende virkning, når man skal "oversætte" NO_x -emissioner til koncentrationer af NO_2 .



FIGUR 8 EMISSIONSRATE FOR NOX FOR DE 25 SKIBE MED DEN STØRSTE EMISSION.



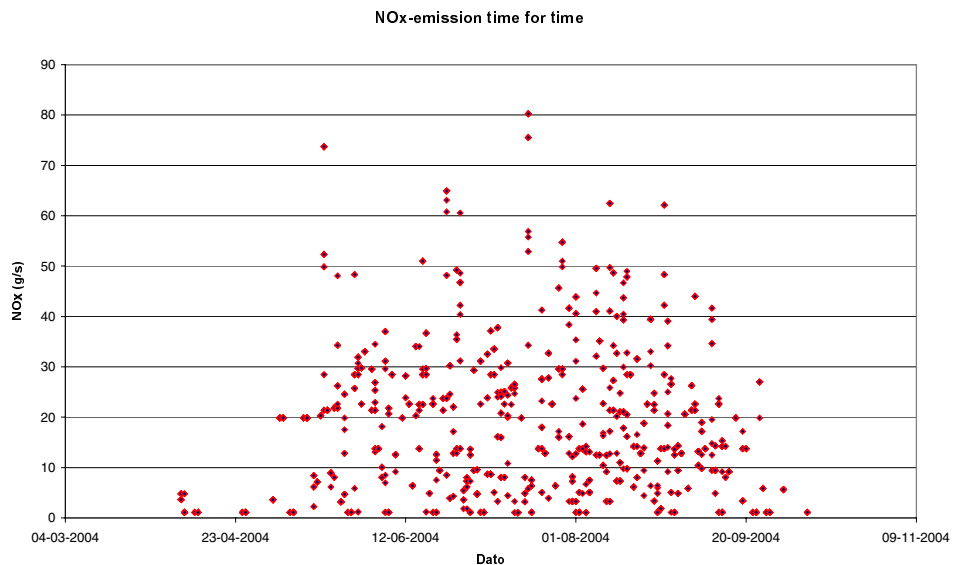
FIGUR 9 EMISSIONSRATE FOR SO₂ FOR DE 25 SKIBE MED DEN STØRSTE EMISSION.



FIGUR 10 PRIKKERNE VISER ANTAL KRYDSTOGTSKIBE TIME FOR TIME. DESUDEN ER INDTEGNET 7 VANDRETTE LINJER, EEN FOR HVER AF MÅNEDERNE APRIL-OCTOBER. DISSE VISER DET GENNEMSNITLIGE ANTAL SKIBE VED KAJ EN TILFÆLDIG TIME I DEN PÅGÆLDENDE MÅNED. EKSEMPELVIS VAR DER I GENNEMSNIT FLEST SKIBE I AUGUST, NEMLIG 1,43 SOM GENNEMSNIT.

4.2 KONVERTERING TIL PM₁₀

Forurening med partikler holdes op imod en grænseværdi for PM₁₀, dvs. partikler med en diameter på under 10 µ. De emissionsdata, der foreligger gælder partikler i almindelighed (TSP). Vi har konverteret emissionerne af partikler til emission af PM₁₀ ved at gange emissionerne med faktoren 0,75.



FIGUR 11 NOX-EMISSIONEN FOR SAMTLIGE KRYDSTOGTSKIBE TIME FOR TIME.

4.3 ANDEL DIREKTE EMITTERET SOM NO₂

FORCE Technology har leveret emissionsdata for NO_x i g/s.

NO_x er summen af NO og NO₂. Det er af væsentlig betydning, hvordan fordelingen mellem disse to stoffer er, når røggassen forlader skorstenen. Det er almindeligt for forbrændingsmotorer at 5-10% emitteres direkte som NO₂. Det har ikke ligget inden for rammerne af nærværende undersøgelse at udføre noget nærmere studie af, hvor stor den direkte emission er for de motorer, skibene benytter. Vi har derfor udført beregninger under 4 forskellige forudsætninger. I basis-beregningen er der regnet med en direkte emission på 10%, mens kapitlet med følsomhedsanalyser beskriver konsekvenserne af at regne med 5, 15 og 20%.

Hvad angår enheden for NO_x-emission er det kutyme at værdien angives i f.eks. g/s, regnet som om der var tale om NO₂. Dette gør omregning mellem ppb og µg/m³ simpel, idet man blot kan benytte fast faktor (1.88) uden at man behøver at kende sammensætningen af NO_x. I samråd med FORCE Technology er vi gået ud fra, at denne enhed er benyttet i de emissionsdata, Force har leveret; Force har dog ikke kunnet få verificeret med 100% sikkerhed, at dette faktisk er tilfældet.

4.4 RØGRENSNINGSUDSTYR

Beregningerne er udført på baggrund af de data, der er indsamlet fra rederierne, jvnf. Bilag A. Det har overrasket, at ingen af rederierne har angivet at de har brugt røgrensningsudstyr, selv om det vides at være installeret på ihvertfald nogle skibe. Spørgsmålet er ikke undersøgt nærmere, men grundlaget for nærværende beregninger er således, at der *ikke* er benyttet røgrensningsudstyr.

4.5 OML-MODELLEN

Ved beregningerne er OML-modellen benyttet (OML-Multi 5.03). OML står for "Operationelle Meteorologiske Luftkvalitetsmodeller", og modellen er udviklet af Danmarks Miljøundersøgelser (DMU).

OML-modellen er en atmosfærisk spredningsmodel, der bl.a. bruges i forbindelse med Miljøstyrelsens Luftvejledning (Miljøstyrelsen, 2001). Modellen bruges især til at beregne forureningen fra industri og til at vurdere om den såkaldte B-værdi overholdes. Modellen har også været anvendt til beregning af bybaggrundsbidrag fra trafik, boligopvarmning og industrikilder i forbindelse med kortlægning af luftkvalitet i byområder. Modellen er tidsseriemodel, der time for time beregner koncentrationer. I modellen antages det, at røgfanen udbreder sig i henhold til en gaussisk fordeling. Den grundlæggende midlingstid i modellen er 1 time.

Modellen benytter som input oplysninger om meteorologi, emissioner, skibenes fysiske udformning og terrænforhold. Når modellen – som her – benyttes til beregning for NO_2 kræver den desuden oplysninger om baggrundsnivauer af NO_x , NO_2 og ozon. Information om ozon er nødvendig, fordi ozon-niveauet sætter et loft over, hvor meget NO_x , der kan omdannes til NO_2 .

Det grundlæggende resultat af modelberegningerne er koncentrationer for hver time, beregnet i de punkter, brugeren udpeger. På grundlag heraf kan modellen beregne nogle statistiske størrelser – f.eks. den 19. højeste timemiddelværdi inden for et år, der er relevant i forbindelse med grænseværdier for NO_2 .

Som tidligere nævnt udgør hver kombination af skib og kajplads en kilde, og der bliver med denne fremgangsmåde 115 kilder.

Den benyttede modelversion er grundlæggende set en standardversion af OML-Multi version 5.03; dog er der foretaget en lille ændring i håndteringen af input for bekvemt at kunne arbejde med de 115 kilder, der i en given time kan være "tændt" eller "slukket". Den benyttede version af modellen kan således arbejde med en input-fil med "tænd/slut-kontakter" for de 115 kilder. For hver time i årets løb er der 115 "kontakter" (dvs. tal: 0 eller 1) som angiver om kilden emitterer. Tænd/sluk-filen er ved basisberegningen tilrettelagt, så den præcis stemmer overens med listen over anløb i år 2004, men årstallet er sat til samme år som basisberegningen (2003).

I forbindelse med følsomhedsanalyserne er der udført beregninger med en tidsforskydning af skibenes anløb.

4.5.1 Fysiske data for kilderne

De fysiske data for skibene er som hovedregel, således som FORCE Technology har leveret dem. Det er værd at bemærke, at røggastemperaturen er ret høj (200 eller 250 °C). Røggashastigheden er generelt sat til knap 30 m/s, hvilket i henhold til Force's oplysninger er en realistisk hastighed. En parameter, der har markant betydning for koncentrationerne helt tæt ved en kilde, er hvor stor bygningshøjden er i forhold til skorstenshøjden ("bygningen" er her skibsbygningen). For alle skibe på nær tre har Force angivet at bygningshøjden var mindre end skorstenshøjden. En revurdering af de 3 skibe ud fra fotos har ført til, at for to skibes vedkommende (Andrea og

Endeavour) er bygningshøjden sat ned til 80% af skorstenshøjden, mens bygningshøjden for Lili Marlene (et sejlskib med et vandret røgrør ud fra skroget) er bibeholdt som 100% af skorstenshøjden.

FORCE Technology har ansat en ydre diameter for hver skorsten. Den ydre diameter af en skorsten har generelt betydning for om der kan optræde "skorstensnedsug": at der ved kraftig vind opstår undertryk på skorstenens læside, hvilket trækker røgfanen ned. Med de konkrete data er den ydre diameter imidlertid uden betydning. Skorstensnedsug kan nemlig kun forekomme når $w_s/u < 1.5$, hvor w_s er (den lodrette) røggashastighed og u vindhastigheden. Eftersom w_s er ca. 30 m/s skal vindhastigheden være mindst 20 m/s for at effekten indtræder. Da denne situation meget sjældent forekommer, er den ydre skorstensdiameter uden betydning for de foreliggende beregninger.

Bilag A beskriver i flere detaljer hvorledes data er fastlagt. Spørgeskemaet vedr. skibenes data blev besvaret for 24 skibes vedkommende (se bilag C), mens data for resten har måttet estimeres så godt som muligt.

4.5.2 Receptornet

OML-modellen foretager for hver time beregning af koncentrationer i et net af beregningspunkter (receptorer). Receptornettet er konstrueret som et gitter af kvadrater. Ved basisberegningen benyttes et net med en gitterstørrelse på 200 x 200 meter, hvor nettet samlet set er 1800 m (øst-vest) gange 4800 meter (nord-syd). Centrum for nettet er defineret som punktet 726000, 6178000 (UTM-koordinater)

Terrænet antages at være fladt med en ruhedsparameter på 0,3 m (repræsentativ for by) og en receptorhøjde på 1,5 m.

4.6 METEOROLOGISKE DATA

Som grundlag for basisberegningen har vi benyttet meteorologiske data for året 2003. Beregningerne er gennemført, som om der i 2003 ankom præcis de samme krydstogtskibe, som faktisk anløb i 2004.

Det meteorologiske datasæt til basisberegningen er udarbejdet på grundlag af målte data fra 2003 for temperatur, vind, fugtighed og globalstråling fra HC Ørsted Institutet, kombineret med data for skydække og snedække ved Kastrup. Ud over disse data er der også benyttet radiosondedata fra DMI's målestation ved Jægersborg. En radiosonde er en ballon, der to gange i døgnet sendes op igennem atmosfæren for at måle tryk og temperatur mv. Oplysningerne fra radiosonden er væsentlige for at kunne fastlægge atmosfærens blandingshøjde. Blandingshøjden er groft sagt den højde, hvortil forureningen kan blandes op.

På grundlag af alle de ovennævnte data er der ved hjælp af OML-modellens meteorologiske preprocessor (Olesen og Brown, 1992) dannet et meteorologisk datasæt til OML-modellen.

I forbindelse med følsomhedsanalyserne har der været benyttet meteorologiske data fra 1999.

4.7 BAGGRUNDSKONCENTRATIONER

Når man som i den foreliggende undersøgelse skal tage hensyn til kemiske reaktioner mellem NO_x , NO_2 og O_3 , så er det nødvendigt at inddrage

baggrundskoncentrationer i beregningerne. Baggrundskoncentrationer er det generelle bidrag fra kilder, der ikke er medtaget direkte i beregningerne for de undersøgte kilder.

De koncentrationsniveauer, der optræder i baggrundsluften, har vi kendskab til fra en baggrundsmålestation. Til vor rådighed har vi baggrundsdata, der repræsenterer to forskellige typer luftmasser:

1. En målestation ved Lille Valby på landet 6 km nord for Roskilde. Den repræsenterer regional baggrund.
2. En målestation på taget af HC Ørsted Institut (HCØ). Den repræsenterer bybaggrund.

Vi har som udgangspunkt valgt at lægge data fra HCØ til grund for basisberegningerne. De beregninger vi foretager, tager ikke i detaljer hensyn til den omstændighed at andre kilder (f.eks. trafik og færges i havn) giver et forureningsbidrag. Imidlertid opnår vi ved at benytte data fra HCØ et godt billede af niveauet, fordi NO₂-data fra HCØ netop inkluderer kilder i byen.

Der er det problem ved at bruge data fra HCØ, at målingen af ozon i en lang periode har været ramt af tekniske problemer, så der først foreligger pålidelige data fra 1. juli 2003. Derfor er det ikke helt korrekt, når vi taler om at benytte data fra HCØ. I forbindelse med basisberegningen har vi valgt konsekvent at benytte ozondata fra Lille Valby. Konsekvensen af at gøre dette må formodes at være, at man i et vist omfang overvurderer den omdannelse af NO til NO₂, der finder sted – dvs. at krydstogtskibenes beregnede bidrag til NO₂-forurening bliver større end det reelt er. For at vurdere effekten af denne overvurdering har vi i en følsomhedsanalyse benyttet et alternativt datasæt, hvor de tilgængelige ozon-data fra HCØ fra andet halvår af 2003 er inddraget. I andre følsomhedsanalyser har vi benyttet baggrundsdata, der alle er fra Lille Valby, og vi har endvidere lavet beregninger, hvor samtlige data er fra 1999.

5 Basisberegning

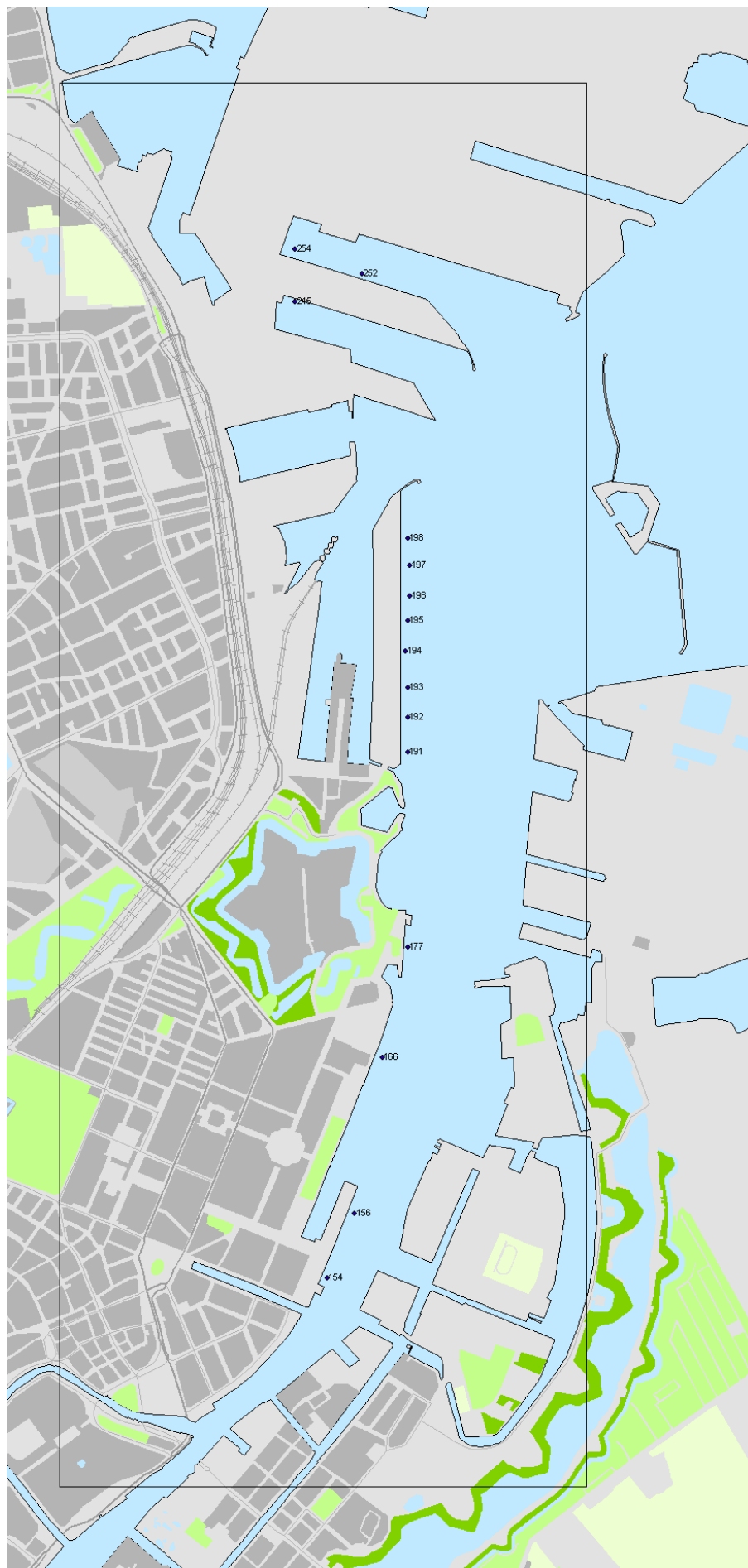
Der er udført en "basisberegning" med OML-modellen baseret på een konkret kombination af data og forudsætninger. Basisberegningen alene giver ikke noget fyldestgørende billede af forholdene, så en række problemstillinger vil blive uddybet i det følgende kapitel. Imidlertid giver basisberegningen et praktisk udgangspunkt. I kapitlet her præsenteres og forklares resultater af basisberegningen.

Basisberegningen er udført med følgende forudsætninger:

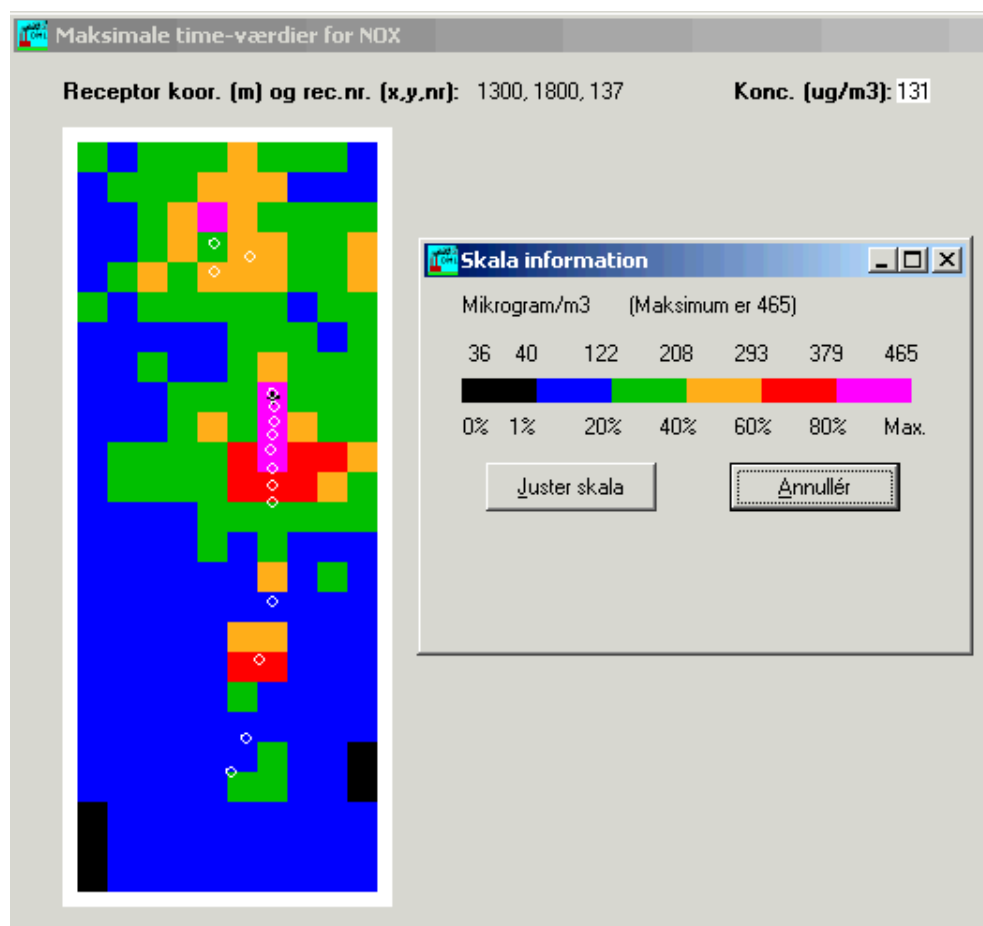
- De meteorologiske data er i hovedsagen baseret på målte data fra HC Ørsted Institut for året 2003, som beskrevet i foregående kapitel.
- Baggrundsdata er fra HCØ (2003), dog er ozondata taget fra Lille Valby.
- Skibsemissionerne og skibenes fysiske data er baseret på data fra FORCE Technology, som beskrevet i foregående kapitel.
- Andelen af direkte emitteret NO_2 er sat til 10%.
- Receptornettet er et net med kvadrater på 200 x 200 meter, som beskrevet i foregående kapitel. Udstrækningen af nettet er 1800 m x 4800 m.

Det område, der er dækket af receptornettet, er markeret med en ramme på kortet *Figur 12*.

Resultatet af denne og de efterfølgende beregninger er vist på figurer i stil med *Figur 13*. Figuren skal opfattes som et kort over receptornettet; hvert kvadrat repræsenterer et beregningspunkt. Kilderne (kajpladserne) er markeret med hvide cirkler.



FIGUR 12 RAMMEN VISER DET OMRÅDE, RECEPTORNETTET DÆKKER.



FIGUR 13 DENNE FIGUR ER ET KORTUDSNIT, DER SVARER TIL RAMMEN I FIGUR 12. DE ENKELTE FIRKANTER ER 200 X 200 M. FARVEN I FELTERNE ANGIVER STØRRELSEN AF KONCENTRATIONER. FIGUREN VISER RESULTATER FRA EN BEREKNING, HVOR DER IKKE ER TAGET HENSYN TIL BAGGRUNDSFORURENING OG KEMI – DET ER SÅLEDES IKKE EN EGENLIG "BASISBEREGNING". YDERLIGERE DISKUSSION I TEKSTEN.

5.1 BASISBEREGNING FOR NO_x

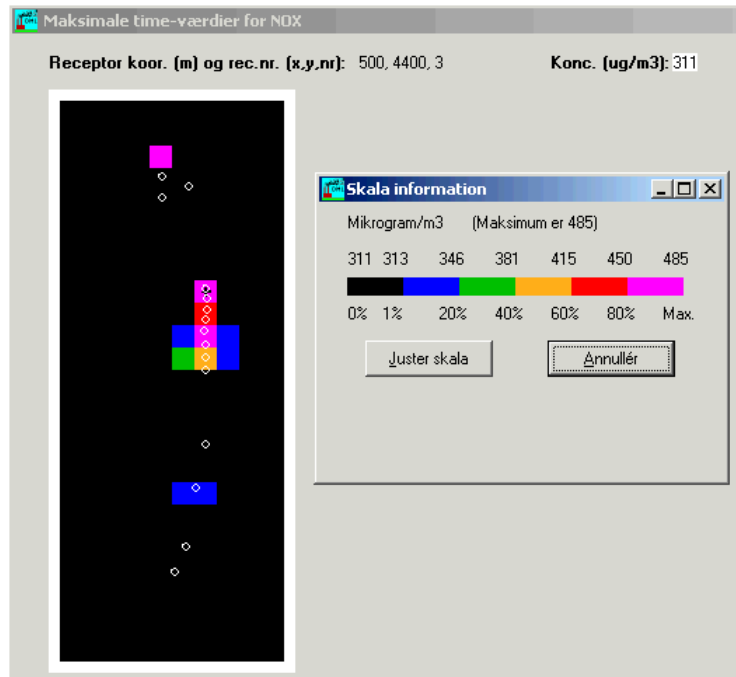
Figur 13 er ment som en optakt til diskussionen af basisberegningen; den viser således ikke et resultat fra den egentlige basisberegning, men derimod fra en beregning, hvor der ikke er taget hensyn til baggrundskoncentrationer og kemi – krydstogtskibene er "alene i verden". Figuren er medtaget, fordi den overskueligt indikerer, hvor man skal søge efter eventuelle problemer.

Man skal først gøre sig klart, at figuren er baseret på et års data og viser *maksimalt timeværdier* af NO_x: I hvert eneste beregningspunkt har vi plukket den største koncentration, der indtræffer på noget tidspunkt i årets løb og ladet den bestemme farven i det tilsvarende felt på kortet. Det ses, at de største koncentrationer optræder i tre områder (Orientbassinet, Langelinie og Larsens plads) ganske tæt ved kajpladserne.

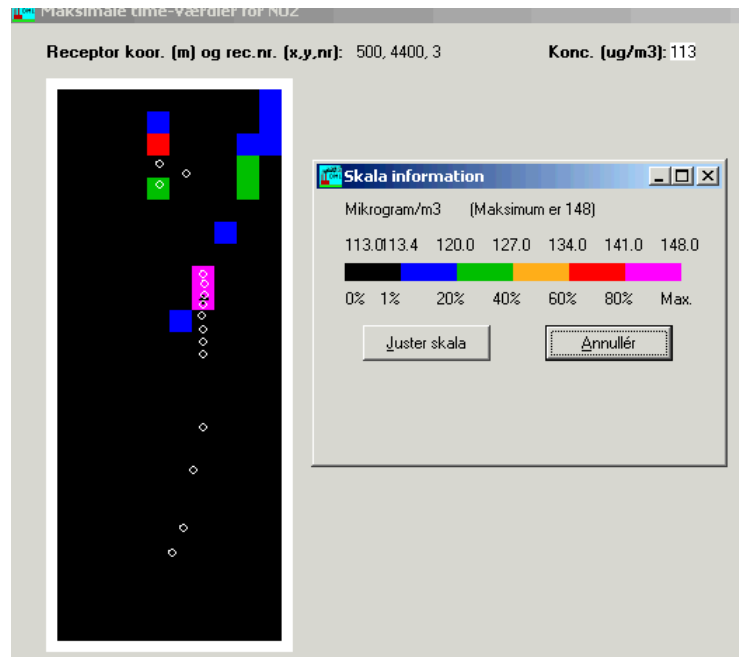
Den største koncentration er 465 µg/m³ i området ved Langelinie, og lidt mindre de to andre steder. Bemærk at tallet angår NO_x og derfor ikke kan sammenlignes med grænseværdier for NO₂. Der er et kryds i punktet med den største koncentration (kaldet "Punkt 87").

De følgende figurer viser resultater fra en egentlig basisberegning, hvor der tages hensyn til baggrundskoncentrationer og kemiske reaktioner.

Figur 14 viser maksimale timeværdier for NO_x , og svarer altså til den foregående figur, blot i dette tilfælde med hensyntagen til baggrundsforureningen. Bemærk at et stort område på kortet er sort. Det skyldes, at de beregnede maksimale timeværdier for NO_x i det sorte område intet har med krydstogtskibene at gøre, men er forårsaget af baggrundsforurening. Værdien i det sorte område er $311 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Koncentrationen i det punkt, hvor skibsemissionerne alene giver den højeste værdi på $465 \mu\text{g}/\text{m}^3$ får nu en værdi på $485 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dette viser, at baggrundsbidraget for den ene time, hvor maksimum indtraf, blot var $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dette illustrerer, at maksimale værdier fra baggrund og bidrag fra kildeemissioner ikke kan adderes!

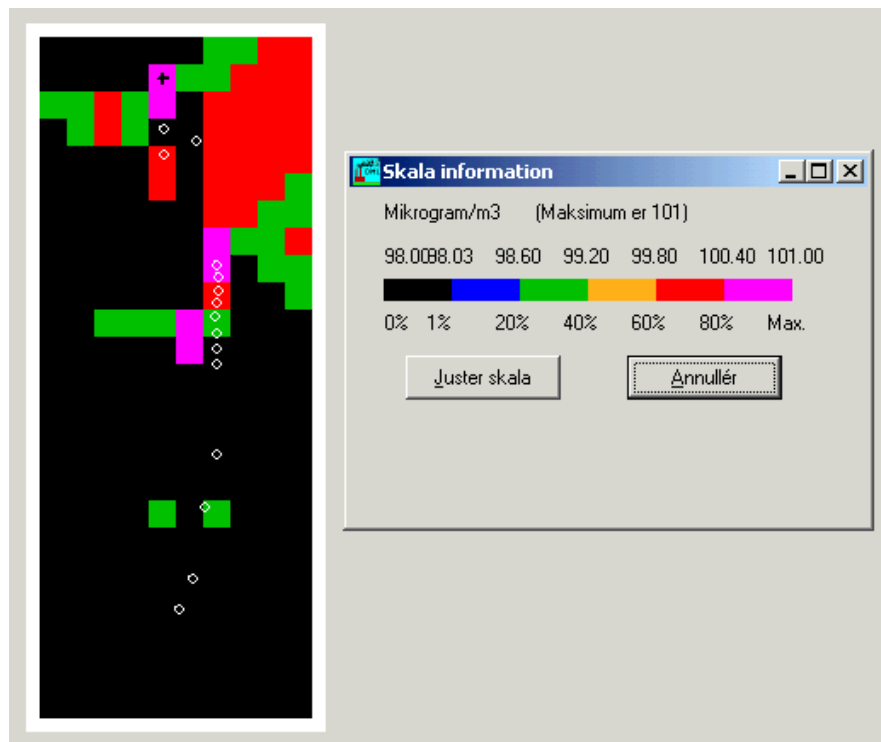


FIGUR 14 MAKSIMALE TIMEVÆRDIER FOR NOX I HENHOLD TIL BASISBEREGNINGEN. DER TAGES SÅLEDES HENSYN TIL BAGGRUNDSFORURENINGEN.



FIGUR 15 MAKSIMALE TIMEVÆRDIER FOR NO₂ I HENHOLD TIL BASISBEREGNINGEN.

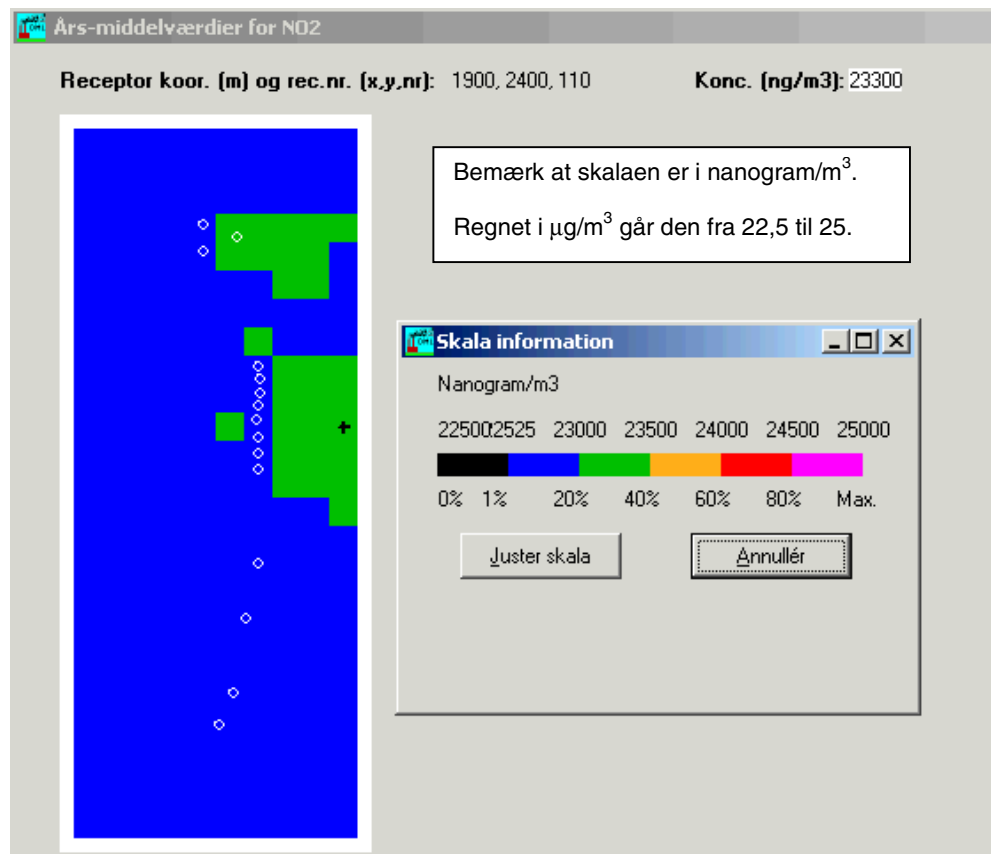
I relation til sundhed og grænseværdier er det imidlertid ikke NO_x, men NO₂, der er interessant. Figur 15 viser de maksimale timeværdier for NO₂. Det fremgår, at værdierne er en god del lavere end for NO_x. De største værdier i området er 148 µg/m³.



FIGUR 16 NITTENDE HØJESTE TIMEVÆRDI AF NO_2 I HENHOLD TIL BASISBEREGNINGEN. DENNE FIGUR ER CENTRAL, FORDI VÆRDIERNE HER KAN SAMMENLIGNES MED GRÆNSEVÆRDIEN $200 \mu\text{G}/\text{M}^3$. BEMÆRK SKALAEN: KONCENTRATIONEN I STØRSTEDELEN AF OMRÅDET ER PÅ $98 \mu\text{G}/\text{M}^3$, MENS DEN MAKSIMALE KONCENTRATION ER $101 \mu\text{G}/\text{M}^3$.

For at få et resultat frem, som kan sammenlignes med grænseværdier, betragter vi den 19. højeste koncentration af NO_2 . Fordelingen af denne er afbildet i Figur 16.

Som tidligere nævnt må denne værdi ikke overskride $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (i år 2010). Det fremgår, at vi er meget langt fra grænseværdien – i størstedelen af området har vi et niveau på $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$, der skyldes baggrundskoncentrationen, mens krydstogtskibenes tilstedeværelse blot formår at trække niveauet op på $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på det mest kritiske sted.



FIGUR 17 ÅRSMIDDELVÆRDIER FOR NO₂, NÅR KRYDSTOGTSKIBENE ER TIL STEDE. BEMÆRK ENHEDERNE OG SKALAEN. UDEN KRYDSTOGTSKIBENE VIL NIVEAUET VÆRE 22,5 µG/M³; MED KRYDSTOGTSKIBE FÅS DET VISTE MØNSTER, HVOR DEN STØRSTE VÆRDI PÅ 23,3 µG/M³ FINDES 600 M VEST FOR SKIBENE. KRYDSTOGTSKIBENES BIDRAG I DETTE PUNKT ER ALTSÅ 0,8 µG/M³. GRÆNSEVÆRDIEN ER 40 µG/M³.

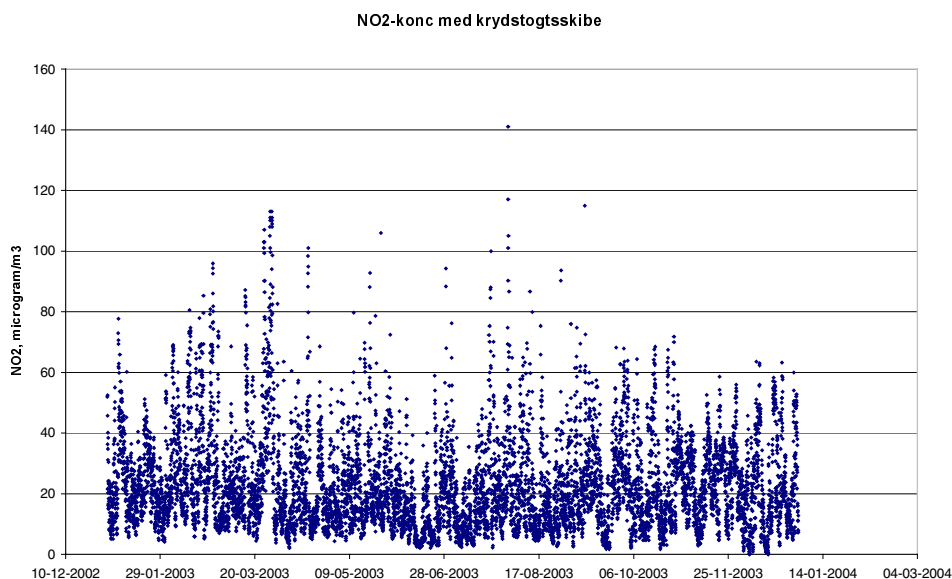
Der findes en anden grænseværdi for NO₂, som gælder årsmiddelværdien på 40 µg/m³. Uden hensyntagen til krydstogtskibene er årsmiddelværdien 22,49 µg/m³ overalt i området. Med hensyntagen til krydstogtskibene fås resultater som vist på Figur 17. I størstedelen af området er koncentrationerne hævet en smule i forhold til baggrunden (fra 22,5 til 23 µg/m³). Den største værdi på 23,3 µg/m³ forekommer ca. 600 m øst for skibene, hvor deres bidrag således beløber sig til ca. 0,8 µg/m³.

Man kan vælge mellem adskillige forskellige målestokke, når man vil vurdere krydstogtskibes bidrag til luftforureningen. Med grænseværdierne som målestok, og med udgangspunkt i basisberegningen, kan man sige, at krydstogtskibenes bidrag til forureningen drukner i forhold til bidrag fra andre kilder.

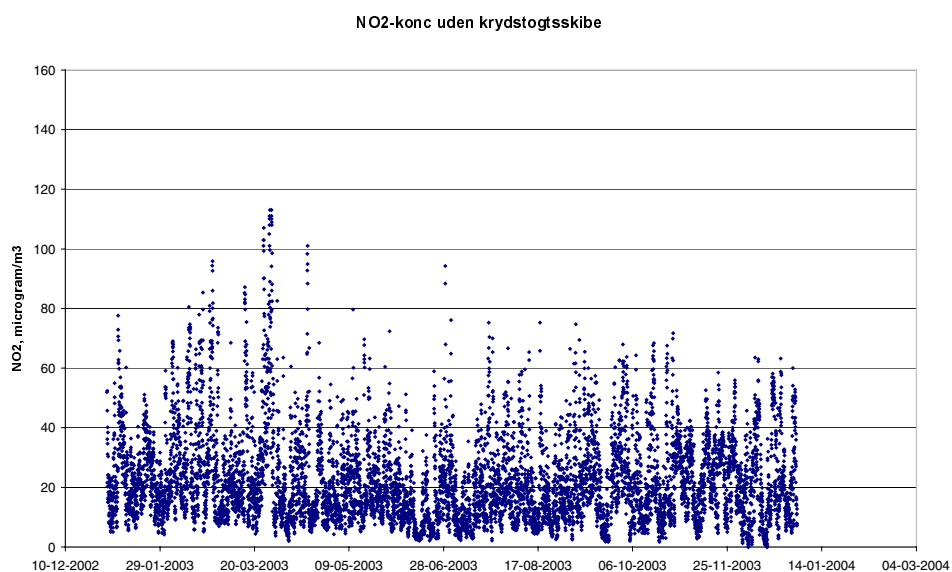
En anden angrebsvinkel er at se i detaljer på, hvad der sker helt lokalt ved krydstogtskibene. Rent lokalt har krydstogtskibe en vis betydning, uagtet at grænseværdierne ikke er overskredet, og det er naturligt at spørge til denne betydning. Det vil vi belyse med et eksempel. Eksemplet er ganske instruktivt, hvis man vil forstå, hvorfor resultaterne kommer ud som de gør.

Lad os betragte forholdene i beregningspunktet "87" ganske tæt ved kajplads 198 på Langelinje – det er det punkt, hvor vi beregner den største indflydelse fra skibene på NO_x-niveauet, jvnf. Figur 14. Figur 18 viser hvordan niveauet af NO₂ varierer time for time i løbet af året. Figur 19 viser det samme – blot med den forskel, at krydstogtskibenes bidrag er fjernet.

Forskellen på de to figurer syner ikke af meget. I *Figur 20* har vi trukket klart frem, hvad forskellen på de to figurer er. Det ses, at krydstogtskibene selvfølgelig bidrager noget i et begrænset antal timer – men i helhedsbilledet betyder det meget lidt. Såfremt krydstogtskibene havde ligget ved kaj året rundt ville de have haft en mere markant virkning på de 19 højeste koncentrationer – men dog ikke nok til, at den ville overstige tærsklen på 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. For de givne forhold er den 19. højeste koncentration uden krydstogtskibe 98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; med krydstogtskibe er den 101.

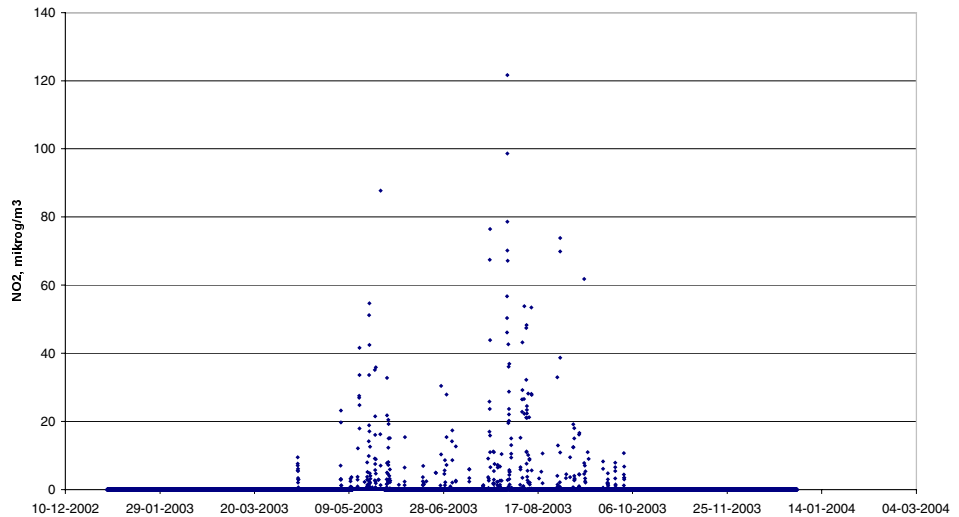


FIGUR 18 KONCENTRATIONER AF NO₂ IGENNEM ÅRET I "PUNKT 87" VED LANGELINJE – DET PUNKT, HVOR MAN I HENHOLD TIL BASISBEREGNINGEN OPLEVER DEN STØRSTE PÅVIRKNING FRA KRYDSTOGTSKIBE.



FIGUR 19 TILSVARENDE FIGUR, HVOR KRYDSTOGTSKIBENES PÅVIRKNING ER FJERNET.

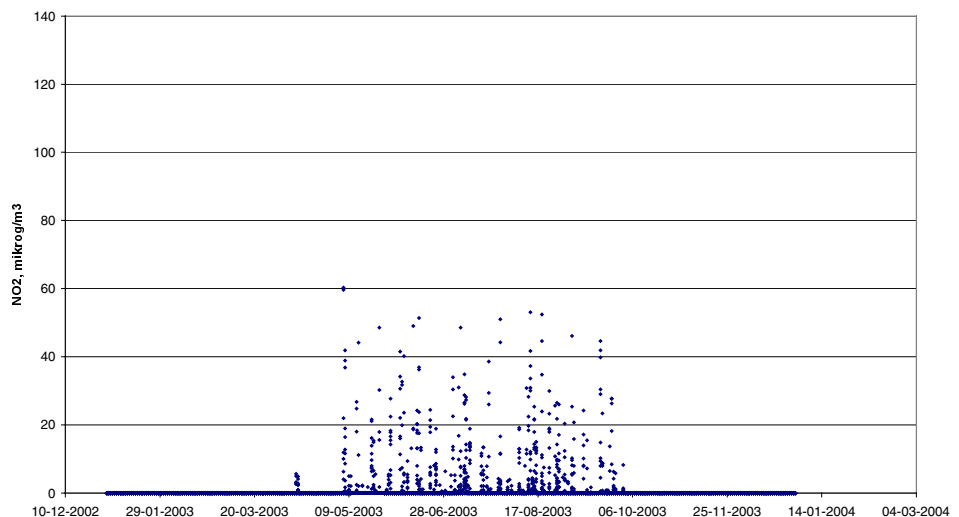
Forskel i NO₂ med/uden krydstogtskibe. Pkt. 87



FIGUR 20 HER ER VIST DEN FORSKEL, KRYDSTOGTSKIBENE BEVIRKER I DET PÅGÆLDENDE PUNKT – ALTSÅ DIFFERENCEN MELLEM TALLENE I DE TO FORRIGE FIGURER (FIGUR 18 OG FIGUR 19). I MIDDEL OVER ÅRET UDGØR DENNE FORSKEL 0,5 MIKROGRAM/M³ I DET PÅGÆLDENDE PUNKT.

I eksemplet valgte vi at betragte et punkt helt tæt ved kajpladsen, hvor indflydelsen fra krydstogtskibene er maksimal. Hvis vi betragter et punkt på større afstand af kajen kan vi danne et tilsvarende sæt figurer. Vi kan f.eks. betragte det beregningspunkt, der ligger tættest ved Oslo-færgernes nuværende kajplads i Søndre Frihavn. Resultatet er vist i Figur 21. Dette punkt er under en vis påvirkning fra krydstogtskibe ved både Orientkajen og Langelinje, og der er derfor flere timer, hvor krydstogtskibenes tilstedeværelse betyder en øget NO₂-koncentrationen. Til gengæld er bidraget i de enkelte timer ikke så stort. I gennemsnit over hele året betyder krydstogtskibenes tilstedeværelse for dette punkt, at NO₂-niveauet hæves med 0,6 µg/m³.

Forskel i NO₂ med/uden krydstogtskibe. Pkt. 100



FIGUR 21 SVARER TIL FORRIGE FIGUR, MEN FOR ET PUNKT VED OSLO-FÆRGERNES NUVÆRENDE ANLØBSPLADS.

5.2 BASISBEREGNING FOR SO₂

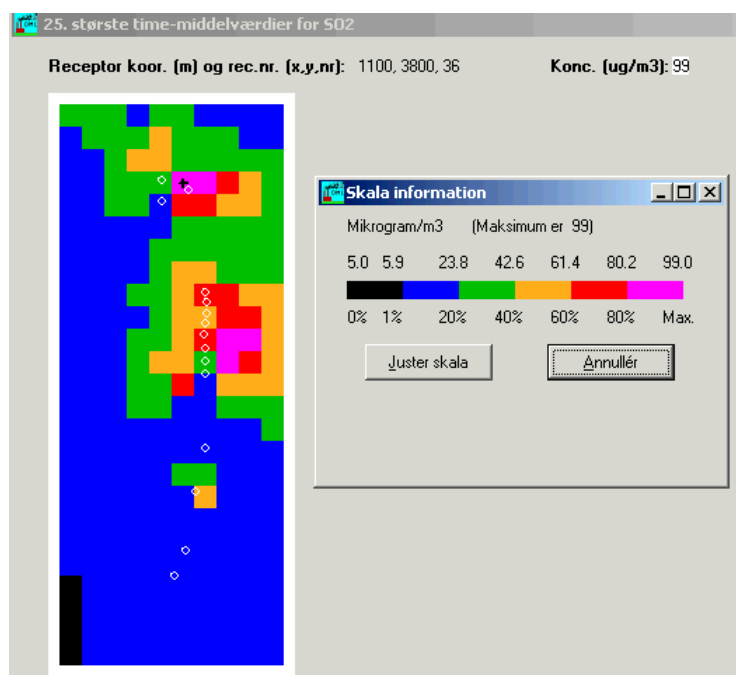
Som nævnt i afsnit 2.4 er emissionen af svovldioxid betydeligt større (49 gange større) end det blev antaget i den tidligere undersøgelse (Boje et al., 2003). Koncentrationerne er derfor forholdsvis store, uden dog at nå op i nærheden af grænseværdierne.

Svovldioxid og partikler er beregningsmæssigt lettere at håndtere end NO_x, fordi man ikke nødvendigvis behøver at tage hensyn til baggrundskoncentration og kemisk omdannelse under beregningerne. Vi har således for disse forureningskomponenter gennemført beregninger for krydstogtskibene alene, uden hensyntagen til baggrunden og andre kilder.

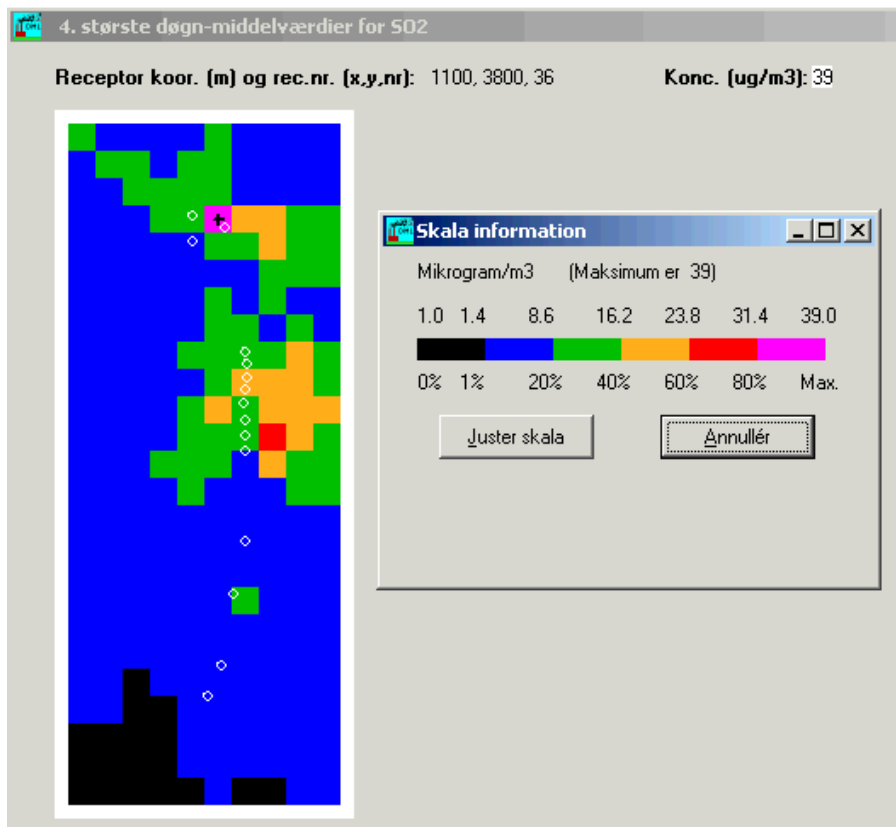
For SO₂ gælder en grænseværdi, hvor den 25. højeste timeværdi ikke må overskride 350 µg/m³. De tilsvarende beregningsresultater er vist i *Figur 22*; det fremgår, at den største beregnede værdi er 99 µg/m³. For en fyldestgørende sammenligning med grænseværdien skal man kende bidraget fra andre kilder, jævnfør diskussionen kapitel 3. Til sammenligning er den 25. højeste timeværdi på HC Andersens Boulevard ca. 40 µg/m³.

En anden grænseværdi for SO₂ gælder den 4. højeste døgnmiddelværdi, der ikke må overskride 125 µg/m³. De tilsvarende beregningsresultater er vist i *Figur 23*, og den største værdi er på 39 µg/m³. Dertil kommer bidraget fra andre kilder. Til sammenligning er den 4. højeste døgnværdi på HC Andersens Boulevard ca. 15 µg/m³.

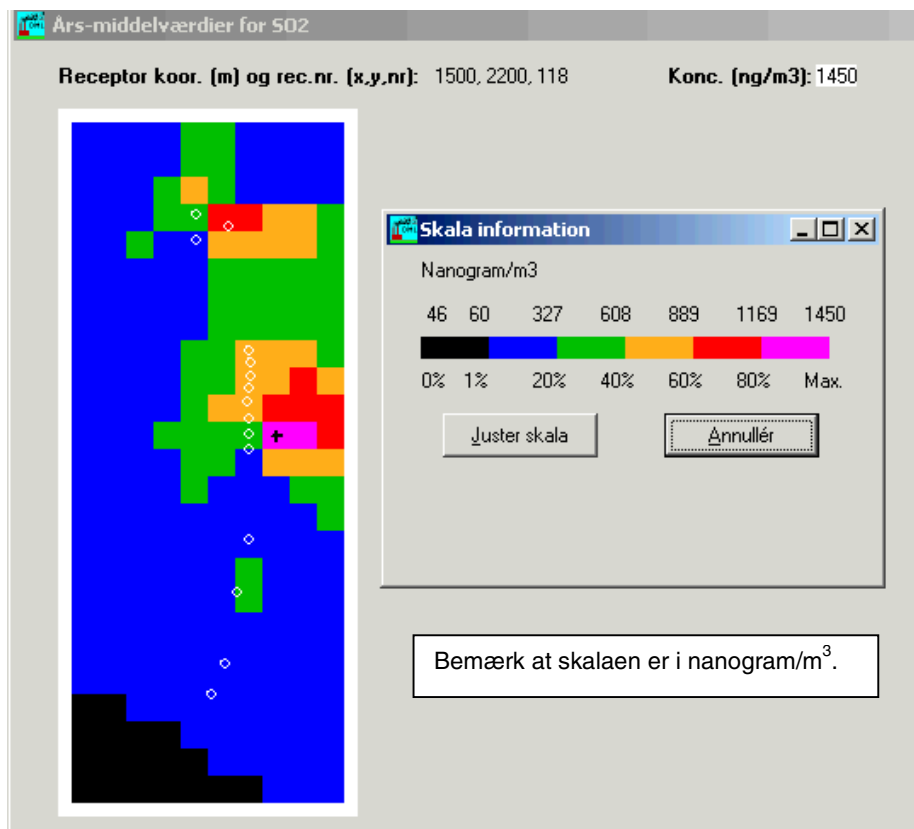
En tredje grænseværdi gælder årsmiddelværdien, som ikke må overskride 20 µg/m³. De tilsvarende beregningsresultater er vist i *Figur 24*. Bidraget fra krydstogtskibene er 1.5 µg/m³, hvor det er størst. Til sammenligning er årsmiddelværdien ved HC Andersens Boulevard omkring 5 µg/m³.



FIGUR 22 FEMOGTYVENDE HØJESTE TIMEVÆRDI FOR SO₂ I HENHOLD TIL BASISBEREGNINGEN.



FIGUR 23 FJERDE HØJESTE DØGNMIDDELVÆRDI FOR SO₂ I HENHOLD TIL BASISBEREGNINGEN.



FIGUR 24 ÅRSMIDDELVÆRDIEN FOR SO₂. BEMÆRK AT ENHEDEN PÅ FIGUREN ER NANOGRAM/M³, SÅ DEN MAKSIMALE KONCENTRATION REGNET I µG/M³ ER 1,5 (HVLKET KAN SAMMENHOLDES MED EN GRÆNSEVÆRDI PÅ 20 µG/M³).

5.3 BASISBEREGNING FOR PARTIKLER

Beregningerne for partikler er – ligesom for SO₂ – udført uden at tage hensyn til baggrundskoncentrationerne.

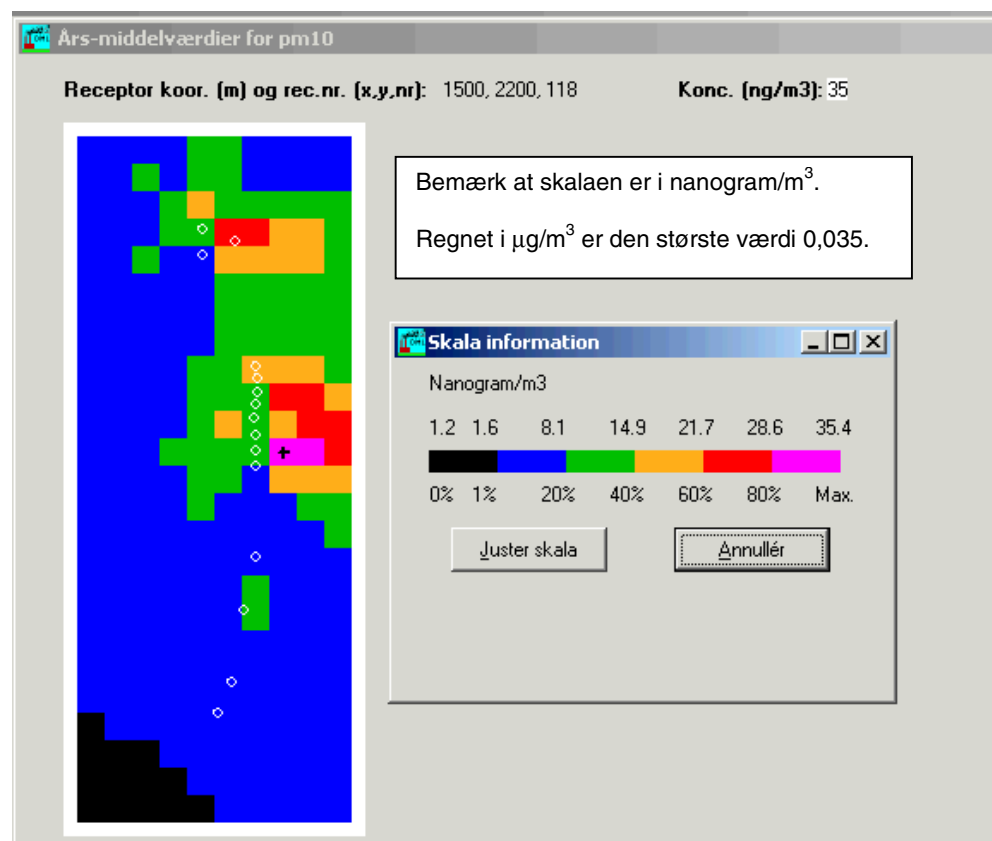
For partikler regnet som PM₁₀ gælder en grænseværdi, hvor den 36. højeste døgnmiddelværdi ikke må overskride 50 µg/m³. Den største beregnede værdi er 0,098 µg/m³. For en helt korrekt sammenligning med grænseværdien skal man kende bidraget fra andre kilder, jævnfør diskussionen i kapitel 3 – men vægtmæssigt drukner krydstogtskibenes bidrag helt. Til sammenligning var den 36. højeste døgnmiddelværdi på HC Andersens Boulevard ca. 39 µg/m³ i 2003.

En anden grænseværdi for PM₁₀ gælder årgennemsnittet, der højst må være 40 µg/m³ (i 2005, grænseværdien skærpes til 20 i år 2010). Den største beregnede værdi er 0,035 µg/m³.

Det generelle baggrundsniveau i København (målt på HC Ørsted Institutet) er på ca. 24 µg/m³ som årgennemsnit.

Holdt op imod såvel grænseværdierne som imod det generelle baggrundsniveau i København er krydstogtskibenes bidrag til partikelforurening altså særdeles beskedent.

Sammenholdes krydstogtskibenes bidrag af PM₁₀ med bidraget fra trafikken i København, udgør deres bidrag stadig kun en lille del af partikelforureningen. Bidraget fra trafik i bybaggrunden er ca. 1-2 µg/m³ som årsmiddelværdi, mens bidraget fra krydstogtskibe i havneområdet lokalt er op til 0,035 µg/m³.



FIGUR 25 ÅRSMIDDELVÆRDI FOR PM₁₀ UDSENDT FRA KRYDSTOGTSKIBE.

De seneste undersøgelser tyder på, at den helbredsmæssige betydning af partikler er afhængig af indholdet af de såkaldte ultrafine partikler. Deres *antal* er stort, mens de kun udgør en ganske lille del af partiklernes *masse*. M. h. t. ultrafine partikler ved vi, at der kommer flere fra dieselmotorer end fra benzinmotorer, men vi kender ikke indholdet i skibes emission, sådan som vi til en vis grad gør det for tunge dieseldetøjer. En sundhedsskadelig effekt af skibenes partikulære emission kan derfor ikke helt afvises.

6 Supplerende beregninger og følsomhedsanalyse

I dette kapitel belyses betydningen af at regne med andre forudsætninger, end det blev gjort i forbindelse med basisberegningen.

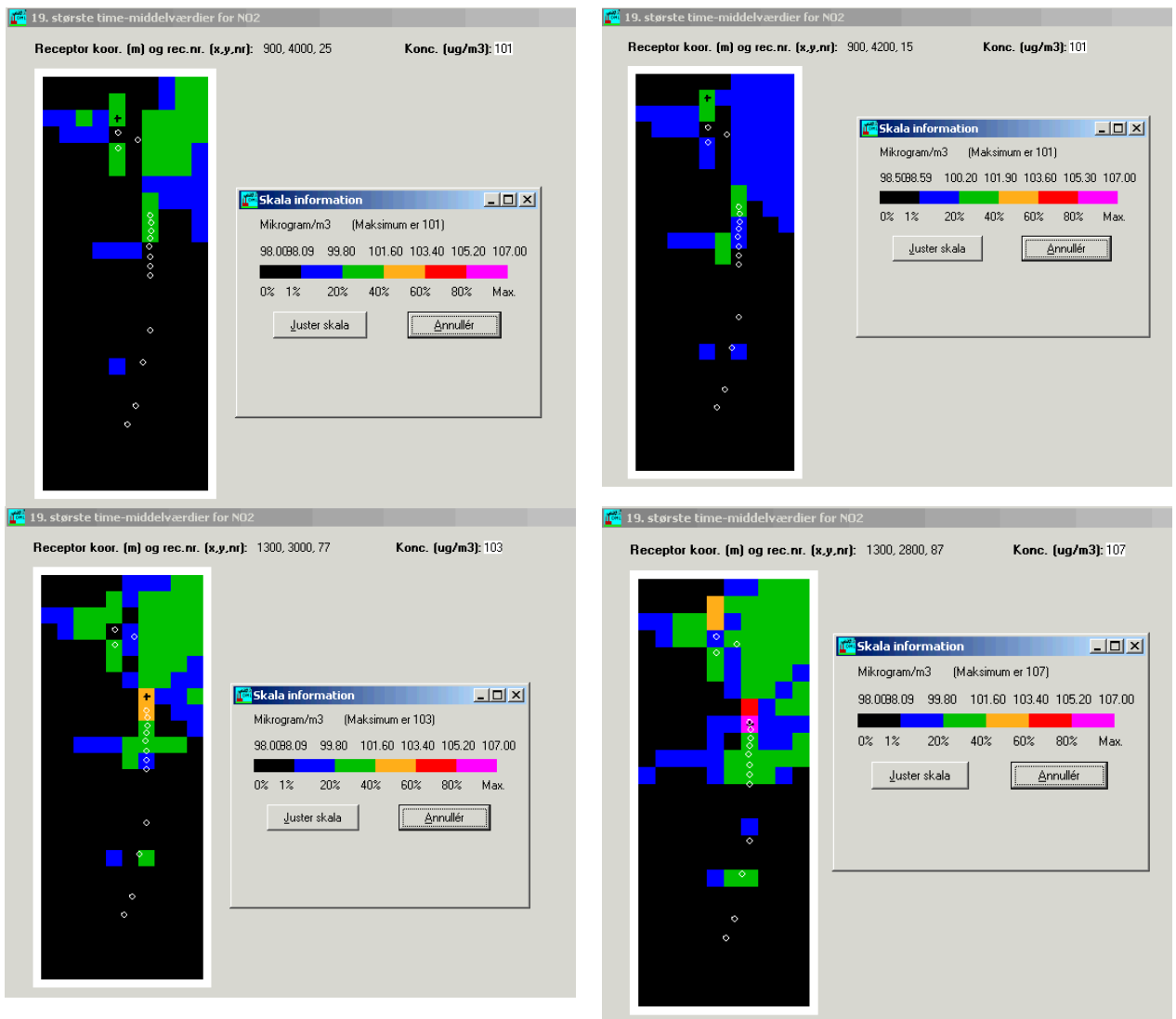
Følsomhedsanalyserne belyser følgende spørgsmål:

- Betydningen af direkte emission af NO₂;
- Betydningen af at bruge andre data for baggrundskoncentrationer;
- Betydningen af receptornettets tæthed;
- Betydningen af at tidsforskyde krydstogtskibenes anløb i forhold til øvrige data;
- Virkningen af en anden receptorhøjde;
- Betydningen af røggastemperaturen.

6.1 BETYDNINGEN AF DIREKTE EMISSION AF NO₂

I basisberegningen blev det antaget, at andelen af direkte emitteret NO₂ var 10 %. Som omtalt i afsnit 4.3 regner man normalt med en andel på 5-10%. Vi har betragtet indflydelsen af at regne med værdier på 5, 10 (basisberegningen), 15 og 20%.

Som forventet resulterer den meget høje procentsats 20% i den største påvirkning af NO₂-koncentrationen, idet den største 19. højeste koncentration bliver 107 µg/m³. Dette er imidlertid fortast væsentligt under grænseværdien på 200 µg/m³. Beregningsresultaterne er afbildet i *Figur 26*.



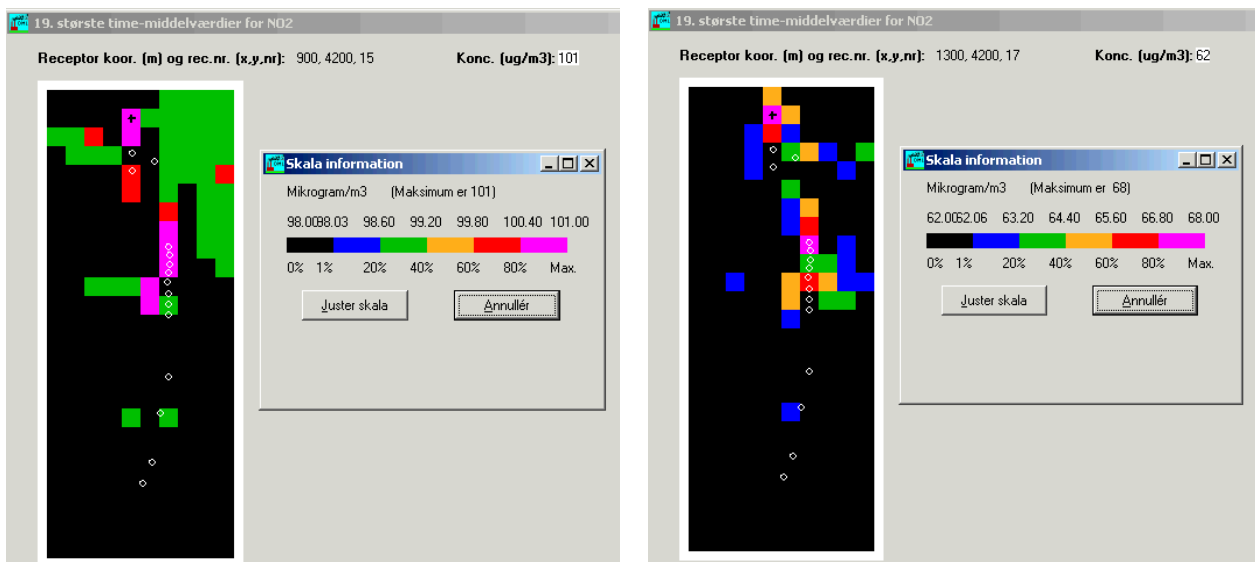
FIGUR 26 NITTENDE HØJESTE TIMEMIDDEL AF NO₂ I HENHOLD TIL 4 FORSKELLIGE ANTAGELSER OM DIREKTE EMISSION: I ØVERSTE RÆKKE 5 OG 10% (BASISBEREGNINGEN), I NEDERSTE RÆKKE 15 OG 20%.

6.2 BETYDNINGEN AF AT BRUGE ANDRE DATA FOR BAGGRUNDSKONCENTRATIONER

Til basisberegningen benyttes data fra HC Ørsted Institutet for baggrundskoncentrationer, dog ikke for ozon-data. Fordi der var tekniske problemer med målingerne af ozon på HCØ i 2003, er der til basisberegningen benyttet data fra Lille Valby for ozon for hele 2003 (se afsnit 4.7). Vi har imidlertid også gennemført et alternativt sæt beregninger, hvor ozon-data fra HCØ benyttes for det halve år (juli-december 2003), hvor der faktisk foreligger.

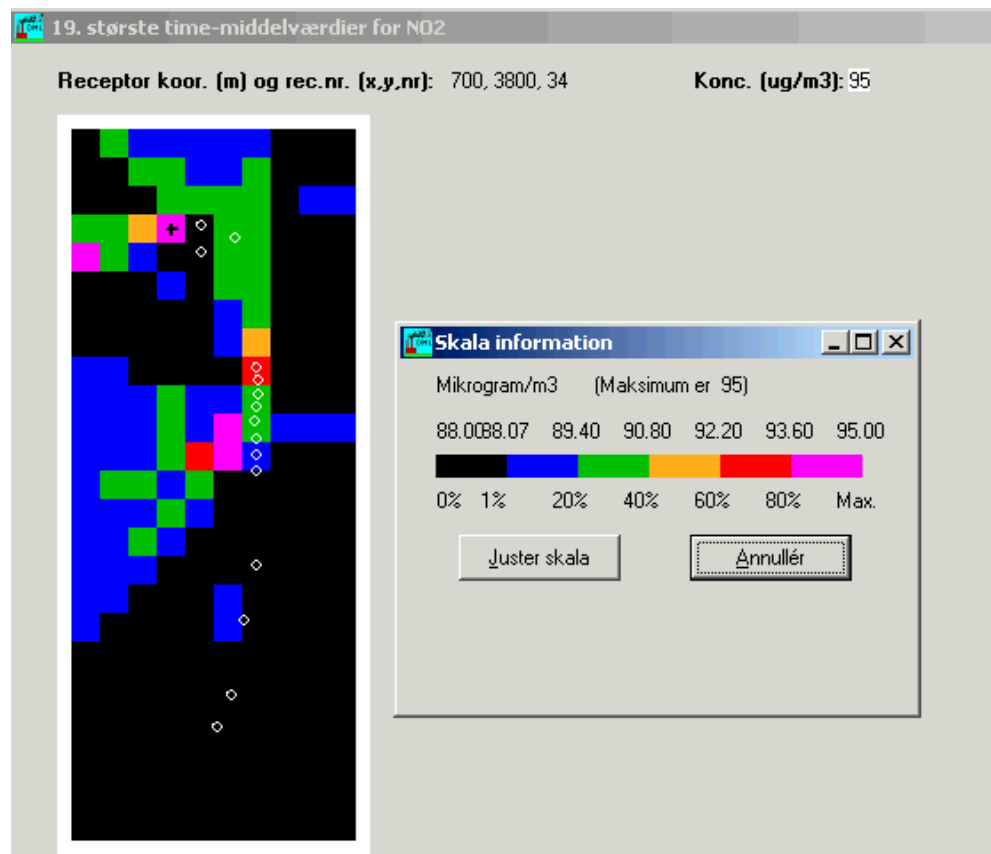
Resultatet fremgår af Figur 27 (tv.). Forskellen i forhold til basisberegningen er ikke stor, og den maksimale værdi i området er stadig 101 µg/m³.

Man kan argumentere for, at der er en vis berettigelse i at bruge *baggrundsdata* fra Lille Valby, når vinden kommer ude fra Øresund, fordi vinden da fører en relativt ren luftmasse ind over kajpladserne – en luftmasse, der til en vis grad kan sidestilles med luftmassen i Lille Valby.



FIGUR 27 T.V.: BAGGRUNDSDATA STAMMER SÅ VIDT MULIGT FRA HC ØRSTED INSTITUTTET, OGSÅ FOR OZON. T.H.: SAMTLIGE BAGGRUNDSDATA STAMMER FRA LILLE VALBY. BEMÆRK AT NIVEAUET ER VÆSENTLIGT LAVERE END ELLERS – MED VÆRDIER MELLEM 62 OG 68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Vi har derfor gennemført en beregning, hvor vi for *samtlige* baggrundsdata benytter målinger fra Lille Valby – altså også baggrunds niveauet af NO_2 . I dette tilfælde får man markant lavere koncentrationer af NO_2 i beregningsområdet. Niveauet (for den 19. højeste timeværdi) ligger mellem 62 og 68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Procentvis har krydstogtskibene altså betydelig større indflydelse end i basisberegningen, men indflydelsen strækker sig ikke mange hundrede meter fra kajen – og værdierne ligger langt under grænseværdien på 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Beregningsresultaterne er vist th. i Figur 27.



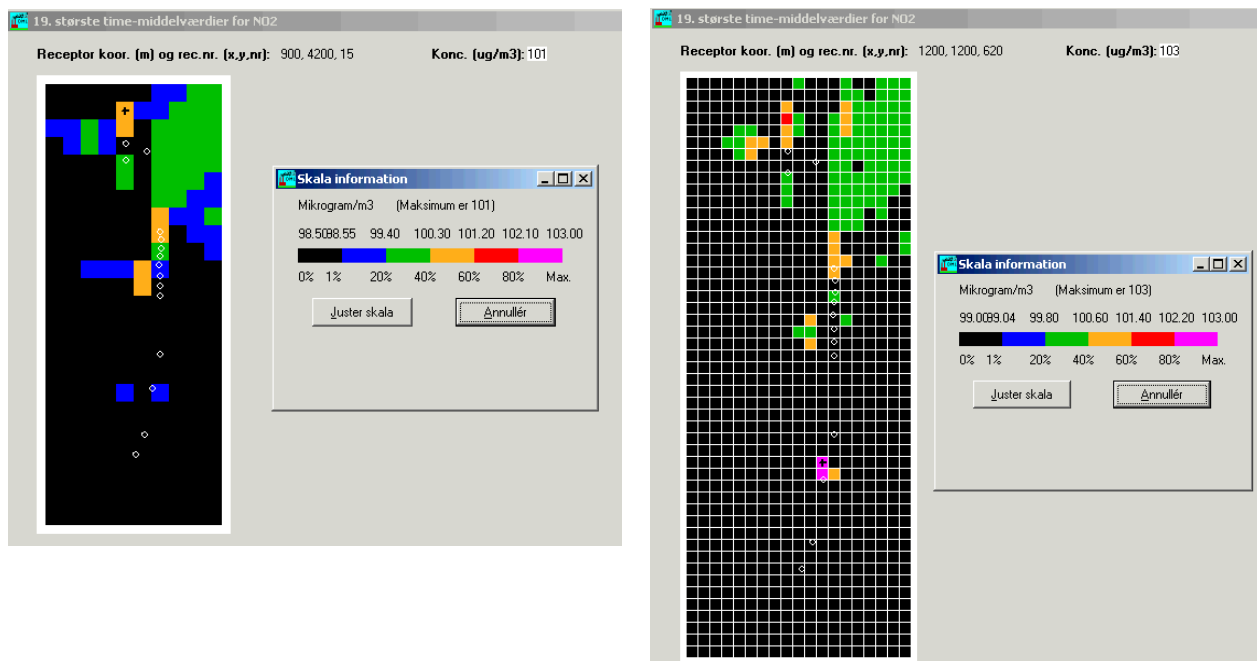
FIGUR 28 METEOROLOGIDATA OG BAGGRUNDSDATA FRA 1999.

6.3 BETYDNINGEN AF METEOROLOGI

Vi har gennemført en beregning på grundlag af meteorologi- og baggrundsdata fra et andet år end basisberegningens for at få belyst, om valget af år har nogen væsentlig betydning.

Vi har benyttet data fra året 1999. Resultatet fremgår af *Figur 28*.

Krydstogtskibenes tilstedeværelse bevirker, at den 19. højeste timeværdi øges fra baggrundsniveauet på $88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ til ca. $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

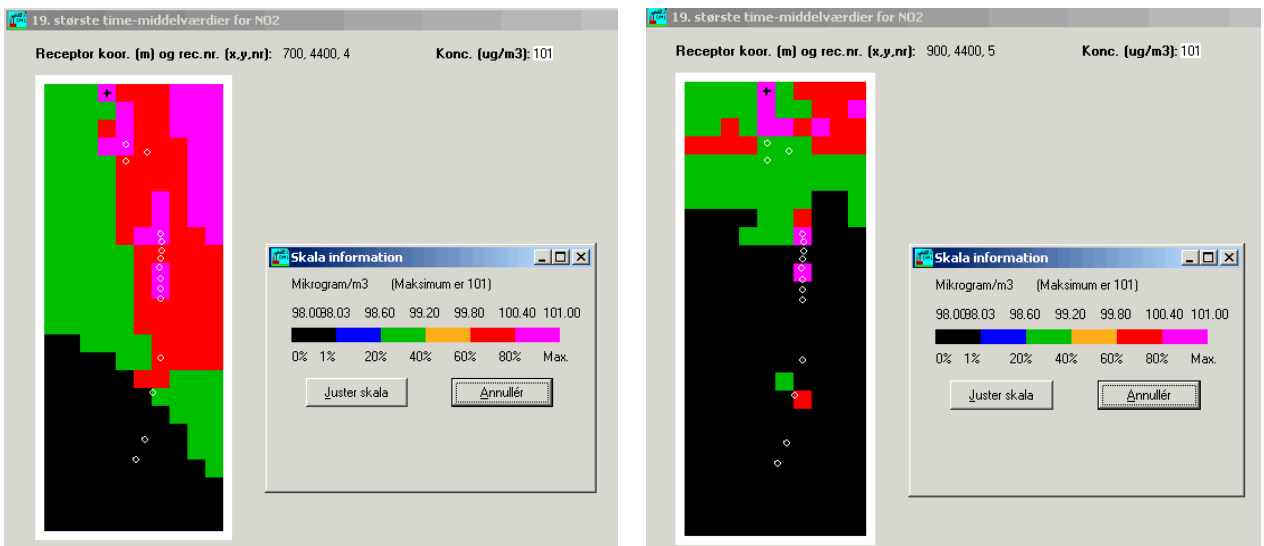


FIGUR 29 TV. ER BENYTTET DET SÆDVANLIGE NET MED EN AFSTAND PÅ 100 M (BASISBEREGNINGEN), OG TH. ET FINMASKET RECEPTORNET MED EN AFSTAND PÅ 100 M MELLEMPUNKTERNE. DER BENYTTES SAMME FARVESKALA PÅ DE TO KORT.

6.4 BETYDNINGEN AF RECEPTORNETTETS TÆTHED

Ved basisberegningen og hovedparten af beregningerne er benyttet et receptornet med en afstand på 200 m mellem beregningspunkterne. Hvis man gør nettet finere og benytter en afstand på 100 m, får man en finere struktur i beregningsresultaterne. Helt tæt ved skibene er koncentrationerne relativt store på grund af bygningseffekt ved skibene, og et finere receptornettet "fanger" nogle flere af disse store værdier. Beregningsresultater fra OML-modellen for beregningspunkter, som ligger tæt ved kilder med kraftig bygningseffekt – sådan som der er tale om med skibene – er i øvrigt behæftet med en del usikkerhed. Men alt i alt ændrer det ikke væsentligt ved beregningsresultaterne for NO_2 , om der benyttes et fint net.

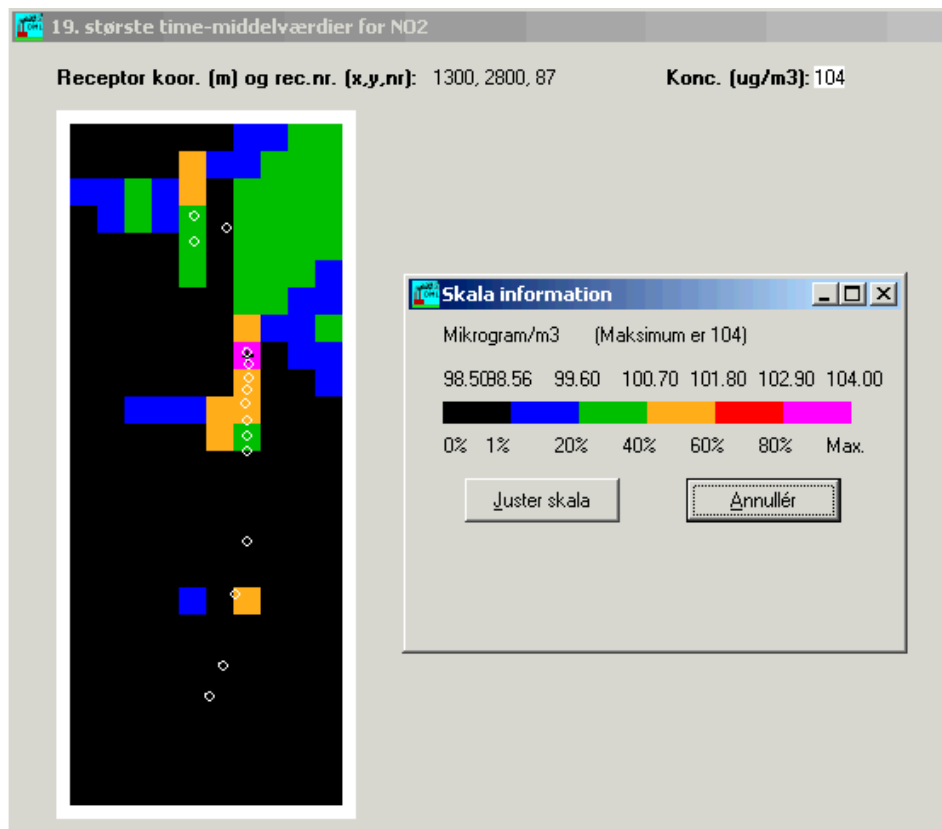
Vi kunne have valgt at benytte et fint receptornet til basisberegningen, men har bl.a. af præsentationsmæssige hensyn valgt at afstå fra det – det er sværere at se kilderne, og figurene bliver mindre tydelige.



FIGUR 30 TV STARTER KRYDSTOGTSÆSONEN 10 DAGE FØR NORMALT, TH. 10 DAGE SENERE.

6.5 BETYDNINGEN AF TIDSFORSKYDNING

Ved basisberegningen er der benyttet en kombination af meteorologiske data og emissionsdata, således at f.eks. emission den 1. juni 2004 kl. 12 er blevet parret med meteorologi den 1. juni 2003 kl. 12. Det beror jo i høj grad på tilfældigheder, hvordan meteorologiske data og krydstogtanløb passer sammen – dog er der visse bindinger som skyldes, at krydstogtskibenes anløb er sæsonbetinget. For at belyse effekten af, at kombinationen af meteorologi og emissioner kan være en anden end antaget i basisberegningen, er der gennemført beregninger, hvor krydstogtskibenes anløbstidspunkt er forskudt 10 dage i forhold til øvrige data – dels så krydstogtsæsonen er lagt 10 dage tidligere end den egentlig var, dels 10 dage senere. Resultaterne er vist på *Figur 30*. Det ses at mønsteret af koncentrationer afviger ganske væsentligt fra mønsteret i basisberegningen, men at niveauet stort set ikke forrykkes – den største værdi er stadig $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

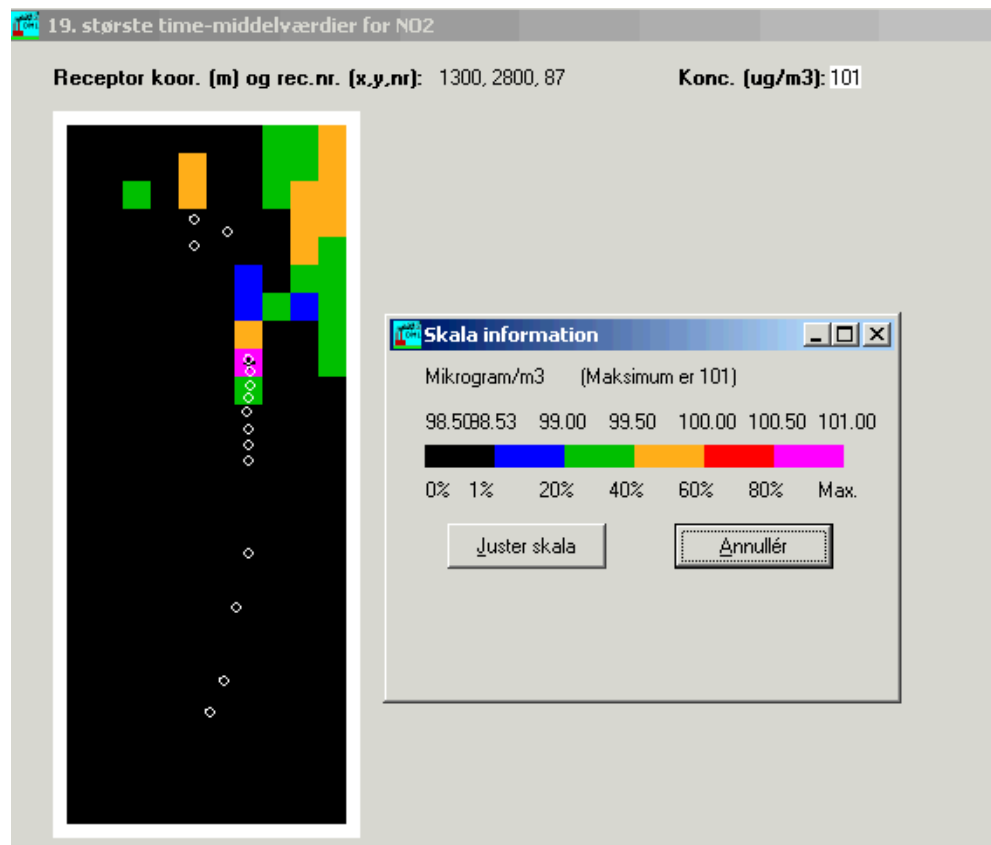


FIGUR 31 RECEPTORHØJDE PÅ 7 M I STEDET FOR 1.5.

6.6 BETYDNINGEN AF RECEPTORHØJDE

Beregninger i henhold til Miljøstyrelsens Luftvejledning gennemføres normalt for beregningspunkter i en højde på 1,5 m (hovedhøjde). Resultatet af at betragte forholdene i en større højde – 7 m, svarende til beboere i fleretagers huse – er vist i *Figur 31*.

Langt fra kilderne er der ingen forskel på resultaterne fra denne beregning og basisberegningen. Tæt ved kilden er der nogen forskel, idet den største 19.-højeste timeværdi er $104 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (mod 101 i basisberegningen).



FIGUR 32 RØGGASTEMPERATUR PÅ 350 GRADER CELSIUS FOR SAMTLIGE SKIBE (I STEDET FOR 250, HENH. 200).

6.7 BETYDNINGEN AF RØGGASTEMPERATUR

I de tidligere, overslagsmæssige undersøgelser blev der benyttet en røggastemperatur på 350 °C for alle skibe. Her i undersøgelsen er benyttet mere detaljerede oplysninger, med den konsekvens, at røggastemperaturen for de fleste skibe er sat til 250°, og for nogle få til 200°.

Det viser sig imidlertid at have ringe betydning, om man bruger det ene eller det andet sæt forudsætninger. *Figur 32* viser resultatet af generelt at bruge en røggastemperatur på 350°C.

6.8 DISKUSSION

Følsomhedsanalysen i de foregående afsnit viser, at der er mange parametre, som kan påvirke detaljerne i det beregnede mønster af koncentrationer. Hele niveauet af koncentrationer påvirkes – naturligt nok – meget drastisk af, hvilke baggrundsdata man lægger til grund – om det er data, der inkluderer byens baggrund (data fra HC Ørsted Institutet), eller der er tale om data fra en regional baggrundsstation (Lille Valby). Men uanset detaljerne fremstår det som en generel konklusion, at krydstogtskibene ikke har nogen væsentlig indflydelse på NO₂-niveauet.

Beregningerne her i rapporten har været udført for at få et realistisk billede af forholdene, og har derfor taget hensyn til baggrundsforurening og kemi. Vi har imidlertid også gennemført et sæt beregninger i henhold til Luftvejledningens anvisninger for miljøgodkendelser. Luftvejledningen betjener sig af forenkede forudsætninger om forholdet mellem NO_x og NO₂. Den bygger i øvrigt på, at man skal sammenholde beregnede 99-percentiler

med den såkaldte B-værdi. I henhold til de gennemførte beregninger bevirker krydstogtskibene ikke nogen overskridelse af B-værdien.

Usikkerhederne omkring den såkaldte bygningseffekt fortjener en kommentar. I almindelighed gælder, at bygninger, der ligger nær en skorsten, kan have en betydelig indflydelse på de forureningskoncentrationer, der forekommer i omgivelserne. Det skyldes, at bygninger fører til dannelsen af et strømningsfelt, der både kan hæmme røgfaneløftet og øge spredningen af røgfanen. Her gør det samme sig gældende for skibsbygningerne, der i større eller mindre omfang påvirker røgfanen fra skibenes skorstene. De største beregnede koncentrationer på timebasis forekommer helt tæt på krydstogtskibene. Disse beregningsresultater er behæftet med en del usikkerhed, fordi de afhænger af den ovenfor omtalte bygningseffekt. Bygningseffekten er ganske svær at beskrive modelmæssigt, og resultaterne tæt ved kilden må betragtes som en første approksimation til virkeligheden – ikke som præcise værdier.

7 Konklusion

Undersøgelsens formål har været at vurdere krydstogtskibes bidrag til luftforureningen i København.

I forhold til den tidligere undersøgelse gør det en forskel – som resulterer i markant anderledes konklusioner – at emissionen er fordelt over adskillige kajpladser, at stor emission kun forekommer i en lille del af årets timer, og frem for alt at effekten af atmosfærekemi og baggrundskoncentrationer har en dæmpende virkning, når man skal "oversætte" NO_x -emissioner til koncentrationer af NO_2 .

Man kan vælge mellem flere forskellige målestokke, når man vil vurdere bidraget; vi har valgt at betragte forureningen i henhold til adskillige målestokke for at få forholdene fyldestgørende belyst.

Hvad angår kvælstofoxider er der fastsat en grænseværdi for NO_2 , som tager udgangspunkt i den 19. højeste timeværdi på et år; denne må ikke overstige $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (grænseværdien skal være overholdt i 2010). Der findes også en grænseværdi relateret til årsmiddelværdien af NO_2 ; årsmiddelværdien må ikke overstige $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (i år 2010).

Beregningerne giver bl.a. svar på følgende centrale spørgsmål:

- Har krydstogtskibene potentiale til at påvirke den 19. højeste timeværdi af NO_2 ? Svaret er *Ja*, men kun ganske lidt, og kun i den umiddelbare nærhed af kajpladserne.
- Er krydstogtskibenes tilstedeværelse i stand til at løfte den 19. højeste timeværdi op over grænseværdien på $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$? Svaret er klart *Nej*.
- Er krydstogtskibenes bidrag til den gennemsnitlige NO_2 -forurening på årsbasis væsentligt? Svaret er *Nej*.

Ud over beregningerne for NO_2 er der udført beregninger for forurening med svovldioxid og partikler fra krydstogtskibene. Disse beregninger godtgør, at krydstogtskibenes bidrag til SO_2 -forurening er større end tidligere antaget – uden dog at være alarmerende – mens bidraget til forurening med partikler er særdeles beskedent i forhold til EU's grænseværdier.

8 Referencer

- Boje, Jørgen, Tom Wisman og Arne Oxbøl, 2003: OML-beregninger for skibe i tre danske havne. Rapport til Institut for Miljøvurdering udarbejdet af dk-Teknik.
- Energi E2, 2004: Grønt regnskab 2003; Amagerværket.
<http://www.e2.dk/upload/PDF/Amagerværket2003.pdf>
- Miljøstyrelsen 2001: Luftvejledningen. Begrænsning af luftforurening fra virksomheder. Vejledning nr. 2. ISBN: 87-7944-625-6. Kan hentes via www.mst.dk
- Olesen, H.R. and Løfstrøm, P. (2002): Brugervejledning: Introduktion til spredningsmodellen OML-Multi 5.0. DMU, DK-4000 Roskilde, Denmark.
- Olesen, H.R. og Brown, N. (1992, 2. edition): The OML meteorological preprocessor – a software package for the preparation of meteorological data for dispersion models. MST LUFT-A 122. National Environmental Research Institute, DK-4000 Roskilde, Denmark.
- Opsis, 2004: Beräkning av olika föroreningskälors bidrag till NO₂ halterna i 15 hårt belastade gaturum i Helsingborg.
- Oxbøl, Arne og Wisman, Tom, 2003: Emissioner fra skibe i havn. Revideret udgave 2003. Arbejdsrapport nr. 49, Miljøstyrelsen.
- Saxe, Henrik og Thommy Larsen, 2003: Luftforurening fra skibe i danske havne. Stads- og havneingeniøren 9, 5-12.
- Saxe, H. and T. Larsen, 2004: Air pollution from ships in three Danish ports. *Atmospheric Environment* 38, 4057-4067.

Emissioner fra krydstogtskibe i Københavns Havn

Metoder og antagelser

Rapporten er udarbejdet af FORCE Technology

Projektnr.: 21.243

Rapporten udarbejdet af : Jørgen Boje

Projektleder: Tom Wisman



Med tilbagevirkende kraft fra 1. januar 2004 er dk-TEKNIK ENERGI og MILJØ blevet en del af FORCE Technology. Alle aktiviteter og tekniske kompetencer videreføres i FORCE Technology i en ny division med navnet Energi og Miljø. Læs mere om baggrunden for købet og FORCE Technology på www.force.dk

FORCE Technology, Hovedkontor
Park Allé 345
2605 Brøndby, Danmark
Tel. +45 43 26 70 00
Fax +45 43 26 70 11
e-mail force@force.dk
www.force.dk

Indholdsfortegnelse

1.	Resumé	2
2.	Indledning	3
3.	Dataindsamling.....	3
4.	De enkelte parametre.....	3
5.	Vurdering af resultater	7
6.	Bilagsoversigt	9
7.	Litteraturliste.....	10

1. Resumé

Denne rapport gennemgår de anvendte metoder og nødvendige antagelser vedrørende opgørelse af emissioner fra krydstogtskibe i Københavns Havn i 2004.

Miljøstyrelsen har bedt FORCE Technology om at opgøre emissionerne fra alle krydstogtskibe der anløber København i 2004. Der laves opgørelser for følgende stoffer; NO_x, partikler og SO₂.

Beregningerne skal være med til at danne et billede af skibsemissioners bidrag af de pågældende stoffer til omgivelserne. De indsamlede data skal således danne grundlag for en OML-beregning, der foretages af DMU i Roskilde.

FORCE TECHNOLOGY

Jørgen Boje
Projektleder

Tom Wisman
Projektansvarlig

Arne Oxbøl
Kvalitetssikring

2. Indledning

Miljøstyrelsen har bedt FORCE Technology om at opgøre emissionerne fra alle krydstogtskibe der anløber København i 2004. Der laves opgørelse for følgende stoffer; NO_x, partikler og SO₂.

Beregningerne skal være med til at danne et billede af skibsemissioners bidrag af de pågældende stoffer til omgivelserne. De indsamlede data skal således danne grundlag for en OML-beregning, der foretages af DMU i Roskilde.

3. Dataindsamling

I samarbejde med Københavns Havn har vi udfærdiget et spørgeskema, som efterfølgende er sendt til samtlige rederier, der besejler København. Københavns Havn har stået for kontakten til rederierne og indsamlingen af de indkomne svar.

I spørgeskemaet indhentes en lang række oplysninger, som dels skal anvendes i emissionsopgørelsen dels i OML-beregningen. Spørgeskemaet er vedlagt som bilag 1.

Vi har bestræbt os på at udarbejde spørgsmålene således, at eventuelle tvivl vedrørende de nødvendige oplysninger minimeres. Eksempelvis har vi undladt at spørge om den generelle bygningshøjde, der umiddelbart kan være lidt vanskelig at vurdere. Denne parameter har vi i stedet estimeret ud fra fotos og tegninger¹.

Rederiernes tilbagemeldinger har givet data på 24 ud af 62 skibe. Antallet af besvarede spørgsmål har varieret – og i enkelte tilfælde har svarene ikke været brugbare. De manglende oplysninger er i stedet blevet ansat ud fra kvalificerede skøn og vores viden om området.

4. De enkelte parametre

4.1. Bruttoregistertons

Oplysninger om krydstogtskibenes størrelse (BRT) er en god basisoplysning, idet en række andre parametre er korreleret med skibets størrelse (bl.a. motorstørrelse, skortenshøjde m.m).

Størrelsen på 56 skibe er enten oplyst af rederierne eller fundet ved hjælp af litteratur og internet.

Størrelsen af 5 krydstogtskibe er estimeret ud fra fotos (bilag 3). Der er tale om følgende skibe; *"Adriana"*, *"Andrea"*, *"Berlin"*, *"Lili Marleen"*, *"Ocean Monarch"*.

Størrelsen af ét skib *"Nautica"* er fastsat som middelstørrelsen af samtlige skibe, idet oplysninger om dette skib ikke har kunnet tilvejebringes.

4.2. Effektforbruget ved kaj

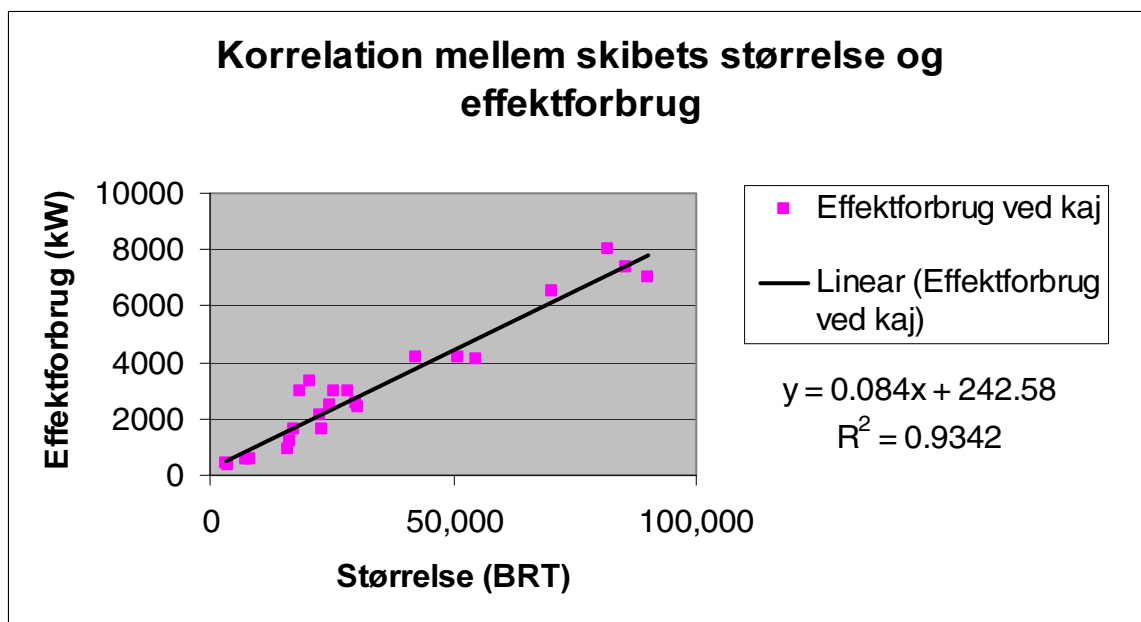
Ved kaj benyttes hjælpemotor eller hovedmotor (skibe med dieselelektrisk fremdrivningsanlæg) til produktion af el. Effektforbruget (kW) ved kaj danner basis for udregningen af såvel volumenstrømme som emissioner af de udvalgte stoffer. Vi har modtaget besvarelser fra 23 skibe vedrørende effektforbruget ved kaj.

Effektforbruget ved kaj for de resterende 39 krydstogtskibe er fundet ud fra skibets størrelse. Baseret på oplysninger om 23 skibe har vi fundet følgende sammenhæng mellem skibets størrelse (BRT) og effektforbrug ved kaj:

$$y = 0,084x + 242,58 \quad R^2 = 0,9342$$

y: Effektforbrug ved kaj (kW)

x: Skibets størrelse



Figur 1: Forholdet mellem skibets størrelse og effektforbrug ved kaj fundet ud fra indkomne besvarelser.

Beregningseksempel "Noordam":

Skibets størrelse: 33.930 BRT

Effekt ved kaj: $33.930 \cdot 0,084 + 242,58 = 3.092,7$ kW

4.3. Volumenstrøm

Til udregning af volumenstrømmen er det vigtigt at vide, hvilken olie kvalitet krydstogtskibene anvender, når de ligger ved kaj. Rederierne har oplyst, at 7 krydstogtskibe anvender fuelolie, mens 15 bruger gas- / dieselolie. Vi har antaget, at de resterende krydstogtskibe anvender gasolie / dieselolieⁱⁱ.

Det specifikke olieforbrug ansættes til 0,2 kg / kWh.

Beregningseksempel "Noordam":

Effektforbruget ved kaj er 3.092,7 kW/h

Dermed fås olieforbruget til 618,5 kg/h. Dette bruges i følgende formel (Luftvejledningenⁱⁱⁱ s. 72) for røggas.

Forbrænding af 1 kg gasolie giver anledning til følgende mængde fugtig røggas:

$$1,41 + \frac{228}{21 - \%O_2} \text{ m}^3(\text{n,f})/\text{h}$$

Dette giver en røggasmængde på 24.377 m³(n,f)/h. Iltprocenten i røggassen er sat til 15 %, idet dette erfaringsmæssigt er en passende værdi for krydstogtskibe.

I de tilfælde hvor rederierne har oplyst fuelolie som fyringsmedie, har vi anvendt følgende formel (Luftvejledningen s. 74).

Forbrænding af 1 kg fuelolie giver anledning til følgende mængde fugtig røggas:

$$1,29 + \frac{211}{21 - \%O_2} \text{ m}^3(\text{n,f})/\text{h}$$

4.4. Emissioner

Som emissionsfaktorer for NO_x, SO₂ og partikler benyttes værdier fra rapporten "Emissioner fra skibe i havn"^{iv} (se tabel 1). Emissionerne udregnes ved hjælp af oplyst eller beregnet effektforbrug (kWh) ved kaj.

Krydstogtskibenes samlede effektforbrug ved kaj er udregnet på baggrund af skibenes opholdstid ved kaj. Disse oplysninger er oplyst af Københavns Havn i form af lister med anløbs- og afgangstider. Der er brugt en totalliste fra den 9. juni 2004 samt en nyere liste (ikke dateret) fra Langelinie kajen. Den senere liste fra Langelinie er indarbejdet i totallisten. Der er anvendt følgende emissionsfaktorer for el produceret på diesel generator anlæg^{iv}.

Tabel 1: Oversigt over emissionsfaktorer

Parameter	g/kWh
NO _x	11
SO ₂	4 x S%
Partikler	0,22

Det skal bemærkes, at svovlprocenten i olien i rapporten "Emissioner fra skibe i havn" blev sat til 0,05 %. Vores spørgeundersøgelse viser imidlertid, at svovlprocenten i den anvendte olie er 1,6 % i gennemsnit. Dette svarer omtrent til kravet, der stilles i Annex 6 til MARPOL konventionen. Heri fremgår det, at svovlindholdet ved sejlads i Nord- og Østersøen skal være 1,5 % eller mindre.

I de 21 tilfælde, hvor rederierne har angivet et svovlindhold i olien, har vi brugt denne værdi (0,19 – 3,2 %). Emissionen af SO₂ fra de øvrige 41 skibe er blevet udregnet med en svovlprocent på 1,5 %, idet det må forventes, at krydstogtskibene indenfor nærmeste fremtid overholder kravene i Annex 6.

4.5. Skorstenshøjde

Rederierne har oplyst skorstenshøjden på 22 krydstogtskibe. Derudover er 8 hentet fra tegninger i litteraturen¹. De resterende skorstenshøjder er fundet ud fra en korrelation mellem skibets størrelse (BRT) og skorstenshøjden over vandlinien (meter). Korrelationen er baseret på oplysninger fra 31 af de nævnte krydstogtskibe i denne undersøgelse (se figur 2). Sejlskibet "Sea Cloud II" er udeladt på grund af meget afvigende skorstenshøjde (58 meter, 3849 BRT).

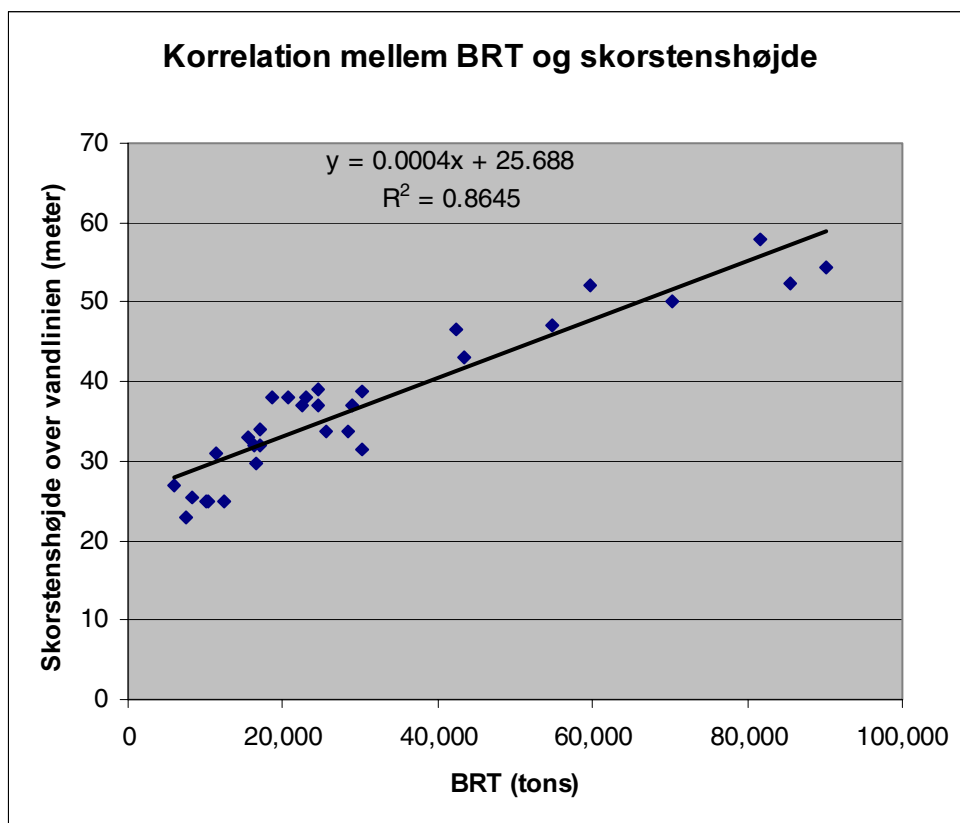
Sammenhængen mellem de to parametre kan udtrykkes ved:

$$y = 0,0004x + 25,688 \quad R^2 = 0,8645$$

y = skorstenshøjden meter

x = skibets størrelse (BRT)

Det følger af ovenstående, at skorstenshøjden ved brug af ligningen ikke kan være mindre end 25,688 meter.



Figur 2: Korrelation mellem krydstogtskibets størrelse og skorstenshøjden baseret på informationer fra denne undersøgelse.

4.6. Skorstenens ydre og indre diameter

Den ydre diameter på skorstenen er bestemt ud fra tegninger¹ og en række fotos, som er vedlagt i bilag 3. Der er tale om diameteren i toppen af skorstenen. I de fleste tilfælde er der tale om en meget bred skorsten med en stor diameter, hvor røggasrøret befinder sig i en skorstenskappe.

Vi gør opmærksom på, at skorstenen på et krydstogtskib i mange tilfælde er konstrueret således, at der opstår et undertryk på læsiden, når vinden passerer fra siden. Denne situation, der også kaldes for "Downwash", trækker røgfanen nedad. Dette er en situation, der opstår på grund af skorstenens udformning.

Den indre diameter i krydstogtskibenes skorsten er tilpasset således, at røggashastigheden bliver omkring 25 - 30 m/s. Det er efter vores oplysninger en realistisk hastighedⁱⁱ.

Meget få rederier har responderet på dette spørgsmål, så FORCE Technology har fastsat den indre diameter ud fra en teoretisk beregning. Uagtet, at der ofte findes flere rør samlet i én skorsten, har vi slået rørene sammen, således at der kun regnes på ét afkast pr. skib.

4.7 Generel bygningshøjde

Den generelle bygningshøjde er fundet ud fra tegningerⁱ og fotos (bilag 3). Den generelle bygningshøjde er sat lig højden af skibets overbygning over vandlinien.

4.8 Temperatur

Temperaturen i afkastene er skønnet til 250 °C i de tilfælde, hvor der anvendes gasolie og 200 °C når der bruges fuelolieⁱⁱ.

5. Vurdering af resultater

Ved vurdering af vores resultater er det relevant at inddrage rapporten "Emissioner fra skibe i havn" samt den efterfølgende OML-rapport "OML-beregninger på skibsemissioner for skibe i tre danske havne"^{iv}.

I nedenstående tabel sammenlignes en række nøgleparametre i emissionsopgørelsen fra nærværende undersøgelse og undersøgelsen fra 2001^{iv}.

Tabel 2 Sammenligning af nøgleparametre vedrørende emissioner.

Parameter	Opgørelse 2001	Opgørelse 2004	Forskel i %
Antal anløb	202	258	28
Samlet effektforbrug MWh	8.953	13.337	49
Emission NO _x (tons/år)	98,5	147	49
Emission SO ₂ (tons/år)	1,79	88	4.900
Emission partikler (tons/år)	1,97	2,9	49
Tidsvægtet gns. (BRT)	30.563	40.586	33

Det ses, at antallet af anløb er steget med 28 % siden 2001. Den parameter, der betyder noget for emissionerne er "effektforbruget ved kaj". Dette er øget med 49 %, hvilket også er lig med stigningen i emissionerne af henholdsvis NO_x og partikler. Det tidsvægtede gennemsnit er en opgørelse, der vægter skibenes størrelse i forhold til den tid de ligger i havn. Det tidsvægtede gennemsnit beregnes på følgende måde:

Tidsvægtet gennemsnit = $\sum (\text{tid i havn} * \text{størrelse (BRT)}) / \text{samlet opholdstid for alle skibe}$

Det tidsvægtede gennemsnit er steget med 33 % fra 2001 til 2004, hvilket fortæller at krydstogtskibene er blevet større.

Såfremt den procentvise stigning i antal anløb (28 %) ganges med den procentvise stigning i det tidsvægtede gennemsnit fås en forventet stigning på 70 % i forhold til 2001. Dette svarer ikke helt

til stigningen i effektforbrug ved kaj på 49 % i nærværende undersøgelse. Dette kan skyldes, at nærværende undersøgelse er baseret på indkomne oplysninger fra rederierne. Disse oplysninger kan afvige fra de teoretisk beregnede værdier, der alene tager udgangspunkt i skibets størrelse og antagelse om bestemt belastning af hjælpemotorer. Vi har på baggrund af dette grund til at antage, at værdierne i 2001 har været overestimerede. Tallene bekræfter imidlertid størrelsesordenen og begge estimater vurderes at være gode.

Forskellen i SO₂ emissionen i de to år er meget markant. Dette skyldes, at svovlindholdet i 2001-opgørelsen var sat til 0,05 %. Rederiernes oplysninger indikerer, at den formentlig ligger omkring 1,6 %. Såfremt tallene korrigeres for denne forskel fås, at SO₂ emissionen er øget med en faktor 49.

Denne undersøgelse indikerer, at den tidligere benyttede værdi på 0,05 % er for lav. Værdien bygger på en antagelse om anvendelse af olie med et meget lavt indhold af svovl.

Vi vurderer, at datamængden i nærværende undersøgelse udviser stor konsistens med tidligere analyser på trods af forskellen i oliens svovlindhold. Denne konsistens er opnået på trods af forskellig metode, hvad angår indsamling af data.

6. Bilagsoversigt

Bilag 1 Spørgeskema udsendt til rederier.

Bilag 2 Resultatskema

Bilag 3 Billeder af 56 krydstogtskibe.

7. Litteraturliste

ⁱ Ocean Cruising & Cruise Ships, Berlin, 2004.

ⁱⁱ Korrespondence med Kenn Jensen, Force Technology (tidl. Dansk Maritime Institut).

ⁱⁱⁱ Vejledning fra Miljøstyrelsen, nr. 2, 2001.

^{iv} Emissioner fra skibe i Havn, Tom Wisman og Arne Oxbøl, Miljøstyrelsen 2002.

^v OML-beregninger for skibe i tre danske havne, Jørgen Boje, Tom Wisman og Arne Oxbøl, Institut for Miljøvurdering, 2003.

[Tom side]

Bilag B

Spørgeskema udsendt til rederierne

Cruise Ships calling Port of Copenhagen
Questionnaire to ships
Use of ship engines while at berth in Port of Copenhagen.

IMO no:Ship Name:

GT:

- 1) Number of engines:.....
- 2) Type of engines:
- 3) Number of exhausts pipes:.....
Exhaust pipes height over water:.....meters
Diameter of exhaust:.....meters
- 3) Fuel quality in use while at berth in Copenhagen:
Heavy/light fuel – Gas/diesel: Sulphur content:.....
Mean total power consumption per hour while at berth in Port of Copenhagen:
..... kW
- 4) How many engines are usually in use during stay in the port:.....
- 5) Are engines equipped with exhaust gas cleaning system: Yes, No.....
Number of engines with exhaust gas cleaning:
- The type of cleaning system:
- 6) The Cleaning System reduces:
SO₂: by, NO_x: by.....%, Particulates by
- 7) Is the Exhaust gas cleaning system used while berthed in Port of Copenhagen:
Yes No.....

If you have a picture of the cruise ship, this would be useful in our project.

Please return the questions to this address by e-mail, fax or mail:

Copenhagen Malmö Port
Nordre Toldbod 7
P.O.Box 9
DK 1001 København K
Att: Verner Bierner Hansen
Fax.: +45 35 46 11 64
E-mail: verner.hansen@cmport.com

Bilag C

Tabel med OML-data vedr. skibe

Krydstogskibets navn	Sp.skema besvaret	Højde af overbygning over vandlinje (meter)	Skorstenshøjde over vandlinjen (meter)	Ydre diameter på skorsten (meter)	Indre diameter på skorstensrør (meter)	Volumenstrøm (Nm ³ /h)	Temperatur i røggassen (°C)	Emission NOx (g/s)	Emission SO ₂ (g/s)	Emission partikler (g/s)
Adonia		40	57	6.0	1.18	53,350	250	20.68	11.28	0.41
Adriana		24	31	2.5	0.53	11,181	250	4.33	2.36	0.09
Aidablu	x	40	50	10	1.05	47,394	200	19.86	18.06	0.40
Akademik Sergey Vavilov		22	28	6.0	0.38	6,037	250	2.34	1.28	0.05
Andrea		30	24	5.0	0.45	8,533	250	3.31	1.80	0.07
Arion		17	27	7.7	0.38	5,808	250	2.25	1.23	0.05
Astor	x	24	38	4.0	0.8	26,011	250	10.08	7.00	0.20
Astoria	x	25	38	1.5	0.79	23,646	250	9.17	7.73	0.18
Aurora		28	56	9.8	1.18	52,331	250	20.29	11.07	0.41
Berlin		26	34	5.2	0.6	15,154	250	5.87	3.20	0.12
Black Prince		18	30	4.8	0.46	9,333	250	3.62	1.97	0.07
Black Watch		29	37	6.8	0.69	20,776	250	8.05	4.39	0.16
Braemar		26	33	4.5	0.62	14,551	250	5.64	3.08	0.11
Bremen		22	28	6.0	0.4	6,382	250	2.47	1.35	0.05
Caronia		27	37	6.3	0.65	17,864	200	7.49	4.68	0.15
Constellation	x	39	54.3	14.7	1.2	55,174	250	21.39	10.11	0.43
Costa Allegra	x	22	33.75	10.2	0.78	23,646	250	9.17	5.00	0.18
Costa Atlantica	x	41	52.3	9.7	1.11	53,956	200	22.61	16.44	0.45
Costa Europe	x	36	47	12.2	0.9	32,316	250	12.53	9.02	0.25
Costa Marina	x	20	33.75	8.7	0.74	23,646	250	9.17	5.00	0.18
Crystal Symphony	x	33	46	7.9	0.8	30,624	200	12.83	10.27	0.26
Delphin	x	21	32	10.0	0.43	7,094	250	2.75	2.00	0.06
Deutschland	x	24	37	5.1	0.6	15,312	200	6.42	7.47	0.13
Discovery	x	20	26	5.1	0.64	15,939	250	6.18	3.37	0.12
Endeavour	x	20	16	0.4	0.28	3,153	250	1.22	0.67	0.02
Europa		24	37	4.0	0.75	20,715	250	8.03	4.38	0.16
Funchal		18	30	7.7	0.45	8,244	250	3.20	1.74	0.06
Grand Princess		50	69	9.7	1.3	73,418	250	28.46	15.52	0.57
Insignia	x	18	31.5	8.0	0.62	18,782	200	7.87	5.84	0.16
Jewel of the Seas		44	63	3.9	1.2	61,560	250	23.86	13.02	0.48
Kristina Regina		13	27	7.0	0.34	4,756	250	1.84	1.01	0.04
Le Diamant	x	20	25.4	0.4	0.35	4,729	250	1.83	1.00	0.04
Lili Marleen	x	10	10	0.2	0.26	2,905	250	1.13	0.61	0.02

Krydstogtskibets navn	Sp.skema besvaret	Højde af overbygning over vandlinje (meter)	Skorstenshøjde over vandlinjen (meter)	Ydre diameter på skorsten (meter)	Indre diameter på skorstensrør (meter)	Volumenstrøm (Nm ³ /h)	Temperatur i røggassen (°C)	Emission NOx (g/s)	Emission SO ₂ (g/s)	Emission partikler (g/s)
Marco Polo		23	34	7.3	0.66	16,478	250	6.39	3.48	0.13
Maxim Gorkiy		26	38	5.0	0.66	18,452	250	7.15	3.90	0.14
Minerva II	x	28	38.7	6.0	0.7	18,917	250	7.33	5.28	0.15
Mona Lisa		22	37	6.7	0.75	21,040	250	8.16	4.45	0.16
Nautica		30	38	5.0	0.76	22,361	250	8.67	4.73	0.17
Noordam		25	39	7.3	0.8	24,377	250	9.45	5.15	0.19
Nordhorge		21	31	6.0	0.47	9,450	250	3.66	2.00	0.07
Norwegian Dream		26	46	9.0	0.9	35,520	250	13.77	7.51	0.28
Ocean Majesty		18	25	4.5	0.48	8,809	250	3.41	1.86	0.07
Ocean Monarch		26	34	8.0	0.6	15,154	250	5.87	3.20	0.12
Oceana		37	57	11.9	1.1	53,223	250	20.63	11.25	0.41
Pacific Venus		20	37	4.0	0.7	20,793	250	8.06	4.40	0.16
Paloma I		20	31	11.4	0.5	10,245	250	3.97	2.17	0.08
Princess Danae	x	18	29.6	12.5	0.5	9,458	250	3.67	0.27	0.07
Prinsendam		30	41	7.0	0.83	26,969	250	10.45	5.70	0.21
Regatta		28	38	7.0	0.71	21,958	250	8.51	4.64	0.17
Rhapsody	x	24	32	5.5	0.56	12,611	250	4.89	0.71	0.10
Rotterdam		32	52	4.0	1	41,407	250	16.05	8.76	0.32
Saga Pearl		17	25	6.7	0.5	10,188	250	3.95	2.15	0.08
Saga Rose		23	39	9.5	0.7	18,116	250	7.02	3.83	0.14
Sea Cloud II	x	10	58.6	0.3	0.25	2,759	250	1.07	0.08	0.02
Seabourn Pride		16	25	0.5	0.45	8,516	250	3.30	1.80	0.07
Seven Seas Voyager	x	32	46.5	5.1	0.9	33,104	250	12.83	7.00	0.26
Silver Cloud		23	34	2.8	0.58	13,119	250	5.09	2.77	0.10
Sundream	x	30	38	10.6	0.55	11,666	250	4.89	2.67	0.10
Van Gogh		22	33	8.5	0.56	12,109	250	4.69	5.46	0.09
Vistamar	x	16	23	4.0	0.35	4,729	250	1.83	1.00	0.04
Westerdam	x	37	58	4.9	1.15	58,331	200	24.44	13.33	0.49
Wind Surf		33	40	0.7	0.52	11,496	250	4.46	0.16	0.09

[Tom side]

Bilag D

Tabel med anløbsdata i sæsonen 2004

Skibsnavn	Ankomst	Afrejse	Kaj	Opholdstid	Nation
Nordnorge	07-04-2004 07:00	08-04-2004 02:00	192	19.0	nis
Lili Marleen	07-04-2004 18:00	08-04-2004 12:00	166	18.0	deu
Lili Marleen	11-04-2004 18:40	12-04-2004 14:00	166	19.3	deu
Lili Marleen	25-04-2004 18:30	26-04-2004 14:00	166	19.5	deu
Black Prince	04-05-2004 14:00	04-05-2004 23:00	191	9.0	bhs
AidaBlu	06-05-2004 11:55	07-05-2004 16:00	193	28.1	gbr
Lili Marleen	09-05-2004 19:00	10-05-2004 13:45	166	18.8	deu
AidaBlu	13-05-2004 12:00	14-05-2004 16:00	193	28.0	gbr
Arion	16-05-2004 06:30	16-05-2004 13:00	191	6.5	pmd
Discovery	16-05-2004 08:35	16-05-2004 16:00	192	7.4	bmu
Maxim Gorkiy	17-05-2004 08:00	17-05-2004 18:00	192	10.0	bhs
Aurora	18-05-2004 09:00	18-05-2004 22:20	193	13.3	gbr
Grand Princess	19-05-2004 05:45	19-05-2004 21:00	254	15.2	bmu
Jewel of the Seas	19-05-2004 08:00	19-05-2004 19:00	192	11.0	bhs
Constellation	19-05-2004 12:00	20-05-2004 12:00	196	24.0	bhs
Discovery	21-05-2004 07:00	21-05-2004 18:45	192	11.8	bmu
Delphin Renaissance	21-05-2004 07:50	21-05-2004 19:05	195	11.3	mhl
Pacific Venus	22-05-2004 09:00	23-05-2004 13:00	192	28.0	jpn
Norwegian Dream	22-05-2004 12:00	23-05-2004 09:15	195	21.2	bhs
Costa Atlantica	23-05-2004 07:45	23-05-2004 19:00	254	11.3	ita
Black Prince	23-05-2004 08:00	23-05-2004 18:00	197	10.0	bhs
Funchal	24-05-2004 11:30	24-05-2004 23:50	192	12.3	pmd
Crystal Symphony	25-05-2004 08:05	25-05-2004 18:00	193	9.9	bhs
Saga Rose	25-05-2004 11:00	25-05-2004 17:00	195	6.0	bhs
Van Gogh	25-05-2004 11:40	25-05-2004 23:55	197	12.3	
Lili Marleen	26-05-2004 18:40	27-05-2004 14:00	166	19.3	deu
Ocean Monarch	28-05-2004 07:15	28-05-2004 13:00	195	5.7	prt
AidaBlu	28-05-2004 08:00	28-05-2004 16:00	192	8.0	gbr
Grand Princess	28-05-2004 13:00	29-05-2004 21:00	254	32.0	bmu
Arion	29-05-2004 06:20	29-05-2004 13:00	191	6.7	pmd
Endeavour	29-05-2004 07:25	29-05-2004 23:00	193	15.6	bhs
Maxim Gorkiy	30-05-2004 07:45	30-05-2004 15:00	192	7.3	bhs
Costa Atlantica	30-05-2004 07:55	30-05-2004 19:00	254	11.1	ita
Jewel of the Seas	31-05-2004 07:30	31-05-2004 18:50	192	11.3	bhs
Costa Marina	31-05-2004 08:00	31-05-2004 18:30	197	10.5	ita
Constellation	02-06-2004 12:00	03-06-2004 12:00	192	24.0	bhs
Mona Lisa	02-06-2004 12:00	02-06-2004 20:00	197	8.0	bhs
Saga Pearl	03-06-2004 08:00	03-06-2004 18:00	195	10.0	bhs
Costa Allegra	03-06-2004 11:00	03-06-2004 20:00	197	9.0	ita
Norwegian Dream	03-06-2004 13:00	04-06-2004 09:35	192	20.6	bhs
Astor	05-06-2004 07:30	05-06-2004 14:00	192	6.5	bhs
Black Watch	05-06-2004 12:00	05-06-2004 22:50	195	10.8	bhs
Regatta	06-06-2004 07:00	06-06-2004 18:00	192	11.0	mhl
Costa Atlantica	06-06-2004 07:30	06-06-2004 19:00	254	11.5	ita
Berlin	06-06-2004 13:00	06-06-2004 19:30	195	6.5	deu
Lili Marleen	06-06-2004 18:25	07-06-2004 14:00	166	19.6	deu
Adonia	07-06-2004 08:00	07-06-2004 18:00	192	10.0	gbr
Grand Princess	08-06-2004 05:25	08-06-2004 21:00	254	15.6	bmu
Costa Marina	09-06-2004 08:00	09-06-2004 18:25	197	10.4	ita
Ocean Majesty	09-06-2004 08:15	09-06-2004 17:00	192	8.8	prt
AidaBlu	11-06-2004 08:00	11-06-2004 16:00	192	8.0	gbr
Jewel of the Seas	12-06-2004 08:00	12-06-2004 19:00	192	11.0	bhs
Adriana	12-06-2004 09:00	12-06-2004 17:45	177	8.8	vct
Costa Atlantica	13-06-2004 07:30	13-06-2004 19:00	254	11.5	ita
Deutschland	14-06-2004 08:30	14-06-2004 19:00	197	10.5	deu
Aurora	15-06-2004 09:45	16-06-2004 00:30	192	14.8	gbr
Norwegian Dream	15-06-2004 12:40	16-06-2004 09:00	196	20.3	bhs
Constellation	16-06-2004 12:00	17-06-2004 12:00	192	24.0	bhs
Lili Marleen	16-06-2004 13:30	17-06-2004 13:30	166	24.0	deu
Grand Princess	17-06-2004 07:00	18-06-2004 21:00	254	38.0	bmu
Endeavour	18-06-2004 06:35	18-06-2004 23:00	166	16.4	bhs
Saga Rose	18-06-2004 09:30	18-06-2004 17:00	194	7.5	bhs
Rhapsody	19-06-2004 11:00	19-06-2004 16:00	254	5.0	ita
Costa Atlantica	20-06-2004 07:30	20-06-2004 19:00	254	11.5	ita
Lili Marleen	20-06-2004 18:00	21-06-2004 14:00	166	20.0	deu

Tabel med anløbsdata

Bilag D

Marco Polo	21-06-2004 07:00	21-06-2004 18:10	197	11.2	bhs
Silver Cloud	21-06-2004 08:00	21-06-2004 18:00	192	10.0	bhs
Noordam	22-06-2004 05:00	22-06-2004 17:00	254	12.0	nld
Constellation	23-06-2004 11:40	24-06-2004 17:00	192	29.3	bhs
Akademik Sergey Vavilov	23-06-2004 16:00	24-06-2004 16:00	156	24.0	rus
Westerdam	24-06-2004 05:00	24-06-2004 17:00	252	12.0	bhs
Deutschland	24-06-2004 08:00	24-06-2004 16:50	197	8.8	deu
Regatta	24-06-2004 08:00	24-06-2004 20:00	195	12.0	mhl
Le Diamant	24-06-2004 09:00	24-06-2004 16:00	245	7.0	
Braemar	25-06-2004 08:00	25-06-2004 16:00	156	8.0	bhs
Oceana	25-06-2004 08:00	25-06-2004 18:10	194	10.2	gbr
Saga Pearl	25-06-2004 08:00	25-06-2004 23:00	192	15.0	bhs
Crystal Symphony	26-06-2004 05:30	26-06-2004 18:00	192	12.5	bhs
Adriana	26-06-2004 08:20	26-06-2004 19:50	195	11.5	vct
Rhapsody	26-06-2004 09:00	26-06-2004 17:00	254	8.0	ita
Seven Seas Voyager	27-06-2004 07:00	27-06-2004 18:00	192	11.0	bhs
Costa Atlantica	27-06-2004 07:30	27-06-2004 19:00	254	11.5	ita
Norwegian Dream	27-06-2004 12:35	28-06-2004 09:20	195	20.8	bhs
Grand Princess	28-06-2004 05:00	28-06-2004 21:00	254	16.0	bmu
Marco Polo	28-06-2004 07:00	28-06-2004 18:00	197	11.0	bhs
Costa Marina	28-06-2004 08:00	28-06-2004 19:00	245	11.0	ita
Delphin Renaissance	28-06-2004 08:00	28-06-2004 21:00	192	13.0	mhl
Kristina Regina	29-06-2004 11:40	29-06-2004 17:45	192	6.1	fin
Black Prince	29-06-2004 12:30	29-06-2004 23:10	194	10.7	bhs
Vistamar	30-06-2004 07:00	30-06-2004 13:00	192	6.0	bhs
Discovery	30-06-2004 07:30	01-07-2004 01:20	194	17.8	bmu
Lili Marleen	30-06-2004 17:00	01-07-2004 12:00	166	19.0	deu
Costa Europa	01-07-2004 08:00	01-07-2004 18:00	192	10.0	ita
Noordam	02-07-2004 05:00	02-07-2004 17:00	254	12.0	nld
AidaBlu	02-07-2004 09:00	02-07-2004 16:00	192	7.0	gbr
Rhapsody	03-07-2004 08:00	03-07-2004 16:00	254	8.0	ita
Van Gogh	03-07-2004 11:30	03-07-2004 23:59	192	12.5	
Costa Atlantica	04-07-2004 07:00	04-07-2004 19:00	254	12.0	ita
Regatta	04-07-2004 07:30	04-07-2004 18:00	192	10.5	mhl
Lili Marleen	04-07-2004 19:00	05-07-2004 14:00	166	19.0	deu
Jewel of the Seas	06-07-2004 08:00	06-07-2004 19:00	192	11.0	bhs
Nautica	06-07-2004 12:00	07-07-2004 18:00	196	30.0	
Grand Princess	07-07-2004 13:00	08-07-2004 21:00	254	32.0	bmu
Silver Cloud	08-07-2004 07:30	08-07-2004 23:00	192	15.5	bhs
Andrea	09-07-2004 04:40	10-07-2004 13:00	198	32.3	lbr
Seven Seas Voyager	09-07-2004 07:15	09-07-2004 22:55	192	15.7	bhs
Insignia	09-07-2004 12:00	10-07-2004 18:00	254	30.0	mhl
Norwegian Dream	09-07-2004 13:00	10-07-2004 09:45	195	20.8	bhs
Rhapsody	10-07-2004 09:00	10-07-2004 17:00	254	8.0	ita
Black Watch	10-07-2004 10:50	11-07-2004 06:00	192	19.2	bhs
Costa Atlantica	11-07-2004 07:30	11-07-2004 19:00	254	11.5	ita
Bremen	11-07-2004 08:00	11-07-2004 17:00	192	9.0	bhs
Noordam	12-07-2004 05:00	12-07-2004 17:00	254	12.0	nld
Prinsendam	12-07-2004 05:00	12-07-2004 14:00	245	9.0	nld
Wind Surf	12-07-2004 06:00	12-07-2004 20:00	252	14.0	
Marco Polo	12-07-2004 07:45	12-07-2004 18:00	197	10.3	bhs
Constellation	13-07-2004 11:35	14-07-2004 16:00	192	28.4	bhs
Lili Marleen	13-07-2004 12:00	14-07-2004 08:00	166	20.0	deu
Seabourn Pride	13-07-2004 12:30	14-07-2004 17:00	195	28.5	bhs
Kristina Regina	14-07-2004 09:00	14-07-2004 16:00	197	7.0	fin
Sea Cloud II	14-07-2004 21:30	15-07-2004 18:00	166	20.5	mlt
AidaBlu	16-07-2004 09:00	16-07-2004 16:00	192	7.0	gbr
Rhapsody	17-07-2004 08:00	17-07-2004 16:00	254	8.0	ita
Funchal	17-07-2004 13:00	17-07-2004 19:00	245	6.0	pmd
Grand Princess	18-07-2004 05:00	18-07-2004 21:00	254	16.0	bmu
Westerdam	18-07-2004 05:00	18-07-2004 17:00	252	12.0	bhs
Costa Atlantica	18-07-2004 07:00	18-07-2004 19:00	245	12.0	ita
Van Gogh	18-07-2004 10:45	19-07-2004 00:05	192	13.3	bhs
Lili Marleen	18-07-2004 18:00	19-07-2004 14:00	166	20.0	deu
Marco Polo	19-07-2004 06:30	19-07-2004 18:10	197	11.7	bhs
Norwegian Dream	21-07-2004 13:20	22-07-2004 09:45	192	20.4	bhs

Tabel med anløbsdata

Bilag D

Noordam	22-07-2004 05:00	22-07-2004 17:00	254	12.0	nld
Wind Surf	22-07-2004 06:00	22-07-2004 20:00	252	14.0	
Silver Cloud	22-07-2004 07:35	22-07-2004 23:59	197	16.4	bhs
Regatta	22-07-2004 07:45	22-07-2004 20:00	195	12.3	mhl
Seven Seas Voyager	22-07-2004 22:45	23-07-2004 18:00	192	19.3	bhs
Saga Pearl	24-07-2004 08:00	24-07-2004 23:00	196	15.0	bhs
Jewel of the Seas	24-07-2004 08:45	24-07-2004 22:00	193	13.2	bhs
Rhapsody	24-07-2004 09:00	24-07-2004 17:00	254	8.0	ita
Costa Atlantica	25-07-2004 07:30	25-07-2004 19:00	254	11.5	ita
Marco Polo	26-07-2004 06:20	26-07-2004 18:05	197	11.7	bhs
Rotterdam	27-07-2004 05:00	27-07-2004 17:00	245	12.0	nld
Lili Marleen	27-07-2004 12:00	28-07-2004 08:00	166	20.0	deu
Grand Princess	27-07-2004 13:00	28-07-2004 21:00	254	32.0	bmu
Constellation	28-07-2004 07:00	28-07-2004 18:00	192	11.0	bhs
Sundream	28-07-2004 09:00	28-07-2004 18:00	196	9.0	vct
Seven Seas Voyager	30-07-2004 06:40	30-07-2004 23:00	192	16.3	bhs
AidaBlu	30-07-2004 07:30	30-07-2004 16:20	195	8.8	gbr
Braemar	30-07-2004 08:00	30-07-2004 16:00	177	8.0	bhs
Andrea	30-07-2004 10:00	01-08-2004 13:00	197	51.0	lbr
Rhapsody	31-07-2004 08:00	31-07-2004 16:00	254	8.0	ita
Paloma I	31-07-2004 14:00	31-07-2004 20:00	192	6.0	vct
Noordam	01-08-2004 05:00	01-08-2004 17:00	245	12.0	nld
Costa Atlantica	01-08-2004 07:00	01-08-2004 19:00	254	12.0	ita
Regatta	01-08-2004 07:30	01-08-2004 18:00	192	10.5	mhl
Lili Marleen	01-08-2004 18:00	02-08-2004 14:00	166	20.0	deu
Paloma I	02-08-2004 07:50	02-08-2004 12:50	192	5.0	vct
Norwegian Dream	02-08-2004 18:15	03-08-2004 12:00	192	17.8	bhs
Sundream	03-08-2004 09:45	03-08-2004 22:45	196	13.0	vct
Adonia	03-08-2004 13:15	03-08-2004 23:00	192	9.8	gbr
Sea Cloud II	04-08-2004 08:00	04-08-2004 20:00	166	12.0	mlt
Braemar	04-08-2004 13:00	05-08-2004 02:00	154	13.0	bhs
Caronia	04-08-2004 13:50	05-08-2004 07:00	192	17.2	gbr
Silver Cloud	05-08-2004 08:00	05-08-2004 19:00	192	11.0	bhs
Grand Princess	07-08-2004 05:00	07-08-2004 21:00	254	16.0	bmu
Princess Danae	07-08-2004 05:30	07-08-2004 16:55	195	11.4	pmd
Rhapsody	07-08-2004 08:00	07-08-2004 16:00	254	8.0	ita
Costa Europa	07-08-2004 08:25	08-08-2004 18:55	192	34.5	ita
Costa Atlantica	08-08-2004 07:00	08-08-2004 19:00	254	12.0	ita
Prinsendam	09-08-2004 05:00	09-08-2004 22:00	254	17.0	nld
Marco Polo	09-08-2004 06:30	09-08-2004 17:20	197	10.8	bhs
Berlin	09-08-2004 07:50	09-08-2004 17:45	192	9.9	deu
Saga Rose	09-08-2004 11:00	09-08-2004 17:00	194	6.0	bhs
Costa Marina	10-08-2004 08:00	10-08-2004 18:55	197	10.9	ita
Seabourn Pride	10-08-2004 11:00	11-08-2004 16:50	195	29.8	bhs
Noordam	11-08-2004 05:00	11-08-2004 17:00	254	12.0	nld
Wind Surf	11-08-2004 06:00	11-08-2004 20:00	252	14.0	
Jewel of the Seas	11-08-2004 07:45	11-08-2004 19:00	192	11.3	bhs
Constellation	11-08-2004 11:30	12-08-2004 12:00	197	24.5	bhs
Crystal Symphony	12-08-2004 06:00	12-08-2004 18:00	254	12.0	bhs
Europa	12-08-2004 07:45	12-08-2004 17:50	192	10.1	bhs
Deutschland	12-08-2004 08:00	12-08-2004 17:55	195	9.9	deu
Seven Seas Voyager	13-08-2004 07:00	13-08-2004 18:00	192	11.0	bhs
AidaBlu	13-08-2004 08:30	13-08-2004 16:00	195	7.5	gbr
Minerva II	13-08-2004 12:00	15-08-2004 14:00	197	50.0	mhl
Princess Danae	14-08-2004 07:45	14-08-2004 20:00	195	12.3	pmd
Norwegian Dream	14-08-2004 18:00	15-08-2004 11:50	192	17.8	bhs
Costa Atlantica	15-08-2004 07:30	15-08-2004 19:00	254	11.5	ita
Black Watch	15-08-2004 13:00	15-08-2004 22:40	195	9.7	bhs
Nautica	15-08-2004 13:15	16-08-2004 18:00	192	28.7	
Lili Marleen	15-08-2004 18:00	16-08-2004 14:00	166	20.0	deu
Marco Polo	16-08-2004 06:20	16-08-2004 17:45	197	11.4	bhs
Adriana	16-08-2004 08:45	16-08-2004 20:00	194	11.3	vct
Grand Princess	16-08-2004 13:00	17-08-2004 21:00	254	32.0	bmu
Discovery	18-08-2004 07:30	19-08-2004 01:30	192	18.0	bmu
Europa	18-08-2004 17:30	19-08-2004 23:30	195	30.0	bhs
Regatta	19-08-2004 07:30	19-08-2004 20:00	192	12.5	mhl

Tabel med anløbsdata

Bilag D

Berlin	19-08-2004 08:00	19-08-2004 19:00	194	11.0	deu
Costa Marina	19-08-2004 08:00	19-08-2004 19:00	245	11.0	ita
Seven Seas Voyager	20-08-2004 07:30	20-08-2004 22:45	192	15.2	bhs
Noordam	21-08-2004 05:00	21-08-2004 17:00	254	12.0	nld
Wind Surf	21-08-2004 06:00	21-08-2004 18:00	252	12.0	
Rhapsody	21-08-2004 09:00	21-08-2004 17:00	245	8.0	ita
Costa Atlantica	22-08-2004 07:00	22-08-2004 19:00	254	12.0	ita
Marco Polo	23-08-2004 06:25	23-08-2004 18:00	195	11.6	bhs
Jewel of the Seas	23-08-2004 07:20	23-08-2004 19:10	192	11.8	bhs
Costa Allegra	23-08-2004 08:00	23-08-2004 18:45	197	10.7	ita
Constellation	24-08-2004 07:15	24-08-2004 19:00	192	11.7	bhs
Lili Marleen	24-08-2004 12:00	25-08-2004 08:00	166	20.0	deu
Arion	24-08-2004 15:30	24-08-2004 23:59	195	8.5	pmd
Sundream	25-08-2004 06:50	25-08-2004 18:00	192	11.2	vct
Deutschland	25-08-2004 09:31	25-08-2004 18:50	195	9.3	deu
Le Diamant	26-08-2004 08:00	26-08-2004 18:00	192	10.0	
Norwegian Dream	26-08-2004 18:25	27-08-2004 12:10	194	17.8	bhs
Grand Princess	27-08-2004 05:00	27-08-2004 21:00	254	16.0	bmu
AidaBlu	27-08-2004 07:45	27-08-2004 16:00	192	8.3	gbr
Costa Marina	28-08-2004 07:20	28-08-2004 18:45	195	11.4	ita
Rhapsody	28-08-2004 08:00	28-08-2004 16:00	254	8.0	ita
Adriana	28-08-2004 09:00	28-08-2004 20:00	177	11.0	vct
Adonia	28-08-2004 13:00	28-08-2004 23:00	192	10.0	gbr
Costa Atlantica	29-08-2004 07:30	29-08-2004 19:00	254	11.5	ita
Saga Pearl	29-08-2004 08:00	29-08-2004 23:00	192	15.0	bhs
Lili Marleen	29-08-2004 18:00	30-08-2004 14:00	166	20.0	deu
Costa Europa	30-08-2004 07:00	30-08-2004 18:00	192	11.0	ita
Noordam	31-08-2004 05:00	31-08-2004 17:00	254	12.0	nld
Sundream	31-08-2004 11:15	31-08-2004 23:00	192	11.8	esp
Seven Seas Voyager	01-09-2004 08:00	01-09-2004 23:00	192	15.0	bhs
Oceana	02-09-2004 08:15	02-09-2004 23:05	192	14.8	gbr
Ocean Monarch	03-09-2004 10:00	03-09-2004 18:00	192	8.0	prt
Constellation	04-09-2004 06:00	05-09-2004 12:00	245	30.0	bhs
Rhapsody	04-09-2004 09:00	04-09-2004 17:00	254	8.0	ita
Costa Atlantica	05-09-2004 07:00	05-09-2004 19:00	254	12.0	ita
Prinsendam	06-09-2004 05:00	06-09-2004 23:59	254	19.0	nld
Delphin Renaissance	06-09-2004 08:00	06-09-2004 21:10	192	13.2	mhl
Astoria	07-09-2004 07:30	07-09-2004 13:30	197	6.0	lbr
Ocean Majesty	07-09-2004 08:15	07-09-2004 23:59	192	15.7	prt
Marco Polo	07-09-2004 09:15	07-09-2004 18:00	194	8.8	bhs
Norwegian Dream	07-09-2004 18:25	08-09-2004 12:00	197	17.6	bhs
Arion	10-09-2004 07:00	10-09-2004 13:00	177	6.0	pmd
Costa Europa	10-09-2004 07:00	10-09-2004 18:00	192	11.0	ita
AidaBlu	10-09-2004 07:30	10-09-2004 16:00	195	8.5	gbr
Saga Rose	10-09-2004 11:00	10-09-2004 17:00	197	6.0	bhs
Noordam	10-09-2004 21:45	11-09-2004 15:00	195	17.3	nld
Rhapsody	11-09-2004 09:00	11-09-2004 17:00	254	8.0	ita
Costa Atlantica	12-09-2004 07:00	12-09-2004 19:00	254	12.0	ita
Lili Marleen	12-09-2004 18:00	13-09-2004 14:00	166	20.0	deu
Black Watch	13-09-2004 10:00	14-09-2004 06:00	195	20.0	bhs
Discovery	13-09-2004 11:10	14-09-2004 01:30	192	14.3	bmu
Costa Allegra	15-09-2004 08:00	15-09-2004 19:15	197	11.3	ita
AidaBlu	17-09-2004 07:30	17-09-2004 16:00	192	8.5	gbr
Ocean Majesty	19-09-2004 08:30	19-09-2004 18:30	192	10.0	prt
Norwegian Dream	19-09-2004 18:00	20-09-2004 12:00	194	18.0	bhs
Lili Marleen	22-09-2004 18:00	23-09-2004 13:00	166	19.0	deu
Maxim Gorkiy	24-09-2004 07:30	24-09-2004 15:00	192	7.5	bhs
AidaBlu	24-09-2004 07:40	24-09-2004 16:25	195	8.8	gbr
Ocean Monarch	25-09-2004 07:45	25-09-2004 13:00	192	5.3	prt
Lili Marleen	26-09-2004 18:00	27-09-2004 14:00	166	20.0	deu
Braemar	01-10-2004 08:00	01-10-2004 16:00	177	8.0	bhs
Lili Marleen	08-10-2004 07:30	08-10-2004 13:00	166	5.5	deu

[Tom side]

Bilag E

Serie af overheads: "Den begrænsede adgang til ozon sætter et loft over NO₂-koncentrationen"

Bilaget viser en serie PowerPoint-overheads, der har været benyttet af Danmarks Miljøundersøgelser til at anskueliggøre den mekanisme, som omtales i afsnit 2.1.

Betragtningerne gælder kun for spredning af forurening på lokal skala - f.eks. krydstogtskibes bidrag til forurening af byluften i København. Derimod kommer der flere mekanismer i spil, hvis man betragter langtransport - d.v.s. når luftforureningen er undervejs i timevis eller dagevis.



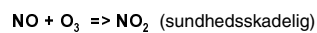
Den begrænsede adgang til ozon sætter et loft over NO₂-koncentrationen

De følgende slides forklarer, hvordan mekanismen virker.

Stofnavne

- ◆ O₃: Ozon
- ◆ NO: Kvælstofoxid
- ◆ NO₂: Kvælstofdioxid (sundhedsskadeligt)
- ◆ NO_x: En blanding af NO og NO₂

Ingredienser i problemstillingen



- ◆ Fra forbrændingsmotorer – f.eks. fra skibe, der ligger i havn – udsendes der kvælstofoxider, NO_x.
- ◆ En ganske lille del (5-10%) foreligger som det sundhedsskadelige NO₂.
- ◆ Hovedparten udsendes som umiddelbart harmløst NO.
- ◆ MEN: Hvis et NO-molekyle møder et O₃-molekyle, vil de hurtigt reagere og danne sundhedsskadelig NO₂.

Trafikerede gader

I trafikerede gader er ozonen "brugt op":

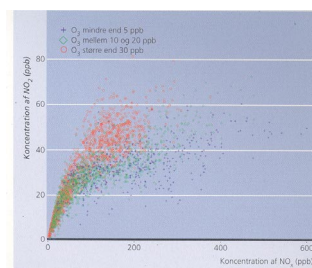
Der er megen NO fra biludstødning, men ingen ozon, der kan omdanne det til NO₂

Ozon måles andre steder end gader

Ozon-koncentrationen i den omgivende luft uden for gaderne bestemmer, hvor meget NO₂, der kan dannes.

Den omgivende lufts ozon måles uden for byen (f.eks. i Lille Valby ved Roskilde Fjord), men også i "bybaggrunden", f.eks. på taget af H.C. Ørsted-instituttet i Universitetsparken.

Måleresultater: Der er loft over NO₂-koncentrationen



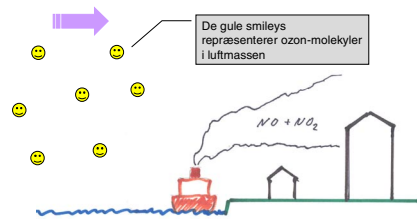
Hvor høje NO₂-koncentrationer kan man få?

Vi har en skorsten, der udsender en masse NO samt en smule NO₂. Vi betragter røgfanens skæbne.

Koncentrationen af NO₂ i røgfanen kan findes som summen af

1. Bidrag fra direkte emitteret NO₂
2. Et bidrag af højest samme størrelse som ozonkoncentrationen i den indstrømmende luftmasse.
Dette uddybes i det følgende...

Eksempel: Ozonholdig luft blæser mod vest



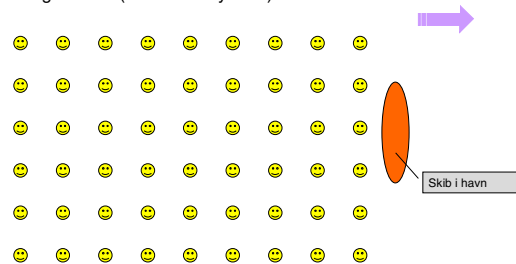
En lignelse...

Betragt ozon-molekylerne som en flok ungmøer, der marcherer mod vest.

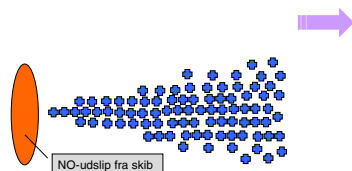


Set fra oven...

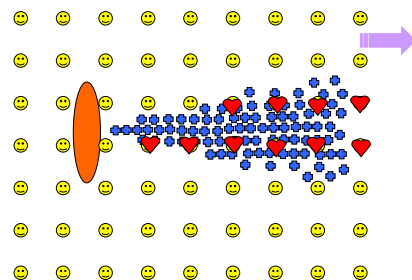
Ungmøerne (ozon-molekylerne) marcherer mod vest



Ungersvende (NO) myldrer ud af et skib



Ungmøer og ungersvende danner par (NO₂)



Resultat:

- ◆ Vi får dannet massevis af par, men de marcherer afsted lige så spredt som ungmøerne gjorde det.

I atmosfæren gælder tilsvarende

- ◆ Koncentrationen af NO₂-molekyler ("par") vil ikke blive større end den oprindelige koncentration af ozon-molekyler (ungmøer) var.

Sammenfatning

Koncentrationen af NO₂ i røgfanen kan findes som summen af

1. Bidrag fra direkte emitteret NO₂
2. Et bidrag af højst samme størrelse som ozonkoncentrationen i den indstrømmende luftmasse.
(Her forudsættes det, at koncentrationen regnes i ppb)

Nogle tal

- ◆ Grænseværdien for NO₂ fastlægger, at der hvert år højst må være 18 timeværdier større end 200 µg/m³.
- ◆ I de senere år har ozon-koncentrationen intet sted i Danmark overskredet 90 ppb (timemiddelværdi).
En mere typisk værdi er 20-30 ppb.
- ◆ Selv om man har en høj koncentration af NO i en røgfan, vil det altså være *uhyre sjældent, at man kan få omdannet så meget som 90 ppb NO til NO₂*.
Regnet i enheden µg/m³ svarer en koncentration på 90 ppb NO₂ til ca. 180 µg/m³.
- ◆ Oven i dette tal kommer så den NO₂, der udsendes direkte, og som gradvis fortyndes.