



Sjöfartens emissionsfaktorer- metod för NO_x och SO_x

Erik Fridell, IVL Svenska Miljöinstitutet

Fredrik Windmark, SMHI

Avtal: 250-18-005

På uppdrag av Naturvårdsverket

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

| | |
|-----------------------|-----------|
| INNEHÅLL | 4 |
| SAMMANFATTNING | 5 |
| SUMMARY | 6 |
| BAKGRUND | 7 |
| METOD | 9 |
| Svaveloxid | 9 |
| Kväveoxider | 11 |
| Partiklar | 12 |
| RESULTAT | 13 |
| Svaveloxid | 13 |
| Kväveoxid | 13 |
| Partiklar | 13 |
| SLUTSATSER | 16 |
| REFERENSER | 17 |

Sammanfattning

SMED utgör en förkortning för Svenska MiljöEmissionsData, som är ett samarbete mellan IVL, SCB, SLU och SMHI.

Denna rapport redovisar nya metoder för att beräkna emissionsfaktorer för sjöfart för kväveoxider och svaveloxider samt sammanfattar data för emissionsfaktorer för partiklar. För svavel är bakgrunden att användandet av reningsmetoden scrubbrar gör att emissionen av svaveldioxid inte kan beräknas direkt ur svavelinnehållet i bränslet. En metod som beräknar hur mycket bränsle som används i fartyg med scrubbrar redovisas. Denna metod möjliggör att ta fram korrekta emissionsfaktorer. För kväveoxider har tidigare en lista från Sjöfartsverket på fartyg med emissionsreningsteknik använts. Då denna lista inte upprätthålls längre föreslås en metod med andra datakällor. Emissionsfaktorer för partiklar för bränsle med en svavelhalt på upp till 0,5% S (nytt globalt krav från 2020), och för fartyg med scrubbrar, föreslås.

Nyckelord: kväveoxider, svaveldioxid, partiklar, sjöfart

Summary

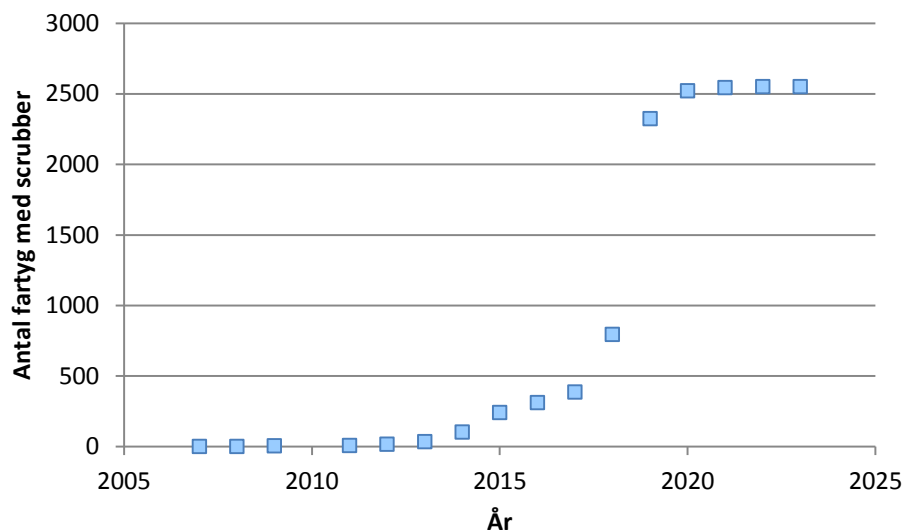
This study reports on new methods to calculate emission factors for shipping for nitrogen oxides and sulphur oxides and summarises available data for emission factors for particles. For sulphur the background is that the increasing use of scrubbers leads to that the emission of sulphur dioxide no longer can be calculated directly from the sulphur content in the fuel oil. A method to assess the amount of fuel used in scrubbers is presented. This method allows for producing correct emission factors. For the emission factors for nitrogen oxides a list of ships using abatement measures, published by the Swedish Maritime Administration, was earlier used. This list is however no longer available, so new data sources are suggested instead. Further, emission factors for particles for fuel oil with up to 0.5% sulphur (new legislation from 2020) and for ships with scrubbers, are put forward.

Bakgrund

I en rapport från SMED (Cooper och Gustafsson 2004) togs emissionsfaktorer för sjöfart och metoder för att beräkna dessa fram. Senare har en uppdatering av typfartyg gjorts med användande av AIS-data (Segersson och Fridell, 2012). Det har dock identifierats att det finns visst behov av uppdatering av en del faktorer och metoder. Detta kan delas in i metod för beräkning av emissionsfaktor för svaveloxid; metod för beräkning av emissionsfaktor för kväveoxid samt uppdatering med nya litteratordata av övriga emissionsfaktorer.

För svaveloxid har emissionsfaktorn beräknats utifrån svavelinnehållet i bränslet som säljs i Sverige uppdelat på dels inrikes och utrikes trafik, dels på marina destillat och marina residualolja. Denna metod används eftersom allt svavel i bränslet oxideras till svaveldioxid vid förbränning och vet man svavelhalten är det därför rättfram att beräkna emissionsfaktorn för SO_2 . Högsta tillåtna svavelhalt i så kallade SECA-områden, t ex Östersjön och Nordsjön med Engelska kanalen, är 0,1% medan upp till 3,5% är tillåtet i övriga havsområden. Det senare kommer att ändras till 0,5% från 2020. I Sverige säljs till största delen olja med en svavelhalt på högst 0,1% men även en del högsvavlig olja för användande utanför SECA-områdena. För att få kunskap kring svavelhalten i det i Sverige sålda bränslet används dels bränslestatistik från Energimyndigheten (Energimyndigheten 2018), dels resultat av bränsleanalyser utförda av Transportstyrelsen med syfte att säkerställa att svavelreglerna följs, dels information kring svavelhalt från oljebolagen.

För att motsvara regelverket kring svavel är det även tillåtet att rena rökgasen från svaveloxid med hjälp av skrubbrar. Detta innebär att högsvavligt bränsle används men utsläppen av SO_2 till luft är låga. I sin tur innebär detta att för de fartyg som använder skrubbrar kan man inte räkna ut emissionsfaktorn för SO_2 utifrån svavelhalten i bränslet. Antalet skrubbrar ökar nu snabbt och speciellt efter 2020 kommer de att vara frekventa (se Fig. 1). Detta gör att en ny metod behövs för att beräkna emissionsfaktorn för SO_2 .



Figur 1 Antal scrubbar i fartyg över världen, existerande och beställda (källa DNV-GL 2018)

För kväveoxider finns emissionsfaktorer för olika motortyper, bränslen och emissionsreningsklasser i Cooper och Gustafsson (2004) vilka används för att beräkna emissionsfaktorer för inrikes och utrikes sjöfart samt för de två bränsleklasserna. Här används olika typfartyg avseende motortyp för utrikes och inrikes trafik, och hänsyn har tagits till att emissionsklasserna införts vid olika tidpunkter, där en fördelning mellan dessa har beräknats utifrån antagen livslängd hos fartygen. I tillägg till detta tas hänsyn till att ett antal fartyg använder reningsutrustning för kväveoxider, mestadels selective catalytic reduction (SCR), för att nå emissionsnivåer som är lägre än de stipulerade. Detta har drivits av ett system med rabatt på farledsavgifter som fanns t o m 2017 där fartyg med låga NO_x-emissioner kunde få rabatt. De fartyg som fick rabatt fanns angivna i en lista hos Sjöfartsverket vilken användes till att beräkna hur emissionsfaktorerna för bränsle sålt i Sverige påverkades. Från 2018 har Sjöfartsverket gått över till ett rabattsystem som bygger på Clean Shipping Index och listan med fartyg som har NO_x-reningsutrustning installerad finns därför inte kvar. Detta har gjort det nödvändigt att ta fram en ny metod för att beräkna emissionsfaktorerna.

Avseende emissionsfaktorer för övriga ämnen har det främst publicerats data för emissioner av partiklar vilka skulle kunna användas för att förbättra de emissionsfaktorer som används för Sveriges internationella utsläppsrapportering. Denna rapport omfattar endast partikelemissionsfaktorer för marin brännolja.

Metod

Svaveloxid

Det finns två möjliga användningar för det högsvavliga marina bränsle som säljs i Sverige: antingen utanför SECA eller inom SECA i fartyg med skrubbrar. För det bränsle som används utanför SECA kan emissionsfaktorn för SO₂ beräknas med existerande metod. För bränsle som används i skrubbrar är emissionsfaktorn liknande som för gasolja; enligt lagstiftningen får SO₂-emissionerna efter en scrubber inte vara högre än motsvarande emission med gasolja. För att få en korrekt emissionsfaktor behövs en metod för att fördela det högsvavliga bränslet på dessa båda kategorier. För inrikes sjöfart antas allt högsvavligt bränsle användas i skrubbrar eftersom inrikes trafik är helt inom SECA.

För utrikes sjöfart är den föreslagna metoden att använda AIS-data för att spåra och kategorisera fartygens rörelser. AIS (Automatic Identification System) är ett globalt system för att identifiera fartyg och följa deras rörelser. Användning av AIS är sedan 2007 obligatorisk för fartyg i internationell trafik med en bruttodräktighet över 300 GT samt för passagerarfartyg. Fartyg med AIS-transponder sänder kontinuerligt ut bland annat position och identitet via VHF som sedan kan samlas in av vem som helst med en mottagare. I det här projektet har AIS-data hämtats från den svenska sjöfartsemissionsmodellen Shipair (2013) som fått data tillgängliggjorda från Sjöfartsverket och HELCOM-samarbetet. I Shipair har AIS-data behandlats och kompletterats med data över fartygsegenskaper ifrån SeaWeb (IHS 2018).

Metodiken är för utrikes trafik som följer:

1. AIS-data används för att analysera anlöp till/från Sverige under året. Detta ger data som per fartyg innehåller namn, IMO-nr, tonnage, fartygstyp och antal anlöp. I Shipairs definition av anlöp ingår även fartyg som ligger för ankar utanför hamnområden. På så sätt inkluderas även fartyg som bunkrat via fartyg (i exempelvis bunkringszonen utanför Göteborg) i anlöpsstatistiken.
2. En lista på vilka fartyg som har skrubbrar söks ut från SeaWeb (IHS 2018).
3. En lista på vilka fartyg som har LNG som bränsle söks ut från SeaWeb (IHS 2018). Dessa fartyg tas bort ur listan med fartyg från AIS-data eftersom emissionsfaktorer skall beräknas för oljebränsle.
4. Sannolikheten för att fartyg av olika typ och storlek går från Sverige till en hamn utanför SECA tas fram från projektet TRACCS (Traccs

2018) (se Tabell 1). Inom detta användes AIS-data till att analysera fartygsrörelser mellan olika länder inom Europa respektive från dessa länder till länder utanför Europa. Denna sannolikhet används för att avgöra hur många fartyg som går till havsområden utanför SECA. Dessa fartyg kan köpa högsvavligt bränsle för användning i dessa områden utan att använda scrubber.

5. Andelen av det i Sverige sålda högsvavliga bränslet som används i scrubberfartyg antas vara en funktion av antal anlöp och fartygens storlek och bestäms enligt ekvation 1.

$$F_{sc} = \frac{F_{HS} * \sum_i GT_i^{0,5} * N_i}{\sum_i GT_i^{0,5} * N_i + \sum_j GT_j^{0,5} * N_j * P_j} = F_{HS} - F_{US} \quad (1)$$

där F_{sc} är mängden högsvavligt bränsle som används i scrubberfartyg, F_{US} bränslet som används utanför SECA, F_{HS} totala mängden sålt högsvavligt bränsle i Sverige, GT är tonnaget, N är antalet anlöp och P är sannolikheten att ett fartyg kör utanför SECA. i indikerar scrubberfartyg och j övriga fartyg. GT är med i ekvationen för att ta hänsyn till att större fartyg generellt använder mer bränsle. Bränsleförbrukningen per sträcka kan approximeras som proportionell mot roten ur tonnaget (Sjöbris 2005). Då en del fartyg anlöp svensk hamn flera gånger per dygn (t ex Öresundstrafiken), och det inte är troligt att de bunkrar flera gånger per dygn, sätts en övre gräns på N till 365.

6. Svavelhalten för residualolja som sålts i Sverige för internationell sjöfart bestäms utifrån uppgifter från oljebolag och från Transportstyrelsens provtagning.
7. Emissionsfaktorn beräknas utifrån ekvation 2.

$$EF = \frac{F_{LS} * EF_{LS} + F_{sc} * EF_{LS} + F_{US} * EF_{HS}}{F_{HS} + F_{LS}} \quad (2)$$

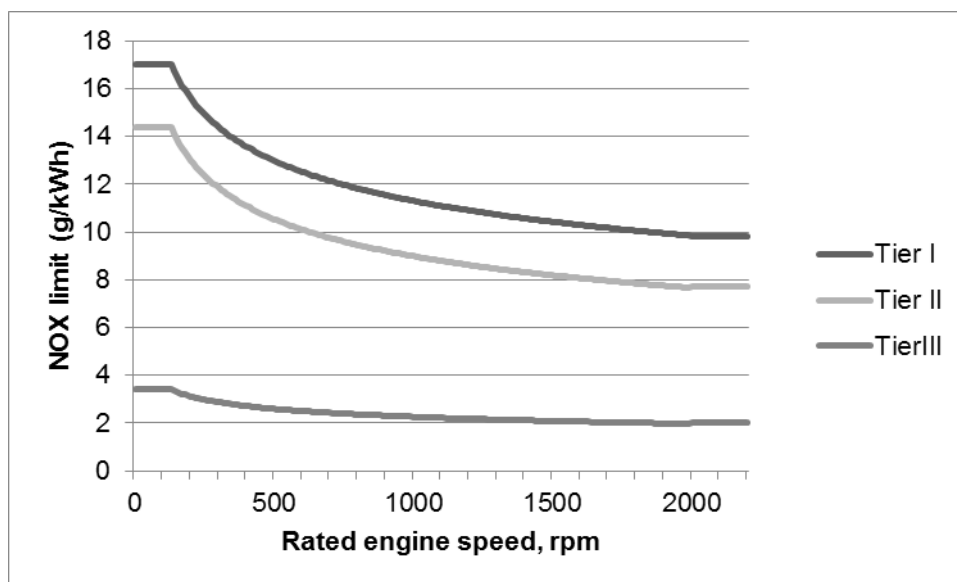
Där EF_{LS} är emissionsfaktorn för bränsle med 0,1% svavel, EF_{HS} är emissionsfaktorn för högsvavligt bränsle (utan scrubber) och F_{LS} är mängden lågsvavligt bränsle. Detta betyder att emissionsfaktorn efter scrubber antas vara samma som motsvarande för lågsvavligt bränsle. Detta är det bästa antagandet med den information som finns idag (Fridell och Salo 2014) och är dessutom rimligt då det skulle innebära en extra kostnad för fartygen att minska emissionen ytterligare. Detta behöver bevakas i framtiden.

Tabell 1. Sannolikheten att ett fartyg som lämnar Sverige har en hamn utanför SECA som nästa hamn för olika fartygstyper och storlekssegment (TRACCS 2018).

| | GT < 5000 | 5000 < GT < 30000 | 30000 < GT |
|-----------------|-----------|-------------------|------------|
| Oil Tanker | 0,09 | 0,28 | 0,43 |
| Chemical Tanker | 0,16 | 0,18 | 0,78 |
| LG Tanker | 0,23 | 0,56 | 0,73 |
| Bulk Carrier | 0,11 | 0,52 | 0,69 |
| General Cargo | 0,13 | 0,25 | 0,75 |
| Container | 0,10 | 0,09 | 0,13 |
| Ferry_RoRo | 0,05 | 0,02 | 0,02 |

Kväveoxider

För kväveoxider finns internationella emissionsregler kopplade till när motorn tas i bruk indelat efter ett Tier-system där högsta tillåten emission beror av motorns varvtal (se Fig. 2).



Figur 2. Tillåtna utsläpp av NO_x för marina motorer.

För kväveoxider finns inga direkta uppgifter om vilken reningsmetod som används i Clean Shipping Index. I kategorin för NO_x går det att få 30 poäng och en bedömning är att fartyg som använder SCR har över 21 poäng. Även fartyg som använder LNG får höga poäng för NO_x i CSI. För att få fram hur

många fartyg som använder SCR görs därför en sökning på fartyg som har mer än 21 poäng. Sedan analyseras vilka av dessa som använder LNG. Återstående fartyg anses använda SCR och fördelas på utrikes och inrikes trafik utifrån vad som är känt kring fartygen.

Ett annat system som används främst av hamnar för att ge miljörabatter till fartyg är Environmental Ship Index (ESI) (ESI 2019). Här ges poäng för fartyg med låga kväveoxidemissioner och genom att söka ut poängen för olika fartyg kan fartyg som når Tier III identifieras. Detta görs genom att poängen för NO_x i ESI beräknas utifrån fartygets emissionsvärde i förhållande till en baslinje som motsvarar Tier I. Vidare är Tier III konstruerad så att värdet är 0,2 gånger värdet för Tier I (för alla varvtal). Alltså kan det enkelt avgöras om ett fartyg klarar Tier III-nivån.

Partiklar

För partiklar har en del mätningar gjorts på marina motorer och vi har här gjort en litteraturgenomgång och även sökt data kring hur scrubbrar påverkar partikelemissionerna.

Resultat

Svaveloxid

En testkörning har gjorts med data för maj 2016. För handelsfartyg registrerades 1318 internationella anlöp varav 83 är för fartyg med installerade scrubbar. Det såldes under 2016 1 467 198 m³ residualolja till internationell sjöfart varav en stor del är högsvavligt (Energimyndigheten 2018). Svavelhalten i det senare var ca 2,5% medan den var 0,095% S i den lågsvavliga delen (Fridell 2017). Detta ger för inrikes sjöfart en EF_{LS} på $4,6 \cdot 10^{-5}$ Gg/TJ. Om inga scrubbar hade använts hade emissionsfaktorn för Eo2-6 för internationell sjöfart blivit $8,2 \cdot 10^{-4}$ Gg/TJ för EF_{HS}, men med här använd metod blir den $3,3 \cdot 10^{-4}$ Gg/TJ. I denna test antas att maj månad var typisk för hela året. Resultatet är dock inte giltigt eftersom listan med scrubberfartyg är uttagen i november 2018 och därför inte motsvarar aktuella scrubberinstallationer 2016; detta är snarare en indikation på hur metoden fungerar.

I ett andra test samlades data in från Shipair för hela 2018, liksom data ur SeaWeb om scrubbar och LNG. Det blev totalt 70 893 anlöp varav 2 369 med fartyg med scrubbar; 112 av 3581 fartyg hade scrubbar. Data kring bränsleförbrukning och svavelhalter är i skrivande stund ej tillgänglig (februari 2019) varför beräkningen av emissionsfaktorerna inte kan fullföljas.

Kväveoxid

Inom CSI finns 36 fartyg i utrikes trafik med mer än 21 poäng i kategorin kväveoxider varav 7 drivs med LNG. Det finns då 29 fartyg som med största sannolikhet har SCR och som drivs med brännolja. Av dessa är 10 verifierade av oberoende granskare. För inrikes trafik finns två fartyg med mer än 21 poäng vilka inte drivs med LNG och bägge är verifierade. Analysen av fartygen i ESI ger 12 fartyg med Tier III som använder olja med internationell trafik och två med nationell. Detta är något färre än fartyg med SCR under 2017, enligt lista från Sjöfartsverket med de fartyg som erhöll rabatt på farledsavgiften (21 internationellt, 5 nationellt).

Partiklar

Tabell 2 visar resultat för mätningar på gasolja avseende emissioner av partiklar gjorda med filterteknik enligt ISO standard eller liknande.

Tabell 2. PM emissionsfaktorer för MGO

| Emissionsfaktor PM (g/kWh) MGO | Referens |
|--------------------------------|--------------------------|
| 0,37 | Winnes och Fridell, 2009 |
| 0,28 | Winnes och Fridell, 2009 |
| 0,38 | Winnes och Fridell, 2009 |
| 0,15 | Cooper, 2003 |
| 0,33 | Cooper, 2003 |
| 0,31 | Cooper, 2003 |
| 0,05 | Winnes, 2016 |
| 0,07 | Moldanova et al., 2013 |
| 0,06 | Moldanova et al., 2013 |
| 0,06 | Winnes, 2016 |
| 0,37 | Cooper, 2003 |

Medelvärde för denna emissionsfaktor blir 0,22 g/ kWh med en standardavvikelse på 0,15 g/kWh vilket motsvarar $2,5 \cdot 10^{-5}$ ($1,9 \cdot 10^{-5}$) Gg/TJ, med ett värmevärde på 43 MJ/kg för gasolja och en specifik bränsleförbrukning på 205 g/kWh (Cooper and Gustafsson, 2004). Endast data för bränsle med en svavelhalt på högst 0,1% har valts ut.

Tabell 3 visar motsvarande data för HFO.

Tabell 3 PM emissionsfaktorer för HFO (upp till 0,5% S)

| Emissionsfaktor PM (g/kWh) HFO | Referens |
|--------------------------------|-------------------------------|
| 0,3 | Zetterdahl et al., 2016 |
| 0,49 | Zetterdahl et al., 2016 |
| 0,27 | Fridell et al., 2008 |
| 0,33 | Fridell et al., 2008 |
| 0,23 | Moldanova et al., 2013 |
| 0,07 | Winnes, 2016 |
| 0,48 | Cooper, 2003 (ships at berth) |
| 0,22 | Winnes, 2016 |
| 1,22 | Kasper et al., 2007 |
| 0,71 | Kasper et al., 2007 |

Medelvärde för denna emissionsfaktor blir 0,43 g/kWh med en standardavvikelse på 0,31 g/kWh vilket motsvarar $5,3 \cdot 10^{-5}$ ($3,8 \cdot 10^{-5}$) Gg/TJ, med ett värmevärde på 41 MJ/kg för HFO och en specifik bränsleförbrukning på 185 g/kWh (Cooper and Gustafsson, 2004). Endast data för bränsle med en svavelhalt kring 0,5% och under har valts ut.

För fartyg utrustade med scrubbar finns endast ett fåtal publicerade mätningar av partikelemissioner (Tabell 4).

Tabell 4 PM emissionsfaktorer för fartyg med scrubbar

| Emissionsfaktor PM (g/kWh) efter scrubber | Referens |
|---|-----------------------|
| 0,22 | Fridell och Salo 2014 |
| 1,22 | ICCT, 2016 |
| 0,27 | Winnes et al., 2019 |
| 0,65 | Fridell et al., 2019 |

Tabell 4 ger ett medelvärde på 0,59 g/kWh med en standardavvikelse på 0,40 g/kWh motsvarande $7,2 \cdot 10^{-5}$ ($4,9 \cdot 10^{-5}$) Gg/TJ.

Slutsatser

Metoden för svavel som föreslås här fungerar tillfredsställande. Den bygger dock på dels tillgång till AIS-data, dels tillgång till den kommersiella databasen SeaWeb. Eftersom användandet av skrubbrar förväntas öka snabbt är det viktigt att uppdatera en lista på fartyg med skrubbrar årligen. Räkneexemplet ovan visar att det har stor betydelse för emissionsfaktorn om man tar hänsyn till att skrubbrar används.

För kväveoxider visar exemplet ovan att användningen av SCR är såpass liten att emissionsfaktorerna inte påverkas i någon större utsträckning. Antalet fartyg som når Tier III och därmed kan antas ha SCR stämmer bra mellan analyserna av CSI och ESI. Jämfört med 2017 ser det ut som om antalet fartyg minskat. Detta kan bero på att SCR inte används av ett antal fartyg som har utrustningen installerad då incitamentet för att ha låg NO_x-emission har minskat i och med att miljörabatten från 2018 bestäms av flera faktorer. Från 2021 kommer nya fartyg i Östersjön och Nordsjön att omfattas av Tier III krav. Detta kommer succesivt att öka skillnaden i emissionsfaktorn för utrikes och inrikes trafik.

De emissionsfaktorer för PM som finns för gasolja ger ett medelvärde (0,22 g/kWh) vilket inte skiljer sig nämnvärt från det som använts tidigare (0,2 g/kWh, Cooper och Gustafsson, 2004) och med tanke på spridningen i data finns det ingen anledning att ändra värdet. För HFO har vi här fokuserat på bränslen med en svavelhalt på upp till ca 0,5% eftersom detta är det gränsvärde som kommer att gälla från 2020. Denna emissionsfaktor (0,43 g/kWh) är betydligt lägre än den tidigare (ca 1,3 g/kWh, Cooper och Gustafsson, 2004) vilken representerar ett mer högsvavligt bränsle. Den nya emissionsfaktorn bör användas från 2020. För fartyg med skrubbrar finns endast några rapporterade mätningar med relativt stor spridning. Värdet är osäkert av flera anledningar: det är svårt att mäta partikelmassa efter en scrubber p.g.a. den låga avgastemperaturen och det höga vatteninnehållet i avgaserna; det finns olika design av skrubbrar som kan förväntas ge olika effekt avseende rening av partiklar; bränslet som används kan skilja sig åt mycket mellan studierna. Emissionsfaktorn bör därför uppdateras när mer data finns tillgängligt.

Referenser

Cooper, D., 2003. Exhaust emissions from ships at berth. Atmospheric Environment, Volume 37, p. 3817–3830.

Cooper, D. and Gustafsson, T. (2004), Methodology for calculating emissions from ships: 1, Update of emission factors, Report series SMED and SMED&SLU Nr 4 2004 (<http://www.smed.se/>).

DNV-GL 2018 <https://afi.dnvgl.com/Statistics?repId=2>. Från 2018-12-10.

Energimyndigheten (2018) EN 20 SM 1802 Kvartalsvisa energibalanser fjärde kvartalet samt åren 2016 och 2017

ESI 2019. www.environmentalshipindex.org

Fridell, E., Steen E., Petersson K., 2008. Primary particles in ship emissions. Atmospheric Environment, Volume 42, p. 1160–1168.

Fridell E 2017. Emission factors for 2016 reporting. För Transportstyrelsen.

Fridell E. and Salo K., 2014, Measurements of abatement of particles and exhaust gases in a marine gas scrubber, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 1-9

Fridell E., Winnes H., Salberg H., 2019, in preparation.

ICCT, 2016, Black Carbon Measurement Methods and Emission Factors from Ships

IHS, 2018, SeaWeb Ship, available at: http://www.sea-web.com/authenticated/seaweb_subscriber_welcome.aspx

A. Kasper, et al., 2007. Particulate Emissions from a Low-Speed Marine Diesel Engine. Aerosol Science and Technology, 41(1), pp. 24-32.

J. Moldanová, et al., 2013. Physical and chemical characterisation of PM emissions from two ships operating in European Emission Control Areas. Atmospheric Measurement Techniques, Volume 6, p. 3577–3596.

D. Segersson och E. Fridell ”Uppdatering av typfartyg för svensk inrikes sjöfart” SMED rapport 2012

Shipair 2013. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:948097/FULLTEXT01.pdf>

Sjöbris A., Gustafsson J och Jivén K., 2005. ARTEMIS Sea transport emission modelling For the European Commission DG Tren, Mariterm AB

Traccs, 2018. <http://traccs.emisia.com/>

Winnes H., Fridell E., 2009. Particle Emissions from Ships: Dependence on Fuel Type. *Journal of the Air & Waste Management Association*, Volume 59, p. 1391–1398.

Winnes H., Moldanova J., Andersson M., Fridell E., 2016. On-board measurements of particle. *Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 230(1), p. 45–54.

Winnes H., Fridell E., Moldanova J., 2019, Effect of marine exhaust gas scrubbers on sulphur dioxide and particle emissions. In manuscript.

Zetterdahl M., Moldanova M., Pei X., Pathak R. K., Demirdjian B., 2016, Impact of the 0.1% fuel sulfur content limit in SECA on particle and gaseous emissions from marine vessels, *Atmospheric Environment* 145, 338.