SMED Rapport Nr 14 2008

Översyn av sjöfartens emissioner av luftföroreningar

Erik Fridell, IVL
Mats Jernström, SCB
David Segersson, SMHI

2008-01-23

Avtal nr 234-4742-04 Md

På uppdrag av Naturvårdsverket och Sjöfartsverket

Publicering: www.smed.se
Utgivare: Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut
Adress: 601 76 Norrköping
Startår: 2006
ISSN: 1653-8102

SMED utgör en förkortning för Svenska MiljöEmissionsData, som är ett samarbete mellan IVL, SCB, SLU och SMHI. Samarbetet inom SMED inleddes 2001 med syftet att långsiktigt samla och utveckla den svenska kompetensen inom emissionsstatistik kopplat till åtgärdsarbete inom olika områden, bland annat som ett svar på Naturvårdsverkets behov av expertstöd för Sveriges internationella rapportering avseende utsläpp till luft och vatten, avfall samt farliga ämnen. Målsättningen med SMED-samarbetet är främst att utveckla och driva nationella emissionsdatabaser, och att tillhandahålla olika tjänster relaterade till dessa för nationella, regionala och lokala myndigheter, luft- och vattenvårdsförbund, näringsliv m fl. Mer information finns på SMEDs hemsida www.smed.se.

Innehåll

Bakgrund till uppdraget	1
Bränsleförbrukning sjöfart	3
Svavelhalter i bränsle till sjöfarten	6
Emissionsfaktorer för kväveoxider	9
Övriga emissionsfaktorer	12
Data för trafikarbete	14
Revidering och uppdatering	16
Slutsatser	17
Rekommendationer	19
Referenser	20

Bakgrund till uppdraget

Utsläppen från sjöfarten står för en allt större andel av de samlade emissionerna av framförallt kväveoxider och svaveloxider. Även vad gäller bl a partiklar är emissionerna från fartyg betydande. Dessa emissioner förutses öka i framtiden i och med att trafikarbetet ökar alltmer samtidigt som utvecklingen avseende motorer, avgasefterbehandling och bränslen är långsam inom den marina sektorn. Vidare är kunskapen kring det faktiska trafikarbetet som sjöfarten utför behäftat med osäkerheter. Olika globala beräkningsmodeller ger resultat som skiljer en faktor två avseende den mängd bränsle som konsumeras årligen inom sjöfart[1,2,3].

Syftet med den föreliggande studien är att bedöma om det går att få fram bättre underlag för att beräkna sjöfartens utsläpp till luft. Behovet av förbättrat underlag motiveras dels av den internationella rapporteringen, dels av miljömålsarbetet. Det föreligger också ett behov av förbättrat underlag till styrmedelsarbete för att bättre miljöanpassa sjöfarten.

Framdrivningen av fartyg åstadkoms nästan uteslutande med stora dieselmotorer. Dessa delas upp dels efter effekt, dels efter varvtal (lågvarviga, medelvarviga, högvarviga). Bränslet är normalt tjockolja (Residual Oil, RO), diesel (Marine Gasoil, MG) eller en blandning (Marine Diesel, MD). De stora utsläppen av svaveldioxid (SO_2) är en direkt konsekvens av det höga svavelinnehållet i bränslet. Även en rad metaller i bränslet släpps ut med rökgasen. Vid förbränningen i motorn bildas stora mängder kväveoxider (NO_X). Eftersom de flesta fartyg saknar rökgasrening går dessa ut i luften. Vid ofullständig förbränning bildas även kolmonoxid och en rad olika kolväten. De sistnämnda emissionerna är dock inte så betydande då förbränningen sker vid syreöverskott. Slutligen emitteras stora mängder partiklar av olika storlek och kemisk sammansättning.

En rad av utsläppen från sjöfarten påverkar klimatet. Främst är det CO_2 där sjöfarten idag globalt står för ca 3% av de samlade utsläppen av fossilt CO_2. Detta är en andel som kan förväntas öka i framtiden. Dessutom släpps det ut lustgas och metan. De stora NO_X -utsläppen påverkar klimatet via sekundär reaktioner: dels leder det till reaktioner där metan konsumeras, dels bildas ozon. Partikelutsläppen verkar i klimatsammanhang ha en direkt avkylande effekt och är dessutom viktiga för molnbildning, vilket även det tros bidra avkylande[4].

Sverige är ålagt att producera ett antal olika rapporter om emissioner från bl a sjöfarten genom internationella konventioner, bl a takdirektivet och klimatrapporteringen. Det rör sig bl a om växthusgaser och andra skadliga emissioner. Det finns dessutom ett behov av att följa upp emissioner i samband med miljömålsarbete. Bland annat finns ett förslag till delmål kring utsläppen av svaveloxid och kväveoxid från sjöfarten med en indikator formulerad som: "Utsläpp av svaveldioxid och

kväveoxider från sjöfart som bunkrar (tankar bränsle) i Sverige totalt och per såld bränslemängd (angivet som energi)"[5].

I Sverige finns sedan 1998 ett system där fartyg som minskar sina emissioner av NO_X och SO_X får reducerade farledsavgifter. Detta system har framförallt fått genomslag för inrikestrafiken. Sedan maj 2006 är Östersjön ett s k SECA (sulphur emission control areas) -område där bränsle med högst 1,5% svavel får användas. Alternativt öppnar regelverket för att rökgasrening används så att utsläppen är under 6,0 g SO_2/kWh. Under 2007 blev även Nordsjön SECA område. I övrigt får bränsle med högst 4,5% svavel användas.

Bränsleförbrukning sjöfart

Utsläpp från sjöfart för den internationella rapporteringen (UNFCCC, NEC, CLRTAP) beräknas idag med utgångspunkt från månatlig bränslestatistik (EN0107) som produceras av SCB på uppdrag av statistikansvarig myndighet, Energimyndigheten.

Undersökningen genomförs som postenkät (blankett 401) på diskett (EXCEL-dokument). Enkäten besvaras av oljebolag och andra s.k. lagringsskyldiga säljare av petroleumprodukter, större importörer av petroleumprodukter som inte tillhör den förstnämnda kategorin, kolhandelsföretag och koksverk samt producenter och leverantörer av biodiesel och etanol för fordonsdrift. Antalet objekt i populationen utgörs av ca 60 företag.

Uppgiftslämnare rapporterar kvantitetsuppgifter (m^3) avseende in- och utgående lager, import, export, produktion, egen förbrukning, bunkring samt leveranser till konsumenter och återförsäljare. För att undvika dubbelräkning rapporterar uppgiftslämnarna handel med andra redovisningsskyldiga företag separat. Leveranser till konsumenter och återförsäljare specificeras ytterligare i förbrukarkategorier, däribland exempelvis inrikes sjöfart och fiske.

För inrikes och utrikes sjöfart rapporteras leveranser av diesel samt eldningsoljor fördelat på Eo 1, Eo 2 inkl. WRD (wide range diesel) och Eo 3-6. Sedan 1997 rapporterar oljebolagen även mängd Eo 3-6 med en svavelhalt som överstiger 1 %[1]. Bränslen definieras enligt tulltaxans varunomenklatur.

Rapporteringen av sjöfartsbränslen är behäftade med vissa problem. Dels finns idag oklarheter kring allokering av bränslen på inrikes och utrikes sjöfart. Enligt en av leverantörerna av sjöfartsbränslen sker distinktionen mellan inrikes- och utrikesförbrukning vid registrering av order i leverantörens interna system. Denna registrering sker av den som hanterar ordern och baseras på var denna bedömer att bränslet kommer förbrukas. Oftast beror detta av vilken typ av trafik kunden har som sin huvudsakliga verksamhet. I de fall kundens verksamhet omfattar både inrikes och utrikes sjöfart finns risk för viss under- alternativt överskattning av bränsleförbrukningen avseende inrikes respektive utrikes förbrukning. Dessutom råder det en del begreppsförvirring kring bränslekvalitet och nomenklatur vilket riskerar glidningar mellan bränsleslagen.

Sammantaget levererat Energimyndigheten förbrukning av sjöfartsbränslen till SMED för emissionsberäkningar enligt:

[1] Denna statistik har inte fåtts fram inom tidsrymden för detta uppdrag.

Diesel inrikes sjöfart (m^3)
EO1 inrikes sjöfart (m^3)
EO2-6 inrikes sjöfart (m^3)
Diesel bunkring sjöfart (m^3)
EO1 bunkring sjöfart (m^3)
EO 2-6 bunkring sjöfart (m^3)

Under 2000-talet har bränsleförbrukningen för sjöfart fördelat sig enligt Tabell 1.

Tabell 1 Bränsleförbrukning sjöfart 2000-2006 SCB/ Energimyndigheten.

m^3	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
Diesel Inrikes sjöfart	17 289	17 139	19 820	26 443	15 014	17 424	30 001
Eo 1 Inrikes sjöfart	65 574	67 083	76 214	101 046	108 879	115 016	110 885
Eo 2-6 Inrikes sjöfart	59 346	75 203	75 431	74 132	48 777	45 678	40 832
Diesel Bunkring sjöfart	44 960	50 692	58 785	78 173	45 958	41 367	49 479
Eo 1 Bunkring sjöfart	127 218	129 468	113 329	123 671	128 809	135 129	158 840
Eo 2-6 Bunkring sjöfart	2 174 012	2 003 969	1 966 584	1 619 874	1 182 267	1 360 241	1 369 696

Som framgår av tabellen ovan varierar uppgifterna avseende sjöfartens bränsleförbrukning relativt mycket en del år vilket bidrar till viss osäkerhet kring siffrorna.

Osäkerheten kring uppdelningen av fartygsbränsle på inrikes- och utrikestrafik har uppmärksammats av Energimyndigheten. På uppdrag av Energimyndigheten har därför WSP Analys & Strategi (WSP) genomfört en kompletterande undersökning med syfte att få bättre kunskap om bränsleförbrukningen för inrikes sjöfart.

2006 genomförde WSP en enkätundersökning som riktade sig till utförare av offentligt beställd inrikes sjöfart samt privat inrikes sjöfart. Till offentligt beställd inrikes sjöfart räknas den sjöfart som bekostas av stat, landsting och kommuner. Den privata delen av sjöfarten består av bl.a. godstransporter, färjetrafik, hamnverksamhet och sjöfart kopplad till turistnäringen (sightseeing-båtar).

Samtliga offentliga beställare av sjöfart kontaktades och för att skatta den privata förbrukningen gjordes ett urval av branschföretag baserat på SNI (svensk näringsgrensindelning) tillhörighet. Företagen ombads i undersökningen redogöra för 2006 års bränsleförbrukning fördelat på MK1 (Max 0,001% svavel), MK3 (Max 0,005% svavel) samt Bunkerbränsle 2-6. För Bunkerbränsle 2-6 ombads företagen även ange den mängd förbrukat bränsle med en svavelhalt som överstiger 1%.

Resultatet av WSP:s undersökning skiljer sig ganska markant från den förbrukning som skattats av SCB baserat på oljebolagens leveranser för 2006 (Tabell 2). Som jämförelse redovisas också SCB:s uppgifter avseende bränsleförbrukning för utrikes sjöfart. Obs! att MD och MK1 resp MK3 och EO1inte har samma definition.

Tabell 2 Bränsleförbrukning inrikes samt utrikes sjöfart 2006.

m^3	SCB 2006 Inrikes	WSP 2006 Inrikes	SCB 2006 Utrikes
MD(SCB)/MK1(WSP)	17 289	53 508	44 960
Eo1(SCB)/MK3(WSP)	65 574	107 931	127 218
Eo2-6	59 346	24 706	2 174 012
Summa	142 209	186 145	2 346 190

Framförallt tycks utförarna av offentlig och privat sjöfart och oljebolagen ha olika åsikter om vilken bränslekvalitet de förbrukar respektive levererar. Till exempel ger överslagsberäkningar utifrån trafikdata för Gotlandsbolaget, installerad effekt och uppskattad bränsleförbrukning, att Gotlandsbolaget konsumerar ca 50 000 m^3 bränsle per år. Det är till stor del RO med en svavelhalt på 0,5%. Detta är bara det dubbelt så mycket som i WSP-rapporten och kan jämföras med 59 000 m^3 enligt SCBs redovisning (se Tabell 2). Dessutom skiljer den totala skattade bränsleförbrukningen med 30 % mellan de båda undersökningarna

Orsaken till skillnaderna kan vara många men säkert spelar de svårigheter med att definiera inrikes och utrikestrafik samt typ av bränsle, som tidigare nämnts, en stor roll. Delar av skillnaderna skulle också eventuellt kunna förklaras av skillnader i avgränsning av sjöfartsdefinitionen mellan offentlig beställd sjöfart och Energimyndighetens leveransstatistik. Det har även framförts erfarenhetsmässiga synpunkter kring svårigheten med att rikta frågor avseende bränsleförbrukning till utövare då deras redovisning av bränsleförbrukning i första hand fokuserar på kostnad och inte på volym.

Att lösa problematiken kring att skatta sjöfartens bränsleförbrukning är inte möjligt inom ramen för detta uppdrag och ytterligare spekulationer kring eventuella orsaker till skillnader mellan datakällor avstås ifrån. Energimyndigheten har som energistatistikansvarig myndighet ansvar för att producera statistik över sjöfartens bränsleförbrukning och eventuella osäkerheter bör utredas och åtgärdas under ledning av Energimyndigheten.

Inför 2008 har Energimyndigheten initierat ett projekt för kartläggning av bunkring för utrikes sjöfart[6], detta projekt kan förhoppningsvis ge ytterligare insikter i sjöfartsbränsleproblematiken och leda till minskade osäkerheter i uppgifterna för inrikes och utrikes bränsleförbrukning. För att resultatet av detta projekt bäst ska svara mot de behov som finns av att förbättra skattningarna av sjöfartens utsläpp bör eventuella slutsatser och specifika önskemål som följer av detta uppdrag i tid framföras till ansvariga på Energimyndigheten.

Svavelhalter i bränsle till sjöfarten

Emissionerna av svaveloxid från fartygsmotorer består nästan uteslutande av SO_2. I praktiken omvandlas allt svavel som finns i bränslet till SO_2 vid förbränningen i motorn. Emissionsfaktorn för SO_2, angiven i g per kg bränsle eller i g per MJ energiinnehåll i bränslet, är därför lätt att beräkna om svavelhalten i bränslet är känd[2]. För att få emissionsfaktorn uttryckt i g/km eller g/kWh (motoreffekt) krävs att bränsleförbrukningen är känd.

De värden som används vid rapporteringen av emissionerna av svaveloxid fås fram genom att en emissionsfaktor multipliceras med försäljningen av bränsle enligt tillgänglig statistik. För sjöfarten delas statistiken som nämnts ovan upp på inrikes och utrikes trafik (benämns "navigation" respektive "bunker"" i klimatrapporteringen) samt i bränslekategorierna diesel, eldningsolja 1 samt eldningsolja 2-6. I rapporteringen summeras sedan diesel och Eo1. I bränslestatistiken som levereras till SMED finns dock inga uppgifter om svavelhalt.

För att kunna beräkna SO_2-emissionerna behövs således kunskap kring svavelhalten i bränslet som sålts för att få fram en emissionsfaktor. I nuläget bestäms denna emissionsfaktor enligt en metod utvecklad av Cooper och Gustafsson[78]. De använda emissionsfaktorerna bygger på muntliga uppgifter från svenska oljebolag samt testresultat från Det Norske Veritas. Vidare bedöms osäkerheten i dessa uppgifter så stor att osäkerheten i emissionsfaktorerna anges till +/- 40%. Medelhalten av svavel i bränslen 2002 fanns vara 2,3% respektive 0,4% för RO och MD. Samma svavelinnehåll antas för bränsle sålt för nationell som för internationell trafik.

För rapportering för 2006 gjordes en revidering av svavelemissionsfaktorerna i och med att haven runt Sverige blev SECA-område under året (19/5 2006). För att göra detta togs kontakter med oljebolagen. Det är två aktörer som är dominerande avseende bränsleförsäljning till sjöfarten. Det var inte möjligt att få bränsleförsäljningen uppdelad på inrikes och utrikes. Resultatet blev en svavelhalt på 1,76% i snitt för RO. Den höga siffran beror på att det säljs mycket bränsle med en svavelhalt på 3-4 %[9] som används utanför SECA-områden. Tabell 3 ger en ungefärlig uppskattning av volymerna uppdelat på svavelhalt för bränsle för sjöfarten (utrikes + inrikes) sålda i Sverige. Beräkningar utifrån uppgifter från oljebolagen gav även vid hand att den faktor som används tidigare på 2,3% verkar riktig. För 2007 kommer svavelhalten att bli lägre då Östersjön är SECA-område under hela året och dessutom blev Nordsjön SECA-område under hösten 2007. De siffror som nämns

[2] Det finns utvecklingsprojekt med en rökgasreningsteknik, skrubbrar, som kan komma att tillämpas på fartyg. För fartyg med denna teknik blir förhållandet mellan svavelhalt i bränslet och SO_2-emissionen ändrad.

här kan anses gälla för utrikes trafik (vilket är 97% av RO försäljningen). För svavelhalten i den del av bränsle som används inrikes fås inga bra siffror på detta sätt utan enligt metoden används samma som för utrikes vilket troligen är och har varit en för hög siffra bl a för att Gotlandsbolaget använder lågsvavligt (<0,5%) bränsle. För MD antogs ingen förändring p g a SECA och därför ändrades ej värdet på 0,4% även om det finns indikationer på att det är högt, speciellt för inrikes.

Tabell 3 Uppskattad bränsleförsäljning 2006

1000 m3/år	NV[10]/		Uppskattn[9]
max 0,001%	ca 35 (MK1)		
0,2%	ca 158 (Eo1) (varav 31 inrikes)		
0,5%	ca 300 (Eo2-6)	< 0,5%	ca 400
1%	ca 300 (Eo2-6)	ca 1%	ca 840
1,5%	ca 500 (Eo2-6)	1,5%	ca 120
>1,5%	ca 1100 (Eo2-6)		
		3-4%	ca 620

Det har inte varit möjligt att snabbt få fram uppgifter om tidigare år. Enligt uppskattning från en leverantör ersattes ca hälften av den högsvavliga oljan av en kvalitet med 1-1,5% svavel vid införandet av SECA.

Ett möjligt sätt att förbättra kunskapen kring svavelhalten i marina bränslen är att utnyttja resultatet av de bränsleprover som Sjöfartsverket får in vid kontroller av att villkoren för SECA-områden uppfylls. Detta rör sig om ca 200 prov per år som ger den verkliga svavelhalten och det bör vara möjligt att bedöma om bränslet är köpt i Sverige och i så fall om det är för inrikes eller utrikes trafik. Eftersom ca 90% av bränslet som säljs i Sverige är för utrikes trafik är det en risk att underlaget för att bedöma svavelhalten i inrikes bränsle blir dåligt med denna metod.

Det blir relativt stor osäkerhet om slutsatser skall dras om svavelhalten i bränslet bakåt i tiden utifrån dessa analyser. Anledningen är att det är stora ändringar under 2006 och 2007 p g a införandet av SECA områden i Östersjön respektive Nordsjön. Detta gör att man kan förvänta sig stegvisa förändringar i svavelhalten båda dessa år.

Det finns två möjligheter att få förbättrat underlag i framtiden. Det ena sättet är att få in mer detaljerade uppgifter från bränsleleverantörerna. Detta kan ske genom att SCB utökar sina frågor till att omfatta mer detaljer kring svavelhalten i bränslet som levereras. Nu finns en fråga om hur stor andel som är över 1%. Denna fråga kunde till exempel ställas med intervallen 0 - 0,5%; 0,5 - 1,0%; 1 - 2%; 2 - 3% samt 3 - 4,5%. Det är även möjligt att en annan part får in uppgifter från oljebolagen via förfrågningar. Inom den korta tidsrymden för detta uppdrag har det ej gått att få utfästelser från oljebolagen men i de kontakter som tagits har de uppgivit att

uppgifterna finns i deras system samt varit positiva till att sammanställa och lämna sådana uppgifter.

Ett annat sätt är att utnyttja resultaten från de ovannämnda bränsleanalyser Sjöfartsverket får in då de kontrollerar att bränslena uppfyller kraven för SECA områden. Med ca 200 prover per år riskerar dock underlagen för de mindre posterna (dvs allt utom utrikes RO) att bli mindre säkra.

Antagligen är det bästa att kombinera metoderna, dvs använda analysresultat för att uppskatta de faktiska svavelhalterna och bränslebolagens statistik för att få volymerna de säljer av olika kvaliteter.

Vad gäller revidering av uppgifterna bakåt i tiden finns det en möjlighet att få in uppgifter angående vilka volymer som sålts av olika bränslekvaliteter genom förfrågningar till oljebolagen. Det går inte i dagsläget att ge ett definitivt svar på hur stor andel av försäljningen som kan täckas in på detta sätt. Eventuellt kan Energimyndighetens statistik om andelen bränsle som har en svavelhalt > 1% (ej publicerad) ge en indikation kring svavelhalten bakåt i tiden.

Svavelhalten i RO för inrikes trafik är troligen för hög i statistiken. Det har dock inte gått att få fram uppgifter från bränsleföretagen kring hur RO-försäljningen fördelas på inrikes och utrikes trafik med kort varsel. En uppskattning av svavelhalten i RO för inrikes trafik kan fås fram genom att (för 2006) räkna ut en genomsnittlig svavelhalt där de kvantiteter som har en svavelhalt på > 1,5% inte tas med i beräkningarna för den del av året då SECA hade införts i Östersjön. En sådan uppskattning hamnar på ca 1,5% S i RO för inrikes trafik. Skillnaden mot det värdet som används vid rapportering ligger inom angiven felmarginal.

Emissionsfaktorer för kväve-oxider

I rapporteringen används emissionsfaktorn för "at sea", dvs manövrering tas ej hänsyn till. Vidare är det så att olika typer av motorer, beroende på varvtal och typ av bränsle, har något olika emissionsfaktorer. Eftersom emissionsfaktorn skall anges som massa emission per energiinnehåll i bränslet, behöver bränsleförbrukningen inkluderas i beräkningarna. Även denna skiljer sig mellan olika motorer. För att få en effektiv emissionsfaktor behövs då kunskap om hur flottan ser ut avseende olika motortyper. För ökad noggrannhet bör bränsleförbrukningen även fördelas med avseende på konsumtion av bränsle för de två typerna av bränsle samt uppdelat på inrikes/utrikes. Tyvärr finns ingen sådan data tillgänglig. Istället används SIKA-data för vilka typer av fartyg som anlöper Sverige. Denna ger en uppdelning på typer av fartyg som tankbåtar, bulkfartyg, kylfartyg, torrlast fartyg, passagerarfärjor samt övriga passagerarfartyg. Sedan behöver dessa olika typer tilldelas en typisk motoreffekt samt en typisk motortyp (varvtal). Detta görs utifrån en fördelning i Europa presenterad av Kommissionen med antagandet att den svenska fördelningen är samma[11] som i övriga Europa. På detta sätt fås en fördelning av fartygen på olika bränsle/motor kombinationer. Denna fördelning översätts sedan till en fördelning för hur bränslet förbrukas genom att ta hänsyn till motoreffekt och bränsleförbrukning för de olika kombinationerna. Det är tydligen så att eventuella variationer i trafikarbetet mellan de olika typerna av fartyg (eller motor/bränslekombinationer) inte tas hänsyn till. Fördelningen bygger på antal fartyg från SIKA samt motoreffekt, alltså ej trafikarbete. Vidare antas samma fördelning in- och utrikes, vilket leder till ett fel i uppskattningen kring hur mycket av det sålda bränslet som används i olika motor/bränsle kombinationer. Antagligen är det mest relevant för fördelningen på låg- och medelvarviga motorer för RO inrikes. Emissionsfaktorerna skiljer här från 18,1 till 12,0 g/kWh och en relativt liten del av bränslet sålt inrikes används i lågvarviga motorer eftersom Gotlandsbolaget inte använder sådana.

Denna fördelning viktas sedan med emissionsfaktorer för de olika motor/bränsle kombinationerna för att få en effektiv emissionsfaktor för Sverige att multiplicera med sålt bränsle.

Innan detta steg måste dock emissionsfaktorerna tas fram. Från ett stort antal mätningar finns genomsnittliga emissionsfaktorer för olika motor/bränsle kombinationer att tillgå uttryckta i g/kWh-motoreffekt. Tabell 4 ger värden på emissionsfaktorer för några motor/bränsle kombinationer. Dessa kan uttryckas i g/MJ-värmevärdet genom att använda data på bränsleförbrukning per kWh samt specifikt värmevärde för bränslet. För att få fram en "effektiv" emissionsfaktor skall dessa sedan justeras för den del av fartygen som använder reningsutrustning. Då används en reduktionsfaktor för emissionen för respektive reningsteknik (t ex 91% för

SCR) samt ett antagande av hur stor andel av det sålda bränslet som konsumeras på fartyg med respektive reningsmetod. Denna fraktion fås fram utgående från en enkätundersökning från 2002 där redare med fartyg med kväveoxidrening svarade på hur mycket bränsle köpt i Sverige som konsumerades i dessa motorer uppdelat på inrikes ock utrikes sjöfart. Fraktionen har sedan uppdaterats utgående från ökningen i antal fartyg med kväveoxidrening enligt en lista från Sjöfartsverket över fartyg med reducerad farledsavgift. Tabell 5 ger emissionsfaktorerna för 2006 i Gg/TJ energiinnehåll i bränslet.

Tabell 4 Emissionsfaktorer för kväveoxid

Motortyp	Bränsle	NO_X-emissionsfaktor "at sea" (g/kWh)
lågvarvig	MD	17.0
lågvarvig	RO	18.1
mellanvarvig	MD	13.2
mellanvarvig	RO	14.0
högvarvig	MD	12.0
högvarvig	RO	12.7

Tabell 5. Effektiva emissionsfaktorer för kväveoxid

	Bränsle	NO_X (Gg/TJ)
Int.	MD	0.00088
Int.	RO	0.00165
Nat.	MD	0.00081
Nat.	RO	0.00142

Det finns en mängd olika tekniker att reducera NO_X-utsläppen vilka har olika effekt. Den mest betydelsefulla är dock SCR. Som en grov uppskattning kan man anta att hela minskningen i den effektiva NO_X-emissionsfaktorn är tack vare SCR. Man får då att ca 15-20% av bränslet används i SCR fartyg.

Med tanke på att de ovan nämnda färjorna hos Gotlandsbolaget är utrustade med SCR borde en lägre emissionsfaktor för NO_X gälla för inrikes sjöfart. Dessa motorer är mellan- (eller hög-) varviga vilket gör fördelningen av motorer som använts tveksam (den antar 43% lågvarviga). Andelen bränsle som används i fartyg med SCR inrikes borde ligga på över 30% med tanke på Gotlandsbolagets motorer.

Det är således tre typer av kunskap som behövs för att få fram en effektiv emissionsfaktor för NO_X. Denna kunskap behövs vidare på en detaljnivå som motsvarar uppdelning i inrikes och utrikes trafik, samt uppdelning på RO och MD. De tre

typerna är: 1) emissionsfaktorer för olika motorer, 2) hur emissionsfaktorn för ett fartyg påverkas till följd av reningsutrustning, samt 3) fördelningen av flottan på olika typer av motorer. I metoden som används tas de två första punkterna upp på ett tillfredsställande sätt medan den tredje punkten haltar, speciellt avseende inrikestrafiken.

Det har inte varit möjligt att ta fram en nya emissionsfaktorer för inrikes trafik inom ramen för detta projekt. Anledningen är att det krävs ett omfattande arbete för att få fram en fördelning av bränsle förbrukat i olika motortyper som behövs för beräkningen. Om man bara som ett exempel antar att en tredjedel av RO för inrikes trafik används i fartyg med SCR skulle emissionsfaktorn i Tabell 5 minska från 0,00142 till ca 0,00121 Gg/TJ. Det bör dock framhållas att det i dagsläget finns ett flertal osäkerheter i beräkningen av de totala NO_X-emissionerna från inrikes sjöfart: Statistiken avseende uppdelningen på inrikes/utrikes bränsleförsäljning är osäker. Fördelningen av olika motortyper i trafiken är som nämnts osäker. Det är även osäkert om all inrikestrafik upphandlar allt bränsle i Sverige vilket behöver beaktas vid beräkningar utifrån transportarbete.

Övriga emissionsfaktorer

Det finns olika aspekter av behovet om förbättrad kunskap kring emissionsfaktorer för fartygsmotorer.

1. Rapportering av klimatgaser och övrig rapportering
2. Beräkningar av luftkvalitet bl a i relation till MKN
3. Miljömålsuppföljning
4. Öka kunskapsläget kring miljöeffekter av emissioner från sjöfarten

Det är ett stort antal ämnen som skall rapporteras. De som är relevanta för sjöfarten diskuteras nedan.

En del emissionsfaktorer fås direkt från analyser av bränslet samt bränsleförbrukningen. Det gäller CO_2, SO_2 samt en mängd metaller. För diskussion kring bränslevolymer och SO_2 se ovan. Vad gäller kolinnehållet i bränslet så är kunskapsläget bra. Vad gäller metallerna finns det varierande kunskap. I och med den utökade bränsleprovning som nu utförs vore det möjligt att samla in mer data för att se bl a hur innehållet av olika metaller varierar mellan olika oljekvaliteter.

NO_X se föregående avsnitt.

<u>Partiklar</u>
Partiklar har stor negativ inverkan på människors hälsa. Partikelemissioner är komplext att studera. De förekommer i en stor spridning av storlekar, från några nanometer upp till flera tiotal mikrometer. Vidare är de en blandning av fasta och vätskeformade partiklar. De bildas och växer till delvis då avgasen späds ut och svalnar. Partiklarna har även olika kemisk sammansättning. Viktiga typer är sulfatpartiklar, sotpartiklar, aska och vätskepartiklar av kolväten. Partikelemissionerna påverkas därför av en mängd faktorer och är relativt svåra att mäta. Det finns mycket få studier som berör storleksfördelning och sammansättning. Det finns skäl att se över emissionsberäkningarna avseende partiklar. Det finns bl a nya rön som visar att det är en stor del relativt stora partiklar[12] (vilket inte är fallet för dieselmotorer i t ex lastbilar) vilket gör att $PM_{2,5}$ emissionerna skiljer sig från PM_{10}. Det visar sig även att användandet av SCR minskar emissionerna av partiklar. Vidare har svavelhalten i bränslet en stor betydelse för partikelemissionerna i och med att en stor mängd sulfatpartiklar bildas vid användandet av högsvavligt bränsle. Det verkar även som om motorns ålder har stor betydelse för partikelemissionerna. Slutligen saknas i stor utsträckning kunskap om emissionerna av nanopartiklar från fartygsdieslar.

Växthusgaser

Förutom CO_2 släpps det ut CH_4 och N_2O som direkta växthusgaser från sjöfarten. Enligt Eyring[1] är det totala utsläppet av metan från sjöfart ca 0,5 Tg per år att jämföra med ca 800 Tg CO_2. Med en GWP (global warming potential) på 72 (20 års sikt) blir effekten av metan då ca 5% av den för CO_2[3]. NO_X har stor påverkan via sekundära effekter där metan konsumeras och ozon bildas. Enligt Endresen[3] är NO_X påverkan på metankoncentrationen betydligt större än metanutsläppen från motorerna/förångning. Lustgasutsläppen är relativt små. Med en GWP på 300 fås en effekt på ca 1-2% av CO_2 effekten. Det är dock känt att visa typer av emissionsreningstekniker för NO_X kan ge ökade utsläpp av N_2O, varför detta bör följas. Partiklar diskuteras alltmer som viktiga för klimatpåverkan. Partiklarna i sig har en avkylande effekt enligt publicerade studier. Dessutom fungerar partiklar som kärnor vid molnbildning och kan via denna effekt ha en mycket stor avkylande påverkan[4]. Kunskapsläget är dock oklart. Dessutom är effekten kortlivad jämfört med t ex CO_2.

CO och VOC

Alla som varit i ett maskinrum på ett fartyg inser att avdunstning av bränsle och smörjolja från motorer och tankar är ett reellt problem. Det finns mycket litet rapporterat kring detta. I Guidebook nämns det inte, liksom inte heller i de flesta inventeringar av emissioner från sjöfarten. I Endresen[3] finns emissionsfaktorer för stora (50 000 dwt) tankbåtar uppdelat på lastning, transport och avlastning. Emissionsfaktorn för lastning är i samma storleksordning som emissionsfaktorn från motorn uttryckt i g/ton bränsle. Studier pågår kring utsläpp via vevhuset där det bl a är möjligt att installera en separator för att minska utsläppen. Det finns anledning att följa upp detta för att eventuellt inkludera dessa emissioner i beräkningarna. Det bör även beaktas tekniska lösningar för att minska dessa emissioner.

Manövrering mm

I rapporteringen för klimatgaser används emissionsfaktorer för "till sjöss" normalt uppmätta vid 75-80% last. I Cooper[7] finns även emissionsfaktorer för manövrering samt för vid kaj. De senare omfattar emissioner från hjälpmotorer. Vad gäller de emissioner som ges direkt av bränsleförbrukningen är emissionsfaktorerna lika då de ges i g/MJ i bränslet. För NO_X är emissionerna något lägre vid manövrering (då förbränningstemperaturen ofta är lägre). De emissioner som kan bli betydligt större vid manövrering är CO, VOC samt partiklar.

Vad gäller växthusgaser så är det i sin ordning att använda "till sjöss"-faktorerna. Vid modellering av luftkvalitet har det dock stor betydelse att rätt emissionsfaktorer används. Vidare är kunskapsläget dåligt avseende emissioner vid manövrering och kallstarter, och flertalet av emissionsfaktorerna är uppskattningar. Vad gäller partikelemissioner finns det indikationer på betydligt större emissioner vid start och manövrering än vad som är fallet för normal drift.

[3] Naturgasdrivna fartyg kan ha höga metanemissioner

Data för trafikarbete

Uppgifter om fartygens trafikarbete används i nuläget inte. T.ex. vid framtagning av den s.k. snittbåten som representerar fartygsflottan för inrikestrafiken så görs ingen viktning mellan olika fartygstyper m.a.p. trafikarbete. Uppgifter om trafikarbete kan hämtas dels från Sjöfartsverkets anlöpsregister, dels från AIS-data (Automatic Identification System). Förmodligen finns en stor förbättringspotential här vad gäller inrikes trafik.

Vid uppskattning av trafikarbete från anlöpsregistret ansätts schablonvärden på avstånd mellan förekommande hamnar och trafikarbetet för enskilda fartyg fås genom att summera dessa avstånd. Möjligheten att använda AIS-data beskrivs mer ingående nedan.

AIS (Automatic Identification System) är ett system inom Europa som används för att identifiera och positionsbestämma fartyg. Systemet är ett komplement till radar på så sätt att det ger information även då fartyget ligger i radarskugga. Informationen sänds med korta tidsintervaller via VHF-radio i begränsade datapaket och innehåller information om position, identitet, fartygets storlek, fart, färdriktning, status (t.ex. ankrad) samt ytterligare några parametrar. Sedan 1/7 2007 krävs AIS för samtliga fartyg större än 300 ton.

AIS-data lagras av Sjöfartsverket och utgör en enorm mängd information över fartygsrörelser i Östersjön och Västerhavet. Det är möjligt att använda AIS-data för att beräkna utfört trafikarbete bottom-up, dvs. för varje enskild rörelse. För att gå vidare till emissioner från trafikarbete krävs sedan ett register med fartygsspecifika emissionsfaktorer (eller åtminstone metoder för att uppskatta dessa).

Tyvärr finns ingen metod att via AIS-data kunna bestämma vilken bränslekvalitet som används på ett fartyg. I frågan om i vilket land bränslet har tankats skulle man kunna tänka sig kontrollera inom vilket område fartyget rört sig, och därmed utesluta länder utanför detta område. Sådana kontroller skulle gå att göra för ett helt år i efterhand. Emellertid uppstår problem i de fall fartyg tankar bränsle från utländska tankfartyg och det är därmed oklart om sådana kontroller skulle ha något värde.

Ett annat användningsområde skulle vara att undersöka vilket trafikarbete som utförs av fartyg som använder känd bränslekvalitet, har kända egenskaper och tankar i Sverige. Till dessa skulle det därmed gå att allokera bränsle med relativt hög noggrannhet. Ett exempel på sådana fartyg är Gotlandstrafiken, som dels utgör en stor del av den svenska inrikes sjöfarten, dels använder NO_X-rening. Detta skulle alltså innebära bottom-up-beräkningar för vissa utvalda delar av sjöfarten. Sådana beräkningar skulle kunna utföras årligen.

På längre sikt är kompletta bottom-up-beräkningar grundat på AIS-data samt fartygsspecifika emissionsfaktorer troligen det mest praktiska (och ekonomiska) sättet att allokera bränsleförbrukningen och alltså även emissionerna på olika fartyg. Ett sådant system skulle inte klargöra vilket bränsle som används i varje fall men åtminstone säkerställa att fartyg med känd bränslekvalitet och känd teknik tilldelas ”rätt” mängd bränsle ur bränslestatistiken.

Revidering och uppdatering

Vad gäller svavelemissionerna finns en viss möjlighet att följa upp svavelhalterna bakåt i tiden genom att få in försäljningsstatistik från oljebolagen. Det är då angivet enligt deras olika kvaliteter och det kan bli svårt at få fram exakt svavelhalt (t ex har en kvalitet som garanterar 1,5% ofta en svavelhalt kring 1,4%). Det är även osäkert om alla större bolag som säljer marint bränsle vill bistå med denna information. Det har under den korta tiden för denna utredning inte gått att klargöra, även om signalerna är positiva.

Uppdateringar för svavelemissionerna kan göras årligen utifrån antingen utökad rapportering till SCB (med detaljer kring svavelhalt), om detta blir möjligt, eller utifrån förbättrad kunskap från Sjöfartsverkets register med bränsleprov. Ett tredje alternativ är att efterfråga att de berörda oljebolagen frivilligt lämnar detaljerade uppgifter kring sin försäljning. Ingen av dessa metoder innebär något metodikskifte från nuvarande system. Det finns i dagsläget ingen rapportering som anger hur uppdelningen på inrikes/utrikes trafik ser ut för de olika bränslekvaliteterna. Anledningen är att denna information inte funnits med i de uppgifter som tagits fram av oljebolagen.Informationen finns dock i princip hos de oljebolag som kontaktats.

Vad gäller kväveoxider så krävs i första hand en förbättrad beskrivning av ett typiskt fartyg fr a för inrikes trafik. En sådan fördelning anger hur det förbrukade bränslet fördelar sig på olika typer av motorer vad gäller varvtal och ålder. Med en sådan revidering fås en korrekt beskrivning av andelen bränsle som används i motorer med olika typer av rening. Detta arbete borde kunna utföras för ett visst antal år bakåt i tiden för att eventuellt revidera emissionsfaktorerna, genom att studera Sjöfartsverkets anlöpsregister. Då fås även en uppdatering av andelen bränsle som används med olika typer av emissionsreducerande åtgärder för respektive motortyp, även om denna utredning inte funnit att den använda fördelningen är felaktig. En sådan fördelning anger hur stor andel av bränslet som används med respektive reningsutrustning (SCR, HAM, etc) för respektive motortyp (låg, medel, högvarvs).

Uppdateringen av emissionsfaktorerna bör i framtiden kunna göras genom en revidering av dels hur klassificeringen av fartygen ser ut avseende motorer, effekt mm, dels hur andelen motorer som har reningsutrustning utvecklas och dels hur emissionsfaktorerna utvecklas med bättre motorer etc. Den andra punkten kan utföras årligen med hjälp av registret över fartyg med NO_X-certifikat, medan de övriga två kan uppdateras med lägre frekvens.

Vad gäller övriga emissionsfaktorer så är det faktiska underlaget ofta inte tillfredsställande. Det gäller då att revidera vartefter ny kunskap publiceras. Om en utredning visar att avdunstning av kolväten är betydande kan det finnas anledning att beakta en revidering av dessa emissioner bakåt i tiden. Vidare kan det finnas anledningar att revidera partikelutsläppen, särskilt avseende beroendet av svavelhalt.

Slutsatser

Det råder osäkerhet i hur bränsleanvändningen fördelas på olika typer av fartyg och motorer. Det råder också osäkerhet i fördelningen utrikes/inrikes i bränslestatistiken. Det verkar svårt att få fram svavelhalter för inrikes sjöfart ur den officiella bränslestatistiken.

Beräkningarna av emissionsfaktorer för NO_X för inrikes sjöfart är osäkra. De bygger på en av allt att döma inkorrekt beskrivning av sammansättningen av flottan avseende motor/bränsle kombinationer vilket leder till att beskrivningen av andelen bränsle som används i fartyg med reningsutrustning troligen ej är korrekt. Samma sammansättning som för utrikes används. Vidare har inte skillnad i aktivitet mellan olika motor/bränsle kombinationer beaktats.

Svavelhalten för RO är antagligen, och har antagligen varit , lägre inrikes än utrikes vilket ej beaktats. Även MD (diesel + Eo1) för inrikes och utrikes trafik kan ha något lägre svavelhalt än vad som antagits.

För utrikes sjöfart har det inte framkommit att emissionsfaktorerna för NO_X eller SO_2 skulle vara felaktiga. Däremot finns inga officiella källor som visar vad svavelhalten är eller har varit i sålt bränsle till utrikes sjöfart.

Som nämns under Bakgrund finns ett flertal syften med att förbättra kunskapen kring sjöfartens emissioner. Om man beaktar behovet av en förbättrad kvalitet i den internationella rapportering så kan följande tabell sammanfatta behovet av uppdatering.

Tabell 6. Sammanfattning av bedömning kring behov av uppdatering av emissionsfaktorer

	Inrikes	Utrikes
SO_2	Angeläget att förbättra. Medelstor arbetsinsats	Förbättring (ev bekräftelse) för MD. Rutinerna för RO ses över. Liten arbetsinsats
NO_X	Angeläget att förbättra. Medelstor arbetsinsats	Behöver ej förbättras
PM - samband med svavelhalt	Angeläget att förbättra. Liten insats för litteraturstudie, stor för mätningar.	Angeläget att förbättra. Liten insats för litteraturstudie, stor för mätningar.
VOC	Angeläget att förbättra (avdunstning). Stor arbetsinsats	Angeläget att förbättra (avdunstning), Stor arbetsinsats.
N_2O, NH_4	Bör följas. Liten arbetsinsats	Bör följas. Liten arbetsinsats

Vad gäller sjöfartens emissioner i övrigt är det mest angeläget att förbättra kunskapsläget vad gäller emissionen av små partiklar. Detta påverkar dock inte emissionsfaktorer för den internationella rapporteringen. Vidare är det av intresse att förbättra kunskapen kring emissioner inom hamnområden (starter, manövrering mm) då dessa har betydelse för luftkvaliteten i hamnstäder.

Revidering av emissionsfaktorer för föregående år bör göras där skillnader upptäcks i den djupare analysen. Troligen gäller detta emissionsfaktorerna för NO_X inrikes samt för SO_2 inrikes.

Den informationsmängd som tillkommit via AIS ger möjligheter till nya arbetssätt. Genom att utnyttja information från olika register skulle en fartygsspecifik databas som via IMO-numret kopplar egenskaper om reningsteknik, motorstyrka etc. (och därmed emission) till geografisk position och hastighet från AIS kunna skapas. Erfarenheter från emissioner inom vägtrafik ger att ett sådant ramverk skulle möjliggöra förbättringar av både kvalitén och användbarheten hos emissionsberäkningarna. Den geografiska kopplingen hos emissionerna ger ökade möjligheter för kvalitetskontroller (t.ex. genom jämförelser mellan modellerade koncentrationer luftföroreningar och uppmätta), samt ökade möjligheter för användning inom utredningar över sjöfartens miljöpåverkan lokalt och regionalt. Den ökade transparens och fullständighet som skulle erhållas med ett fartygsregister på individnivå skulle sannolikt också erbjuda möjligheter till förbättringar.

Användandet av AIS-data löser emellertid inte problemet om uppdelningen mellan internationell och nationell sjöfart. Inte heller svårigheterna kring vilken bränslekvalitet som används löses via AIS-data. Användande av "top-down"-metoder grundade på bränslestatistik kommer att behövas här även fortsättningsvis. Vidare användande av AIS-data och utökad "bottom-up"-metodik bör därmed även fortsättningsvis utvecklas tillsammans med rådande "top-down"-tekniker.

Rekommendationer

Vid remissrundan för blankett 401 som kan förväntas komma i februari 2008 bör Naturvårdsverket och Sjöfartsverket påpeka behovet om mer detaljerad information rörande svavelhalten i bränsle till sjöfarten. Vidare bör det påpekas att det finns behov av att kvalitetssäkra fördelningen av bränsle på inrikes/utrikes.

Statistiken kring svavelhalten i bränslet kan förbättras genom att efterfråga information från oljebolagen för de senaste åren. Inom ramen för detta uppdrag har inga utfästelser erhållits från oljebolagen men positiva signaler har givits. Det är en bedömningsfråga om man i statistiken framöver skall förlita sig på frivilliga uppgifter eller om frågorna via SCB/Energimyndigheten bör utvidgas. För att förbättra kunskapsläget bör båda spåren följas. Vidare bör det analyseras hur pass bra bedömningar som går att göra från Sjöfartsverkets analyser av svavelhalt i bränslen ombord. De senare kan vara speciellt värdefulla när det gäller skillnader mellan utrikes/inrikes trafik samt för faktisk svavelhalt (snarare än specificerad) i olika bränslekvaliteter. Vidare bör utvecklingen kring en eventuell introduktion av skrubbrar följas.

En studie bör initieras för att med utnyttjande av Sjöfartsverkets anlöpsregister ta fram en bättre beskrivning av de fartyg som anlöper Sverige, uppdelat på inrikes och utrikes trafik. Efter denna studie kan en revidering ske för emissionsfaktorerna för fr a NO_X (men även andra ämnen) samt en analys av behovet av att ändra i rapporteringen för tidigare år.

En studie bör initieras för att förbättra kunskapen kring emissioner av partiklar från marina motorer. Denna studie bör dels innefatta en litteraturstudie, bl a för att få fram ett samband mellan partikelemissioner och svavelhalt. Vidare bör mätprojekt initieras bl a för att mäta nanopartiklar. För totalemissioner av partiklar finns data som kan användas till emissionsfaktorer[7,12]. Det finns även en del data kring hur partikelemissionerna beror av svavelhalt men kunskapsnivån är inte tillfredsställande.

Frågan kring avdunstning av VOC behöver utredas vidare. Troligen bör en litteraturstudie kombineras med ett mätprogram där bränsle som avges från marina motorer studeras. Vidare bör mängden som förångas vid tankning samt lastning och lossning av relevanta varor beaktas.

Bland övriga växthusgaser bör fr a lustgas men även metan studeras vid införandet av avgasefterbehandling och nya bränslen. De emissionsfaktorer som finns tillgängliga bygger på relativt liten mängd data men å andra sidan är inte dessa emissioner av stor betydelse relativt sett.

Referenser

[1] Eyring, V., Köhler, H. W., van Aardenne, J., Lauer, A., 2005. Emissions from international shipping:1. The last 50 years. Journal of Geophysical Research 110, 17305.
[2] Corbett, J.J., Koehler, H.W., 2003. Updated emissions from ocean shipping. Journal of Geophysical Research, 108, 4650
[3] Endresen, Ø., E. Sørgård, et al., "Emission from international sea transportation and environmental impact." Journal of Geophysical Research **108**(D17): 4560 (2003)
[4] Lauer, A., Eyring, V., Hendricks, J., Jöckel, P., Lohmann, U., 2007. Global model simulations of the impact of ocean-going ships on aerosols, clouds, and the radiation budget. Atmos. Chem. Phys. Discuss., 7, 9419
[5] Ulla Bertills, Jens Fölster, Helene Lager, Ulrika Lindstedt, Per Andersson m.fl. Naturvårdsverket 2007 "Bara naturlig försurning -Underlagsrapport till fördjupad utvärdering av miljömålsarbetet"
[6] 2007. Förbättrad energistatistik i Transportsektorn. Energimyndigheten
[7] D. Cooper och T. Gustafsson "Methology for calculating emissions from ships: 1. Update of emission factors" 2004
[8] D. Cooper och T. Gustafsson "Methology for calculating emissions from ships: 2. Emission factors for 2004 reporting" 2004
[9] Enligt uppgifter från oljebolag
[10] "Försörjningskedjan för svavelhaltiga bränslen i Sverige" Naurvårdsverket M2007/849/Mk
[11] European Commission "Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community" Entec UK Ltd and IVL Swedish Environmental Research Institute, 2002.
[12] E. Fridell, E. Steen and K. Peterson, " Primary particles in ship emissions " Atmospheric Environment, in print.