

Emissioner fra skibe i havn – mængder og betydning for omgivelserne



**Arne Oxbøl, Tom Wismann og Jørgen Boje, dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ
Henrik Saxe og Tommy Larsen, Institut for Miljøvurdering**

August 2003

Indledning

Forurener skibe, når de ligger i havn, og hvor betydelig er forureningen i givet fald? Disse spørgsmål søges besvaret i denne artikel. Svarene kommer som resultat af enkle beregninger og en række antagelser for havne, hvor man kender antallet af skibe, skibstyper, skibsstørrelser og den gennemsnitlige opholdstid i havnen.

Spørgsmålene er relevante, fordi skibsfarten ikke er undersøgt i tilsvarende grad som andre trafikformer, hvad angår forurening. Artiklen redegør for to undersøgelser og er derfor delt i to dele. Første del handler om en vurdering af mængden af forurenende stoffer fra skibe i tre danske havne (emissionen). Anden del vurderer hvor meget, stofferne spredes til havnens nære omgivelser (immissionen).

Konklusion

Skibstrafik i Køge Havn vurderes at være uden betydning for luftkvaliteten i byen, da mængden af alle de undersøgte stoffer er lav.

Derimod kan bidraget med NO_x fra skibe i Københavns Havn have nogen betydning. I områder nær havnen, som omfatter både boliger og kontorer, udgør bidraget mere end 25% af grænseværdien for NO_2 . I ganske små områder svarer bidraget til mere end grænseværdien. De væsentligste kilder til emission af NO_x er relateret til aktiviteter ved kaj, og det er derfor muligt at reducere skibenes bidrag væsentligt ved at forsyne dem med energi fra land.

I Helsingør kan bidraget med NO_x fra færgetrafikken også være betydende. Den væsentligste kilde er færgernes manøvrer ved ind- og udsejling. Det er derfor ikke muligt at reducere bidraget væsentligt ved at forsyne dem med energi fra land.

Beregningerne bygger på en række antagelser, og det anbefales at lave mere detaljerede undersøgelser, hvor bidraget med NO_x kan være væsentligt, evt. suppleret med målinger af luftkvaliteten.

Forurenende stoffer fra skibe - emissionen

Baggrund og formål

I 2001 fik Miljøstyrelsen udarbejdet beregninger af energiforbrug og emissioner fra skibe i farvandene omkring Danmark¹. Disse beregninger viser, hvor meget skibe forurener ved sejlad. Den Europæiske Kommission har diskuteret en ny EU strategi for begrænsning af emissioner fra skibe. EU's strategi har specielt fokus på at reducere NO_x og SO_2 emissioner (kvælstofoxider og svovldioxid), der bidrager til forurening af vandmiljøet.

Mængden af SO_2 fra skibe i farvandene omkring Danmark i 1999 viste sig at være cirka 2,4 gange så stor som den samlede SO_2 udledning på land i Danmark i 1999. Tilsvarende var mængden af NO_x fra skibe cirka 1,1 gang så stor som den samlede NO_x udledning i Danmark. Der er tale om betydelige udledninger af SO_2 og NO_x fra skibe i sejlads, og det er interessant at kunne beregne, hvor meget skibe forurener, når de ligger til kaj og manøvrerer i havn.

Miljøstyrelsen har derfor fået lavet endnu en undersøgelse. Dens formål er at give detaljerede beregninger af, hvor meget energi, der bruges i havnene i Helsingør, København og Køge, og

hvor meget SO₂, CO₂ (kuldioxid), CO (kulilte), HC (kulbrinte) og NO_x der udledes. Undersøgelsen beregner også udledningen af partikler².

Miljøstyrelsen skal bruge beregningen til at vurdere, om det vil have en miljømæssig betydning, at skibene slukker for deres hjælpemotorer, mens de ligger i havn, og i stedet bliver forsynet med strøm fra land.

Undersøgelsen

Undersøgelsen beskæftiger sig med forureningen fra handelsskibe, der kan opdeles i fragtskibe og passagerskibe. Fragtskibe er igen opdelt i tankskibe, andre bulk carriers og container-skibe. Passagerskibe er opdelt i færger og krydstogtskibe.

Undersøgelsen er i videst muligt omfang udført på basis af faktuelle oplysninger fra havnene og statistiske tabeller. Derudover er to internationale rapporter om emnet blevet gennemgået, ligesom andres erfaringer er inddraget i vurderingerne.

Der er gennemført skøn over skibsstørrelser, motorstørrelser og energiforbrug for hver enkelt type skib.

Emissionsfaktorer og energiforbrug er vurderet ud fra oplysninger i projektet fra 2001 og øvrige kilder³⁻⁵.

Aktiviteter "Ved kaj"

Når skibet ligger ved kaj, er der blandt andet energiforbrug til lys, varme, aircondition og madlavning til besætning og passagerer. Eventuelle kølerum skal holdes kolde, og der kan være tale om losning og lastning med skibets egne kraner og pumper. Især på krydstogtskibe er der et stort forbrug til opretholdelse af passagerernes komfort.

Manøvrer

Når skibet går til kaj og forlader den igen, foretager det vendinger, opbremsninger og accelerationer, som alle er mere energikrævende end sejlads med jævn fart.

Antagelser om skibsmotorernes energiforbrug

Emissioner fra motorer er proportionale med motorens ydelse - og dermed skibets energiforbrug. Emissionerne afhænger desuden af den anvendte olie kvalitet. Der er to typer motorer i et skib: Hovedmotorerne, som bruges ved sejlads og manøvrer, og hjælpemotorer, som laver energi til skibets øvrige funktioner.

Forbruget på hovedmotorerne ved sejlads og manøvrer i havn antages at være fra 25% til 50% af den installerede effekt – afhængig af skibstype.

MAN B&W har bidraget med oplysninger om sammenhængen mellem størrelsen af hovedmotorer på fragtskibe og deres hjælpemotorers effektforsøg⁵.

For færger og krydstogtskibe har vi fundet detaljerede oplysninger om såvel hoved- som hjælpemotorer på et stort udvalg af de betragtede skibe, bl.a. ved henvendelse til færgerederierne. Disse oplysninger har vi brugt til detaljerede beregninger for hvert skib.

For tankskibe er der yderligere et stort forbrug ved losning og lastning af flydende gods. Der er erfaring for, at der bruges 0,7 kg olie pr. ton losset eller lastet gods⁴.

Beregning af gennemsnitlige motoreffekter

Det har ikke været muligt at finde præcise oplysninger om installeret effekt på hovedmotorerne på alle skibe i de havne, der er blevet undersøgt. Derfor har det været nødvendigt at beregne en gennemsnitlig motoreffekt på baggrund af oplysninger om 466 skibe og deres type⁶.

Beregning af skibstrafik, skibsstørrelser og opholdstider

Trafikken i hver havn er opgjort på basis af ⁷. Statistikken oplyser bl.a. antal tankskibe og andre fragtskibstyper, dog uden at angive størrelse. Statistikken oplyser også antal fragtskibe inden for forskellige størrelsesintervaller, men uden at angive typerne af fragtskibe. Det er ikke muligt at koble de to oplysninger og bestemme, hvor store f.eks. tankskibene har været.

Vi har derfor beregnet en gennemsnitsstørrelse for fragtskibe og antager, at denne gennemsnitsstørrelse er gyldig for både tankskibe og andre fragtskibe. Resultaterne angives som gennemsnit for hver skibstype.

Færgernes størrelsesfordeling er bestemt ud fra kendskabet til hvilke færger, der sejler på de enkelte ruter til f.eks. Norge og Polen.

Opholdstiden for fragtskibe i København er vurderet på grundlag af præcise oplysninger om anløb i én måned. Tilsvarende er opholdstiden for færger opgjort på grundlag af sejlplanen for de enkelte ruter.

For krydstogtskibe findes der data for samtlige anløb af krydstogtskibe i 2001, herunder størrelser på skibene og opholdstider i havnen. Der findes også oplysninger om hjælpemaskineri for nogle af disse skibe, og der er fundet en lineær sammenhæng med skibenes størrelse (bruttotonnage). På det grundlag har vi beregnet den installerede effekt for hjælpemaskineriet på alle skibene.

Tal for emissioner fra skibsmotorerne og svovlindhold i olien

Til beregninger af emissioner fra fragtskibes hovedmotorer har vi brugt emissionsfaktorer for ”medium speed” motorer i fragtskibe¹.

Der regnes med 1,5% svovl i olien, fordi det forventes, at Danmark snart ratificerer bilag VI til Den Internationale Søfartsorganisation's MARPOL konvention. Ifølge bilag VI må der for fremtiden kun anvendes olie med 1,5% svovl eller mindre i Nord- og Østersøen.

For krydstogtskibes hovedmotorer har vi brugt faktorer for ”medium speed” motorer i passagerskibe¹. Der regnes med 0,5% svovl i olien.

Emissionsfaktorer for hjælpemotorer er valgt på grundlag af ⁵.

I undersøgelsen antages det, at svovlindholdet i olien til hjælpemaskineriet er lavere end svovlindholdet i olien til hovedmotorerne. Svovlindholdet i olien til hjælpemotorerne er sat til 1,0% for fragtskibe og færger. For krydstogtskibe er svovlindholdet sat til 0,05%, fordi rederierne formodes at købe olie med lavt svovlindhold af hensyn til deres miljøimage.

Eksempel på beregninger af emissioner

Beregningerne illustreres for emission fra skibe der ligger ved kaj i Københavns Havn.

Tabel 1 samler de relevante tal til beskrivelse af skibenes energiforbrug. Oplysninger og beregninger er samlet som beskrevet i tidligere afsnit.

Tabel 1: Beregning af energiforbrug ved kaj i Københavns Havn

Skibstype	Antal	Bruttotonnage (middel)	Tid i havn timer	Hovedmotor kW	Effekt på hjælpemotorer	
					Beregnet kW	Total MWh
Tankskibe	2400	5.400	8,8	3.200	240	5.100
Andre bulkcarriers	740	5.400	8,8	3.200	240	1.600
Containerskibe	1400	5.400	8,8	4.300	260	3.100
Færger	1100	21.000	10	-	-	13.000
Krydstogtskibe	200	30.000	18	-	-	9.000

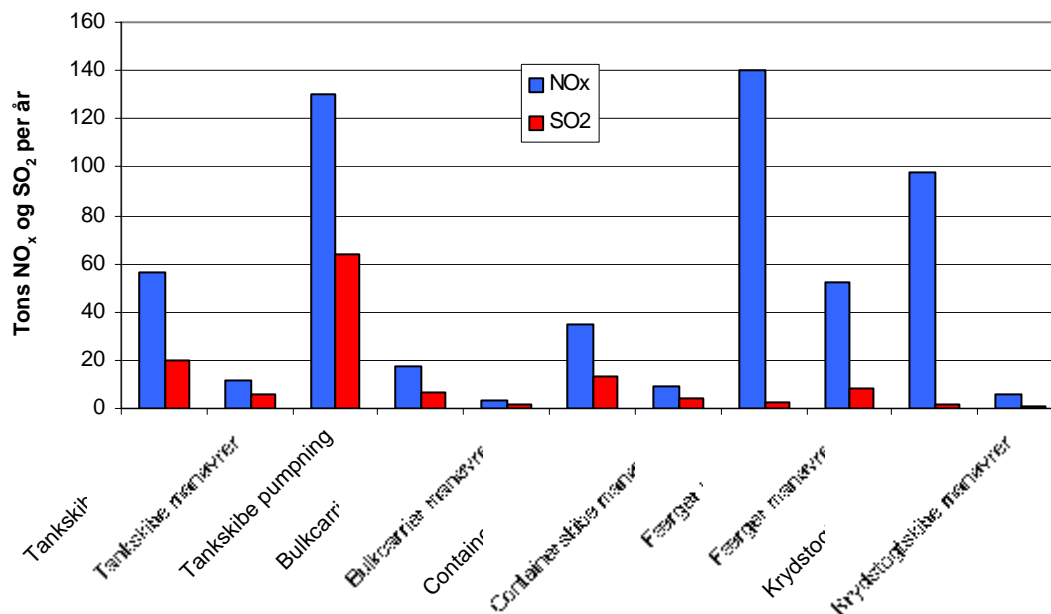
Emissionen beregnes ved at multiplicere de fundne energiforbrug med emissionsfaktorerne for de enkelte skibstyper som i tabel 2.

Tabel 2 : Beregning af emissioner ved kaj i Københavns Havn

		Emissionsfaktorer målt i kg/MWh					
		11	1	0,5	600	4	0,22
		11	1	0,5	600	0,2	0,22
		NO _x	CO	Kulbrinter	CO ₂	SO ₂	Partikler
Skibstype	Energiforbrug MWh	Tons i året 2001					
Tankskibe	5.100	56	5	3	3.000	20	1
Andre bulkcarriers	1.600	17	1,6	0,8	950	6	0,3
Containerskibe	3.100	35	3,1	1,6	1.900	13	0,7
Færger	13.000	140	13	6	7.600	3	3
Krydstogtskibe	9.000	98	9	4	5.400	2	2
Total	31.000	350	31	16	19.000	44	6,9

Hovedparten af emissionerne ved manøvrer og ind- og udsejling antages at komme fra hovedmotorerne. De beregnes under anvendelse af de førnævnte antagelser om belastning af motorerne og emissionsfaktorer for disse.

Emissionerne af NO_x og SO₂ i Københavns Havn er illustreret grafisk i figur 1.



Figur 1 Emission af NO_x og SO₂ i Københavns Havn i 2001

Diskussion af emissionsberegninger

Generelt er samtlige værdier estimeret, der er behæftet med en usikkerhed, der vurderes at være op til en faktor 2 til hver side af resultatet. Et bedre estimat kræver mere detaljerede undersøgelser.

I Københavns Havn bidrog færger ved kaj med ca. 25% af emission af NO_x i 2001. Lastning og losning af tankskibe og krydstogtskibe ved kaj er også væsentlige bidragsydere til NO_x-emissionen med henholdsvis 23% og 18%.

Krydstogtskibe og færger opholder sig forholdsvis længe ved kaj - henholdsvis 18 og 10 timer pr. anløb. Den anslåede tid til manøvrer er cirka en halv time. Samtidig er energiforbruget stort af hensyn til passagerernes komfort.

Lastning og lodsning af tankskibe er årsag til cirka 50% af emissionen af SO₂ fra skibene i Københavns Havn. Samlet var emissionen af SO₂ på cirka 130 tons i 2001.

De tre største kilder til NO_x er alle relaterede til aktiviteter ved kaj. Det betyder, at påvirkningen af omgivelserne kan mindskes ved at flytte energifremstillingen fra skibenes maskiner til kraftværker på land. Kraftværker har røggasrensning og bedre spredning af afkastet gennem høje skorstene.

I Køge Havn er bulkcarriers ved kaj den væsentligste bidragsyder til emissionen af NO_x med cirka 49% af den samlede mængde i 2001. Der er mulighed for at få strøm fra land, men det benyttes ikke i væsentligt omfang.

I Helsingør Havn er færgernes manøvrer en væsentlig årsag til emissionen af NO_x med cirka 73% af den samlede emission. Opholdstiden ved kaj er kort, og det er derfor ikke praktisk muligt at bruge strøm fra land.

Spredning af forurening - immisionen

De anførte, beregnede emissioner er ikke interessante i sig selv. Det er ikke umiddelbart muligt at vurdere, om tallene er store eller små. Den vigtigste oplysning ved undersøgelser af denne type er, om de beregnede koncentrationer betyder gener eller sundhedsrisiko for miljøet og indbyggere i nærliggende boligområder.

Spredningsberegning

Til belysning af emissionernes betydning har vi udført spredningsberegninger med programmet OML (Operationel Meteorologisk Luftkvalitetsmodel), som er udviklet hos Danmarks Miljøundersøgelser. Resultatet af beregningen er bidraget til immisionen (dvs. koncentrationen i kildens nærområde, hvor mennesker udsættes for den). OML-programmet er oprindeligt udviklet til stationære kilder (høje skorstene), der har en konstant emission. Anvendelse i denne sammenhæng, hvor kilderne ikke er fuldstændigt stationære og har en varierende emission, må derfor bygge på en række antagelser.

Antagelser og forudsætninger

- De betragtede skibe er ikke beskrevet i detaljer i undersøgelsen af emissionerne, men som skibstyper med ens, gennemsnitlig emission. Denne antagelse udvides til, at skibene inden for hver type har samme dimensioner (størrelse, skorstenshøjde, skorstens diameter og temperatur).
- Afkasthøjden (skorstenshøjden over terræn) på krydstogtskibe og færger i København er sat til 30 meter og 20 meter på de øvrige skibe. I Køge er afkasthøjden på alle skibe sat til 20 meter, og i Helsingør er afkasthøjden på de relativt små færger også sat til 20 meter.
- Diameteren i skibenes skorsten er tilpasset således at røggashastigheden får en erfaringsmæssigt passende størrelse, ca. 30 m/s.
- Temperaturen i afkastene er skønnet til 350°C.
- Københavns Havn har stor arealmæssig udstrækning, og vi ved nogenlunde præcist, hvor forskellige skibstyper ligger. Derfor er skibene placeret i fire forskellige havneafsnit. I hvert havneafsnit antages det, at emissionen kommer fra ét punkt midt i bassinet. Der regnes således ikke med, at emissionen sker både over en strækning ved ind- og udsejling og ved kaj.
- Krydstogtskibene ligger ved Langelinie i tre måneder (juni til august), og emissionen er derfor koncentreret i denne periode og nul i resten af året. Af beregningsmæssige årsager har det været nødvendigt at benytte emissionen for de tre måneder, som om den gælder for hele året.
- Alle andre emissioner for året 2001 omregnes til gennemsnitlige emissioner i gram per sekund. Det antages, at emissionerne sker jævnt over alle årets timer.
- Havnene i Køge og Helsingør er små, hvorfor emission herfra antages at komme fra ét område i hver havn.

- I Køge, hvor der er lav bebyggelse nær havnen beregnes immissionen 1,5 meter over terræn. I Helsingør er der noget højere bebyggelse nær havnen, og immissionen er beregnet 5 meter over terræn. Endelig er immissionen beregnet 7 meter over terræn i København, hvor der er høj bebyggelse nær havnen. Hvor immissionen er beregnet hhv. 5 og 7 meter over terræn, er den lavere i gadeniveau.

Beregninger

Der er udført beregninger for alle de stoffer, der indgår i undersøgelsen, for alle tre havne. Udvalgte beregningsresultater ses i tabel 3. For hvert stof er anført den grænseværdi, der kommer til at gælde for stoffet fra 2005 eller 2010 (NO_x) i henhold til 8.

Grænseværdierne for de betragtede stoffer beskrives på forskellig måde. For NO₂ og SO₂ er grænseværdierne udtrykt ved time middelværdier. De anførte grænseværdier må ikke overskrides mere end 24 gange om året (SO₂) hhv. 18 gange om året (NO_x), hvorfor den 25. højeste hhv. den 19. højeste værdi er kritisk for, om grænseværdien er overskredet.

For CO er den højeste, rullende 8 timers middelværdi kritisk, mens grænseværdien for støv udtrykkes ved en døgnmiddelværdi, der ikke må overskrides mere end 35 gange om året.

På grund af skibenes udformning (kompakte enheder med lave skorstene) er der en del vindturbulens nær skibene. Det vurderes, at beregningsresultaterne inden for ca. 200 meter fra skibene ikke er troværdige pga. turbulensen, og kun koncentrationer længere væk er angivet.

Tabel 3: Beregnede koncentrationer i omgivelserne som resultat af skibsemissioner

Beregningsresultater (µg/m ³)								
Havn	NO _x 19. højeste time- middelværdi		CO Højeste 8 timers middelværdi		SO ₂ 25. højeste time- middelværdi		Partikler 36. højeste døgn- middelværdi	
	Beregnet	GV*	Beregnet	GV	Beregnet	GV	Beregnet	GV
København	620	200	110	10.000	140	350	1,5	50
Køge	130	200	16	10.000	48	350	0,52	50
Helsingør	410	200	140	10.000	50	350	1,1	50

* Grænseværdien for kvælstofarter gælder for NO₂. Undersøgelsen af emissionen havde kun værdier for NO_x til rådighed. NO_x består af NO₂ og NO, hvoraf en del af sidstnævnte omsættes med ozon i luften til NO₂. De anførte, beregnede værdier er derfor konservative i forhold til grænseværdien.

Til vurdering af bidraget i f.eks. boligområder er resultaterne for København og Helsingør illustreret grafisk i figurerne 2 til 5.



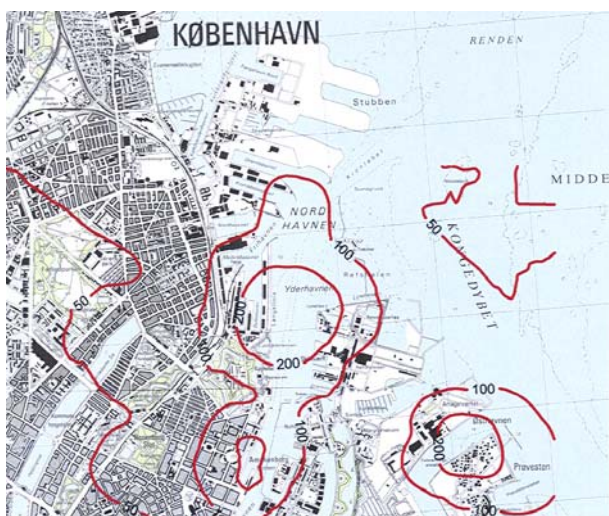
Figur 2 - Færgers bidrag til NO_x i Helsingør (µg/m³)



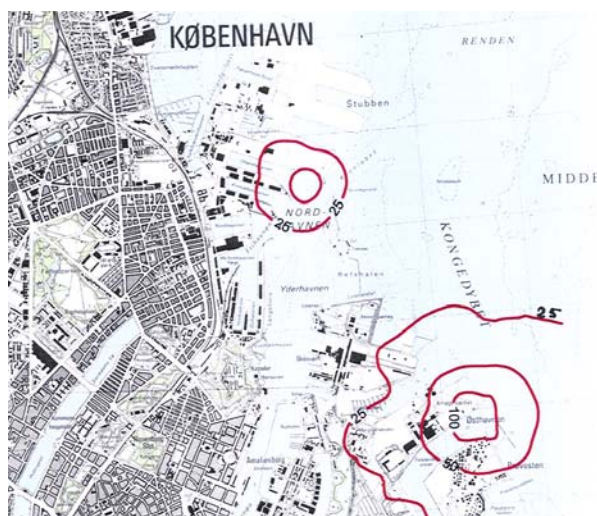
Figur 3 - Færgers bidrag til SO₂ i Helsingør (µg/m³)

Figur 2 viser, at skibene kun påvirker et lille område nær havnen med bidrag af NO_x svarende til grænseværdien for NO₂ eller mere. Bidraget af NO_x udgør fra 25% til 100% af grænseværdien i et område, der omfatter en del af lystbådehavnen.

Figur 3 viser, at SO₂-bidraget fra skibene er mindre end 7% udenfor et meget lille område nær havnen.



Figur 4 - Skibes bidrag til NO_x i København (µg/m³)



Figur 5 - Skibes bidrag til SO₂ i København (µg/m³)

Figur 4 viser, at bidraget af NO_x er højt i selve havneområdet. I et mindre bolig- og kontorområde, som bl.a. omfatter Amalienborg, svarer bidraget fra skibene til mellem 50% og 100% af grænseværdien. I et noget større boligområde, hvis vestgrænse går umiddelbart øst for Københavns Idrætspark, gennem Sortedams Sø og vest for Rosenborg Slot, svarer bidraget til 25% til 50% af grænseværdien.

Figur 5 viser, at bidraget af SO₂ er ubetydeligt i bolig- og kontorområder. Kun i mindre dele af selve havneområdet udgør bidraget op til 35% af grænseværdien.

Diskussion

De beregnede resultater er kun skibenes bidrag, og grænseværdien gælder for summen af alle kilder (biler, boligopvarmning, industri). Grænseværdien kan således godt være overskredet, selvom bidraget fra skibene kun udgør 25-50% af grænseværdien.

De viste resultater er udtryk for teoretiske værdier, som er baseret på antagelser både i vurderingen af emissioner og ved beregning af spredning. De er retningsgivende og angiver størrelsesordener for påvirkningen. Hvor værdierne er meget små, er det acceptabelt at sige, at skibene ikke bidrager i betydeligt omfang.

Hvor resultaterne er fra 25% af grænseværdierne og højere, kan der derimod være grund til at se nærmere på forholdene. Det omfatter bl.a. en gennemgang af antagelserne og en større nøjagtighed i beskrivelsen af såvel trafikken som skibene. Især skorstenshøjderne kan spille en væsentlig rolle.

For alle tre havne gælder, at immissionen af kulbrinter, CO og partikler er meget lav og formentlig uden betydning. I Køge er immissionen af NO_x og SO₂ også meget lave.

Helsingør

De beregnede værdier for NO_x har en størrelse, som ikke er ubetydelig for vurderingen af skibes betydning for det generelle niveau. Derfor er det relevant at se på de gjorte antagelser. Den vigtigste antagelse handler om skorstenshøjden. Den er sat til 20 meter for alle færgerne. Er højden mindre, bliver spredningen mindre og koncentrationsbidraget dermed højere, men er højden større spredes røgen bedre og bidraget bliver mindre.

Antagelsen om lufthastigheden og temperaturen i skorstenene er også af nogen betydning. En lavere hastighed og en lavere temperatur vil betyde, at luften fra skorstenene ikke løftes så højt op og dermed spredes dårligere. Igen vil koncentrationerne i nærområderne blive højere. Højere hastighed og højere temperatur har tilsvarende den modsatte effekt.

Det er antaget, at den samlede emission er fordelt over hele døgnet. Da færgerne ligger stille fra omkring midnat til klokken 5, er den faktiske emission per time lidt højere end antaget. Det vil betyde lidt højere koncentrationer i nærområderne i de belastede timer og til gengæld meget lave koncentrationer i nattetimerne. Den beregnede størrelse (19. højeste timeværdi) formodes at blive højere.

Ved beregningerne er alle færgers skorstene placeret i ét punkt i bassinet. Det er en rimelig antagelse, da havnens udstrækning er lille. Betydningen af helt korrekte placeringer på et så lille område er uvæsentlig i forhold til, at der ikke beregnes nærmere end 200 meter fra skibene. Ved en evt. beregning med detaljerede oplysninger om de enkelte færger er det relevant at placere dem i punkter ved siden af hinanden.

Påvirkningen med SO₂ vurderes at være meget lav og uden betydning.

København

For beregningerne i København er især én af antagelserne vigtig. Emissionen fra krydstogtskibene er koncentreret i tre måneder. Beregningen af timemiddelværdier er imidlertid også

sket for resten af året. Det formodes ikke at påvirke de beregnede 19. største timemiddelværdi væsentligt.

Som for færgerne i Helsingør kan den korrekte skorstenshøjde, volumenstrøm og temperatur have en betydning for resultatet. Da NO_x-værdierne ikke er ubetydelige, vurderes det at være relevant at udføre en mere detaljeret beregning. En undersøgelse kan evt. gennemføres som immissionsmåling i ét eller flere udvalgte områder nær havnen.

Påvirkningen med SO₂ vurderes kun at have betydning i meget små områder omkring Prøvestenen.

Referencer

- 1 Tom Wismann, dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ: Miljøprojekt nr. 597/2001, for Miljøstyrelsen: Energiforbrug og emissioner fra skibe i farvandene omkring Danmark 1995/96 og 1999/2000
- 2 Arne Oxbøl og Tom Wismann, dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ: Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 11, 2003: Emissioner fra skibe i havn
- 3 European Commission: Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community, Entec UK Limited, July 2002.
- 4 Carlo Trozzi and Rita Vaccaro, Techne: Methodologies for Estimating air pollutant Emissions from Transport, august 1998
- 5 Birger Jacobsen, MAN B&W Diesel A/S: The MC Engines, Exhaust Gas Data and Waste Heat Recovery Systems, October 1985
- 6 Dansk illustreret skibsliste, Seapress, 2002
- 7 Statistiske Efterretninger 2002:20, Danmarks Statistik: Skibsfarten på danske havne 2001, 3. juni 2002
- 8 Rådets Direktiv (EU) 99/30/EF af 22. april 1999