



**Effekter av SECA på sjöfartens
bränsleanvändning, efterlevnad
och kustnära luftkvalitet**

**Rapport
2017:14**

**Effekter av SECA på sjöfartens
bränsleanvändning, efterlevnad
och kustnära luftkvalitet**

**Rapport
2017:14**

Trafikanalys

Adress: Torsgatan 30

113 21 Stockholm

Telefon: 010 414 42 00

Fax: 010 414 42 10

E-post: trafikanalys@trafa.se

Webbadress: www.trafa.se

Ansvarig utgivare: Brita Saxton

Publiceringsdatum: 2017-06-08

Förord

Den första januari 2015 skärptes kravet på svavelhalten i sjöfartens bränsle och utsläpp i det svavelkontrollområde (SECA) som omfattar Östersjön, Engelska kanalen och Nordsjön. EU-direktiv 2012/33/EU trädde då i kraft, det så kallade svaveldirektivet. Trafikanalys har påbörjat en utvärdering av dess införande och konsekvenser. Syftet är att undersöka hur svaveldirektivet bidrar till, eller i förekommande fall motverkar, uppfyllelse av de transportpolitiska målen.

Föreliggande rapport är en fjärde delrapport i Trafikanalys utvärdering och syftar till att bedöma effekter av skärpta krav på sjöfartens bränsleanvändning och regelefterlevnad, samt kustnära luftkvalitet. Förbättrad kustnära luftkvalitet är grunden för de hälso- och miljövinster som motiverar SECA och successivt skärpta krav. I svaveldirektivets rättsliga grund nämns samtidigt flera risker, bland andra potentiella störningar på bränslemarknaden och bristande regelefterlevnad. Därtill framhölls risker för prisökningar på bränsle och överflyttning av gods från sjö- till vägtransporter. Dessa behandlas i ett parallellt PM.

Rapporten har skrivits av Trafikanalys projektledare Tom Andersson. I projektgruppen har Gelaye Hailemichael ingått. Vi vill tacka Transportstyrelsen, Naturvårdsverket, Energimyndigheten, Chalmers och VTI för råd och kommentarer.

Stockholm i maj 2017

Brita Saxton

Generaldirektör

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	5
1 Bakgrund	7
2 Metod	9
3 Bränsleanvändning	11
3.1 Bränsleleveranser	12
3.2 Bränslestrategier	16
4 Efterlevnad	19
4.1 Provtagning av svavelhalt i fartygsbränsle.....	20
4.2 Fjärrmätningar av fartygsutsläpp.....	23
5 Luftkvalitet	25
5.1 Sjöfartens utsläpp	27
5.2 Kustnära luftföroreningar.....	29
6 Diskussion	35
7 Referenser	39
8 Appendix	43

Sammanfattning

Sedan 10 år är Östersjön, delar av Nordsjön och Engelska kanalen ett svavelkontrollområde (SECA). Det innebär krav på lägre svavelhalter i fartygsbränsle och utsläpp än kraven som gäller utanför SECA. Syftet är att reducera sjöfartens negativa påverkan på människors hälsa och miljön. Den internationella sjöfartsorganisationen (IMO), en del av FN, tar beslut om utsläppsregler som sedan införlivas i EU:s regelverk, det så kallade svaveldirektivet (EU 2016). Utsläppstaket har skärpts i flera steg efter införandet 2006/2007. Den största revisionen genomfördes 2015 med en tiofaldig reduktion från 1 % till 0,1 % svavelhalt i fartygsbränslet (vikt).

I svaveldirektivets rättsliga grund lyfts flera risker fram som även har nämnts i analyser inför de skärpta kraven 2015 (AEA 2009, EC 2011, Trafikanalys 2013, Transportstyrelsen 2014), främst *ökade bränslepriser och kostnader, överflyttning av gods från sjö- till vägtransporter, försämrade konkurrenskraft för sjöfart och näringsliv, bristande tillgång på lågsvavligt bränsle och bristande regelefterlevnad*. Bränslepriser, transportkostnader och överflyttningseffekter har belysts i en separat publikation (Trafikanalys 2017). Konkurrenskraften granskas i en kommande slutrapport. Detta PM behandlar sjöfartens bränslestrategier, regelefterlevnad och svaveldirektivets huvudmål, förbättrad luftkvalitet.

Det finns inga rapporter om störningar på bränslemarknaden i samband med att de skärpta kraven infördes 2015 (Transportstyrelsen 2015, ITF 2016, HELCOM 2016c). Leveranser av dieselbränslen till sjöfarten ökade, bränslen med lägre svavelhalt än restolja (RO). I Sverige fördubblades andelen marina destillat (MD), dvs. marin diesel- och gasolja (MDO och MGO). En liknande utveckling skedde i flera andra EU-länder. Produktionen av dieselbränslen ökade, intaget av råolja och exporten av motorbensin likaså. Den ökade efterfrågan på diesel var till hälften driven av internationell sjöfart, till hälften av inhemsk konsumtion och bilism. Exporten av motorbensin var i samma storleksordning som ökningen av dieselleveranser. En påtaglig och snabb ökning av efterfrågan på dieselbränslen ledde till en lika snabb omfördelning av bränslen på en global bränslemarknad. De var en marknadsomställning som av allt att döma skedde utan några störningar i tillgängligheten på fartygsbränsle.

Inte heller risken för bristande regelefterlevnad infriade sig. Tvärtom visar Transportstyrelsens svavelinspektioner på en högre regelefterlevnad efter de nya riktlinjerna, från drygt 90 % innan 2015 till ca 95 % efter 2015 (andel bränsleprov som håller sig under aktuellt gränsvärde). Även kemiska fjärrmätningar av fartygens svavelutsläpp i Östersjön och Nordsjön visar på en efterlevnad på ca 95 %. Det finns flera möjliga förklaringar till förbättrad efterlevnad.

- En större skillnad mellan gränsvärden inom och utanför SECA reducerar riskerna för missbruk eller misstag.
- De skärpta kraven inom SECA innebär en förenkling i egenkontroll, från tre till två gränsvärden. Från och med 1 januari 2015 gäller 0,1 % inom SECA och 3,5 % utanför. Innan gällde 0,1 % i hamnar, 1 % inom SECA och 3,5 % utanför SECA.
- Kraftigt sänkta bränslepriser under 2014 och 2015 innebär att regelefterlevnaden inte blev en kostnadsfråga.
- Allmän medvetenhet om en ökad övervakning av fartygsutsläpp och en fördubbling av antalet fartygsinspektioner medförde också större egenkontroll.

Bristande efterlevnad av svavelkrav förklaras ofta med svaga sanktionssystem och att det finns ekonomiska incitament att använda billigare bränsle. Även om dessa faktorer kan sägas vara dämpade i och med kraftigt reducerade bränslepriser, så kvarstår dom. I fall priset på råolja återigen stiger, i fall bränslepriser och kostnader skjuter i höjden, så aktualiseras risker för både bristande regelefterlevnad och marknadsstörningar. Mot den bakgrunden är det centralt med fortsatt förstärkt kontroll och uppföljning av svavelkraven inom SECA.

Det primära målet med SECA är att minska sjöfartens utsläpp av svaveldioxid och hälsofarliga partiklar (PM), samt därigenom förbättra luftens kvalitet i kustnära miljöer. En genomgång av mätdata om halter av svaveldioxid och PM vid några mätstationer i Sydsverige visar på tydliga reduktioner av svaveldioxid och i viss mån även av PM (PM_{2.5} och PM₁₀). Vid Råö på Västkusten märks successiva minskningar av svaveldioxidhalter som relaterar till successivt skärpta svavelkrav sedan införandet av SECA 2006–2007. De skärpta kraven 2015 innebar en reduktion på 35–40 %. Det är i linje med danska mätningar på Anholt som har utförts av DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi i Danmark (DCE 2016). Minskningen av PM-halterna är lägre och varierar med mätstation, som förväntat (Guevara 2016).

I rapporten görs inga samhällsekonomiska värderingar. Osäkerheten är alltför stor i fråga om miljö- och hälsoeffekter, dvs. hur skärpta krav förändrar miljöexponering mot sulfat (försurning) och befolkningsexponering mot partiklar (PM). Olika antaganden i ex-ante analyser medförde mycket olika kostnads- och nyttokalkyler (AEA 2009, Trafikanalys 2013, Nerhagen 2016). Slutsatsen från en ex-post analys är att skärpta krav inte har lönat sig (Antturi, Hänninen et al. 2016). Analysen bygger på AIS-data om fartygs reella rörelser i Östersjön, samt modellering av PM-utsläpp och exponering i åtta länder kring Östersjön. Studien bidrar med nya fakta och kunskaper, men har begränsningar. Miljöeffekter ingår inte. Dessutom finns det behov av fler och bättre exponeringsstudier. Mätningar av luftföroreningar visar att den reella reduktionen av PM kan vara ca tio gånger större än den modellerade.

1 Bakgrund

Den internationella sjöfartsorganisationen IMO, en underorganisation till FN, har till uppgift att utveckla ett gemensamt regelverk på sjöfartsområdet. MARPOL Annex VI är ett av dessa. Det omfattar gränsvärden för utsläpp av svavel- och kväveoxider och förbud mot ozonnedbrytande föreningar. Gränsvärdena för svavel har skärpts i flera steg.¹ Inledningsvis, i maj 2005, infördes ett globalt krav på maximalt 4,5 % svavelhalt i fartygens bränsle (viktprocent). Året därpå upprättades ett så kallat svavelkontrollområde (SECA) i Östersjön, med ett regionalt tak på 1,5 %. Några månader senare utvidgades SECA till Nordsjön och engelska kanalen. Kravet inom SECA sänktes till 1 % svavel 2010 och 0,1 % 2015. I Nordamerika infördes SECA 2012, samt ett regionalt kvävekontrollområde (NECA) 2015. Globalt skärptes kravet 2012 (3,5 %), samt är satt till 0,5 % från och med 2020.

I EU:s implementering av det internationella regelverket har fler regionala krav tillkommit. När SECA infördes ställdes även kravet på maximal svavelhalt på 1,5 % för alla passagerarfartyg som går mellan hamnar inom EU. Vidare gällde 0,1 % svavelhalt för bränsle som används när fartyg ankrar i hamnar inom EU från och med 2010. Kravet gäller även bränsle som används i inlandssjöfart. En kort, men faktarik genomgång av EU:s policyutveckling ges i en rapport från Association of European Vehicle Logistics (ECG 2013).

Utvecklingen av IMO:s regelverk har inneburit en stegvis omställning för sjöfarten, i synnerhet inom EU och SECA. Det nya kravet på 0,1 % svavel från och med 2015 anses samtidigt vara speciellt i och med det låga gränsvärdet, en sänkning på 90 % inom SECA. Syftet var som tidigare att begränsa sjöfartens negativa hälsoeffekter och miljöpåverkan, men kraftigt skärpta krav uppfattades också innebära större ekonomiska risker för berörda länder i EU. Riskerna har tagits upp i utredningar, i forskningsartiklar och inlägg i nyhetsmedier. De sammanfattas väl i svaveldirektivets rättsliga grund (EU 2016):

(29) Det är nödvändigt att se till att skyldigheterna när det gäller svavelhalten i marina bränslen fullgörs för att uppnå målen i detta direktiv. Erfarenheterna från genomförandet av direktiv 1999/32/EG² har visat att det behövs ett bättre system för övervakning och verkställighet [...]

(30) Ett uppfyllande av de låga gränsvärdena för svavel i marina bränslen, särskilt i svavelkontrollområdena, kan leda till betydande prisökningar på sådana bränslen, åtminstone på kort sikt, och få negativa effekter för konkurrenskraften både hos närsjöfarten jämfört med andra transportsätt och hos industrin i de länder som gränsar till svavelkontrollområdena.

(31) Att begränsa trafikomställningar från sjö- till landtransport är särskilt viktigt eftersom det ofta skulle gå stick i stäv med unionens klimatförändringsmål och öka trafikstockningarna om vägtransporternas andel ökade.

(34) Tillgängligheten till utsläppsminskningsmetoder bör underlättas [...] under förutsättning att de inte har några betydande negativa effekter på miljön [...] och att de tas fram i enlighet med lämpliga godkännande- och kontrollkrav.

¹ <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx>

² Rådets direktiv 1999/32/EG av den 26 april 1999 om att minska svavelhalten i vissa flytande bränslen och om ändring av direktiv 93/12/EEG

(37) Vid störningar i tillgången på råolja, oljeprodukter eller andra kolväten får kommissionen besluta om att ett högre gränsvärde ska tillämpas inom en medlemsstats territorium.

Ledmotivet är att omställningen till renare fartygsbränslen, speciellt på kort sikt, kan påverka transport- och bränslemarknaderna, något som kan resultera i sämre ekonomisk utveckling för sjöfartsnäringsen, transportköpare och berörda medlemsstater, samt skapa incitament för bristande regelefterlevnad. De uppföljningar som hittills har gjorts av de nya kraven 2015 pekar på avsedda positiva effekter utan omedelbara påtagliga negativa effekter (Trafikanalys 2015, Transportstyrelsen 2015, ITF 2016, NABU 2016, Trafikanalys 2016a, HELCOM 2016c). De är avgränsade till 2015 års utfall, samt enskilda länder och/eller enskilda mål och risker. I denna rapport tillämpas ett bredare och långsiktigt perspektiv för att bedöma måluppfyllelse och risker med SECA. Regelverket har utvecklats i flera faser och det är lättare att fastställa effekter av upprepade än enskilda interventioner.

Bakgrunden till denna utvärdering är en konsekvensanalys av 2015 års krav som Trafikanalys gjorde på uppdrag av regeringen. (Trafikanalys 2013). Kraven antogs leda till ökade kostnader för sjöfarten, mellan 4 och 7 miljarder kronor, samt en prisökning på lågsvaligt fartygsbränsle, mellan 5 och 20 %. Under 2014 beslutade Trafikanalys om en utvärdering och inom ramen för den kommer fem rapporter.

Den första rapporten sammanfattade branschens erfarenheter under första halvåret 2015 (Trafikanalys 2015). Den andra var en analys av effekter av svaveldirektivet på sjöfartens drivmedel och utsläpp (Trafikanalys 2016a). Den tredje behandlade risken för överflyttning av godstransporter mellan trafikslag (Trafikanalys 2017). Denna fjärde rapport tar ett bredare grepp om sjöfartens bränsleanvändning, efterlevnad, samt kustnära luftkvalitet. I en femte avslutande rapport kommer effekterna av SECA på sjöfartens och näringslivets konkurrenskraft att diskuteras (sommaren 2017).

2 Metod

Rapporten bygger på tidigare studier och nya sammanställningar av data och uppgifter från flera källor: bränslestatistik från Eurostat, fartygshastigheter från Automatic Identification System (AIS), kontrollresultat från Transportstyrelsens svavelinspektioner, samt haltdata av luftföroreningar från den nationella luftövervakningen. Eftersom källorna är av varierande slag beskrivs de närmare i inledningen till de rapportavsnitt och delar där resultat och analyser förekommer. Här ges en allmän orientering till metoder och material.

För att beskriva utvecklingen av bränsleleveranser i olika länder används bränslestatistik från SCB och Eurostat. Bränslepriser och kostnader är hämtade från SCB:s och Eurostats prisindex. Uppgifter om fartygsrörelser och hastigheter i Östersjön härrör från AIS-data från Sjöfartsverket tillhandahåller.

Transportstyrelsen har tillhandahållit datafiler med uppgifter om svenska svavelkontroller för åren 2013–2016. Myndigheten har också delgett sammanfattande statistik för kontrollresultat i EU för året 2015. Information om övriga kontrollinsatser och åtgärder, till exempel fjärrmätningar, har hämtats in från dokumentation från arbetsgrupper i HELCOM och EU, till exempel rapporter från det EU-finansierade projektet Compliance Monitoring.

För att bedöma sjöfartens utsläpp av luftföroreningar används statistik från Naturvårdsverket. Mätdata avseende kustnära lufthalter av svaveldioxid, kvävedioxid och PM har sammanställs från nationella luftövervakningen och SMHI:s datavärdskap.

3 Bränsleanvändning

Bränsleanvändning avser här bränsleslag och bränslevolym. Det är en central komponent i sjöfartens strategier för att uppfylla svaveldirektivet, vilka metoder för utsläppsminskning som föredras: lågsvavligt bränsle, avgasreningssystem eller nya alternativa bränslen, till exempel metanol eller gas (LNG). Det är en kostnads- och lönsamhetsfaktor som påverkar sjöfartens verksamhet på kort och lång sikt, till exempel körplanering och investeringar i ny teknik. Mot den bakgrunden är det centralt att bedöma effekter av svaveldirektivet på bränsleleveranser och användning i sjöfarten. Dels om de nya kraven medförde marknadsstörningar av något slag, till exempel obalans i tillgång och efterfrågan, dels om skiftet till ett relativt dyrare bränsle har påverkat sjötrafiken, till exempel reducerade fartygshastigheter för att spara bränsle.

Statistik om sjöfartens bränslekostnader och användning är underlag för att beskriva och analysera branschens verksamhetsstrategier och utveckling. Den officiella statistiken på området är dock förenad med standardiserings- och kvalitetsproblem. I Energimyndighetens statistik om fartygsbränsle används klassificeringen för eldningsolja (EO1-6) (ES 2016). Enligt svensk standard (SS 155410:2011) omfattar EO1 krav på högst 0,05 % svavelhalt (viktprocent). För övriga klasser gäller: EO2 0,5 %, EO3 0,5 %, EO4 0,8 %, EO5 0,8 %, EO6 0,8 %. I sjöfarten används andra begrepp och termer för att beskriva och klassificera fartygsbränsle, tjockolja (Heavy Fuel Oil, HFO), samt renare destillat, gasolja (Marine Gas Oil, MGO), dieselolja (Marine Diesel Oil), samt lågsvavliga bränsleoljor (Ultra Low Sulphur Fuel Oil, ULFSO). Denna terminologi är inte kopplad till standardkrav på svavelhalter, bara till ett svagt samband mellan bränslefraktioner och svavelhalt, att renare bränsledestillat har lägre svavelhalt. Inom en och samma bränslekategori, till exempel tjockolja (HFO), finns det betydande variation i svavelhalter.

Den svaga kopplingen mellan fartygsbränslen och svavelhalter förklarar varför EO-klasserna inte tolkas konsekvent i statistiken om bränsleleveranser till sjöfarten. Det finns uppgifter om att marina gas- och dieseloljor tolkas olika, EO1-2 eller EO3-6 (Transportstyrelsen 2015, Koucky 2016, Trafikanalys 2016a). Ett mer generellt problem är hur energibolag tolkar begreppet eldningsolja (EO) med svavelhalter på mer än 0,8 %, eftersom svensk standard anger kravet 0,8 % som maximal svavelhalt i eldningsolja. Energimyndigheten och SCB reviderar för närvarande riktlinjer och formulär för rapportering av bränsleleveranser till sjöfarten. Den här rapporten förlitar sig på existerande officiell statistik, men kompletterar med andra källor om och när det är möjligt.

I Eurostats bränslestatistik finns två huvudkategorier av bränsle för internationell bunkring, Fuel Oil (restolja, RO) respektive Gas and Diesel Oil (marina destillat, MD). Motsvarande kategorier i svensk officiell statistik är EO2-6 (RO), samt EO1/dieselbränsle (marina destillat, MD). Generellt håller MD lägre svavelhalt än RO, eftersom det är renare bränslen, även om variationerna inom RO är betydande. Det finns även restolja (EO2-3) med svavelhalter på mindre än 0,1 %. För RO görs en indelning i bränslen med svavelhalter högre respektive mindre än 1 procent, gränsvärdet inom SECA innan 2015. Indelningen är dock av begränsat värde, dels på grund av osäkerheten i rapporteringen av bränslen, dels med tanke på de nya riktlinjerna. I denna rapport används bara leveranser av RO och MD för att sammanfatta sjöfartens omställning till lågsvavligt bränsle, dvs. från RO till MD.

Bränslestatistiken har också andra begränsningar. Den omfattar leveranser av bränslevolymer och bränsleslag till inrikes respektive internationell sjöfart. Det går dock inte att avgöra vad och hur mycket som förbrukas inom respektive utanför SECA. Däremot går det att hämta in bränslestatistik från medlemsstater inom respektive utanför SECA och på sätt jämföra hur SECA påverkar sjöfartens bränsleanvändning.

Mer ingående analyser av sjöfartstrafik och energiförbrukning kan göras med hjälp av AIS-data (Automatic Identification System), ett övervakningssystem som registrerar fartygens positioner och rörelser på havet. Sjöfartsverket och motsvarande myndigheter i andra länder kring Östersjön delar data för att få en helhetsbild av sjöfartstrafiken (HELCOM 2016b). Andra myndigheter kan använda AIS som indata för utsläppsanalyser. Dessa bygger också på data om energiförbrukning och bränsleslag beroende på fartygsspecifikationer från fartygsregister, samt även på antaganden om att sjöfarten följer kraven inom SECA.

3.1 Bränsleleveranser

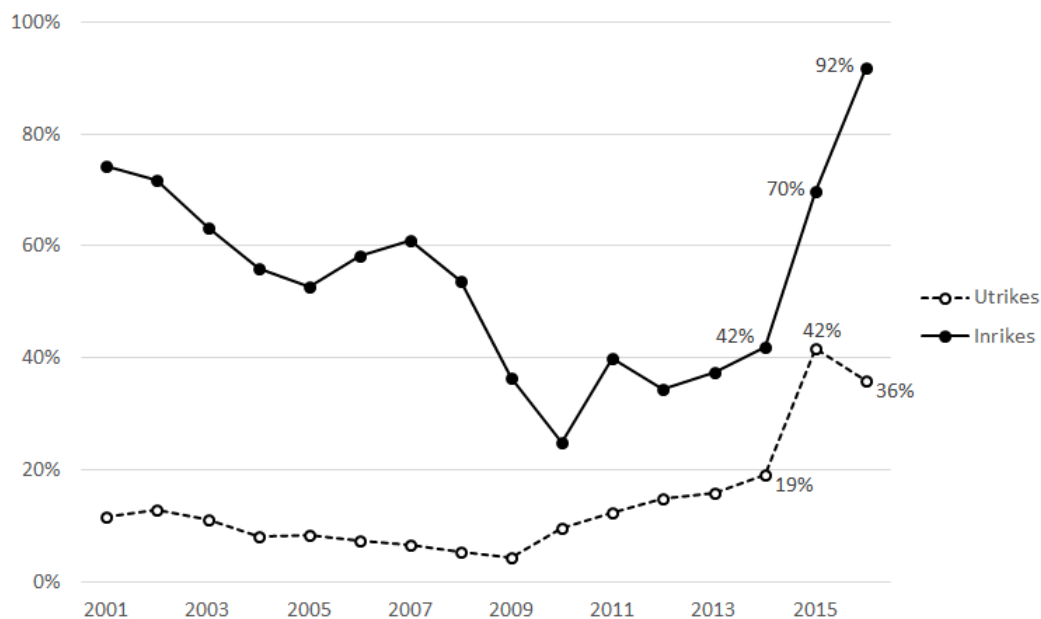
I de rapporter som hittills har publicerats om erfarenheterna av de nya kraven inom SECA nämns inga observationer om problem med tillgänglighet på fartygsbränsle (Trafikanalys 2015, Transportstyrelsen 2015, ITF 2016, CEDelft 2016a). Tillgängligheten på lågsvavligt fartygsbränsle var en riskfaktor som lyftes fram i konsekvensanalyser inför 2015 års krav (Trafikanalys 2013, EU 2016), men generellt blev inte tillgängligheten ett problem. Frågan har även varit aktuell under hösten 2016 när IMO tog beslut om ett globalt tak på 0,5 % svavelhalt år 2020. Beslutsunderlaget omfattade en tillgänglighetsstudie (CEDelft 2016b) som ifrågasattes av en oberoende studie finansierad av den internationella sjöfartsorganisationen BIMCO och det internationella förbundet för gas- och oljeindustrin IPIECA (EnSys 2016). IMO bedömde dock inte risken för bränslebrist med ett nytt globalt tak som stor eller allvarig nog för att justera taket eller skjuta på dess införande.³

De nya kraven 2015 medförde ett tydligt skifte i fördelningen av MD (diesel och EO1) och RO (EO2-6) (figur 3.1). Inrikes sjöfart utmärker sig med dels en nedgång i andel MD i samband med finanskrisen 2008–2010, något som kan förklaras med att RO är ett billigare alternativ än MD, dels mer än en fördubbling i andel MD 2014–2016, konsekvent med en ny riktlinje om 0,1 % svavelhalt inom SECA. Andel MD för internationell bunkring fördubblades 2014–2015, men föll tillbaka något 2016. Andel MD av det internationella bunkerbränslet påverkas av andel RO till transporter utanför SECA, med högre svavelhalter. Dessa leveranser varierar från år till år och ökade något 2016 i jämförelse med 2015 (Fridell 2016).

Svenska miljöinstitutet (IVL) tar fram skattningar på svavelhalter i fartygsbränslen (tabell 3.1). De bygger på en sammanvägning av uppgifter från Energimyndighetens bränslestatistik, resultat från Transportstyrelsens provtagningar av svavelhalter i fartygsbränslen och intervjuer med oljebolag. Restolja (RO) för utrikes sjöfart omfattar bränslen med lägre svavelhalter inom SECA och högre halter utanför SECA. Svavelhalten i RO utanför SECA kan skattas till ca 2 procent,⁴ 0,1 procent innanför SECA. Med en snitthalt på 1,4 % innebär det att ca en tredjedel RO har låg svavelhalt, två tredjedelar hög halt. Marina destillat (MD) och RO med låg halt tillsammans står för ca 60 procent av bränslet för utrikes trafik 2015–2016.

³ <http://www.imo.org/en/mediacentre/pressbriefings/pages/mepc-70-2020sulphur.aspx>

⁴ Skattningen bygger på svavelhalten för RO 2006 och ett samtal med Erik Fridell (IVL).



Figur 3.1. Utvecklingen av andel marina destillat (MD: diesel + EO1) av totala leveranser fartygsbränsle (diesel + EO1-6, marina destillat + restolja, RO), inrikes respektive utrikes sjöfart. Källa: Trafikanalys bearbetning av månatlig bränslestatistik från Statistikdatabase, SCB. Några månadsuppgifter är sekretessmarkerade och har ersatts med glidande medelvärden +/- 6 månader. Månatliga data har sammanställs till årlig data för att jämna ut säsongvariationer.

Tabell 3.1. Svavelhalter i marina bränslen sålda i Sverige⁵

År	Marina destillat (MD)		Restolja (RO)	
	Inrikes	Utrikes	Inrikes	Utrikes
2006	0,4	0,4	1,8	1,8
2007	0,4	0,4	1,3	1,3
2008	0,08	0,08	1,2	1,2
2009	0,08	0,08	1,2	1,2
2010	0,08	0,08	0,96	0,96
2011	0,071	0,071	0,82	0,82
2012	0,062	0,062	0,83	0,83
2013	0,061	0,061	0,96	1,33
2014	0,075	0,075	0,76	1,33
2015	0,084	0,084	0,094	1,4

⁵ Denna tabell finns i en rapport om emissionsfaktorer från Svenska Miljöinstitutet beställd av Transportstyrelsen (Fridell 2016). Halterna för inrikes RO 2013-2014 har justerats i förhållande till ursprungstabellen i enlighet med uppgifter i löptexten i rapporten.

För att bedöma effekter av SECA och svaveldirektivet på bränslemarknaden har statistik tagits fram från Eurostats databas avseende (1) leveranser av marina destillat⁶ och (2) restolja⁷ för internationell bunkring, (3) leveranser av motorbensin, dieselbränsle och restolja för inhemsk konsumtion, (4) export av bensin, dieselbränsle och restolja, och (5) intaget av råolja till raffinaderier. För denna statistik används ett regionalt urval av tio EU-stater "EU-10" som följer en tidigare utvärderingsrapport (Trafikanalys 2017): Danmark, Finland och Sverige (SECA N), Belgien och Nederländerna (Benelux, BL), Frankrike och Storbritannien (FR-UK), samt Italien, Portugal och Spanien (Sydeuropa).

Det totala råoljeintaget i EU-10 var närmare 441 miljoner ton år 2008. Import och export av motorbensin, dieselbränsle och restolja uppgick samma år till närmare 130 miljoner ton, respektive drygt 162 miljoner ton. Leveranserna till inhemska marknader och internationell bunkring låg på drygt 261 miljoner ton respektive närmare 47 miljoner ton. Av bunkerbränslet var andelen MD drygt 11 %. Effekterna av kraven på lägre svavelhalter märks tydligt (figur 3.2). Andelen MD steg till drygt 24 % 2015. Leveranserna av RO var 36 procent lägre 2015 i jämförelse med index, samtidigt som leveranserna av MD var 65 % högre.

Den största tillväxten av MD skedde i SECA N, samt länder med omfattande handel inom SECA (figur 3.3). Ca 50 % (vikt) av lastat internationellt sjöfartsgods från Frankrike och Storbritannien går till hamnar inom SECA.⁸ Förutom en kraftigt ökad andel MD märks också en ökad export och ett ökat råoljeintag, drygt 10 % respektive drygt 6 % från 2014 till 2015. Det ökade råoljeintaget är till viss del en reaktion på ökad efterfrågan på MD, men inte enbart. Produktionen av MD i raffinaderierna ökade med drygt 6 miljoner ton mellan 2014 och 2015. Det är mer än dubbelt så mycket som ökningen av MD för bunkring, närmare 3 miljoner ton. Även inhemska dieselleveranser växte i EU. Samtidigt ökade exportöverskottet av bensin (export minus import) från EU-10 med drygt 6 miljoner ton.

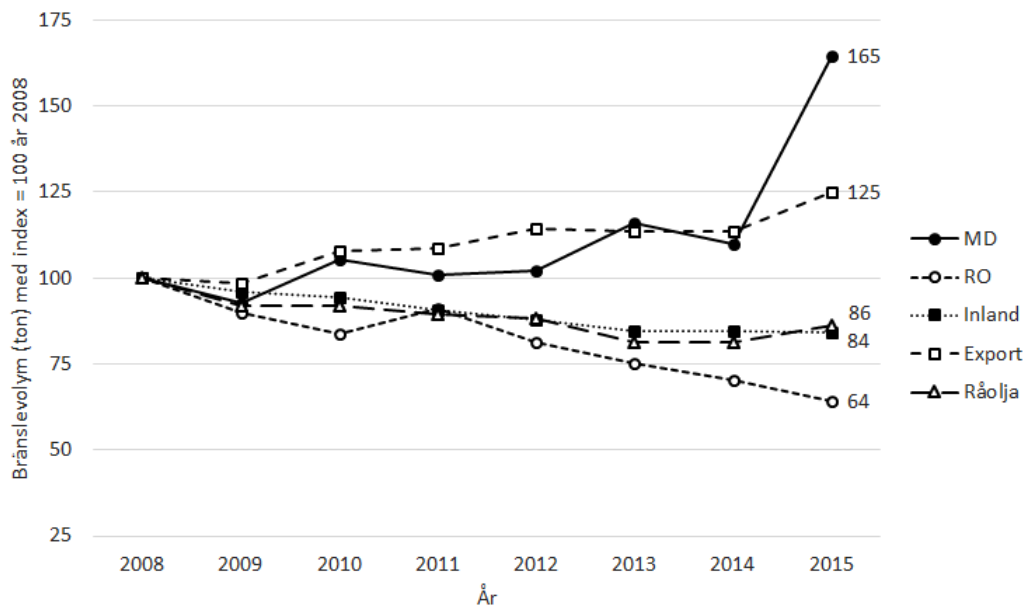
I en studie med finansiering från bland annat Svenskt näringsliv har det ökade råoljeintaget i EU tolkats som att svaveldirektivet resulterar i ökade koldioxidutsläpp. Motiveringen är att ökade leveranser av renare fartygsbränslen (MD istället för RO) kräver ett ökat råoljeintag, varmed även de totala bränsleleveranserna måste öka, samt konsekvent även den totala förbränningen av fossila bränslen (Krantz, 2016).

Resonemanget bortser från att bränslemarknaden är global. Bränslestatistiken visar tydligt att exporten av motorbensin ökade lika mycket som inhemska dieselleveranser. Ökad produktion av diesel inom EU-10 kan balanseras av minskad produktion av motorbensin i länder som är mottagare av ökad export från EU-10. Resultatet är en geografisk omfördelning av produktion och konsumtion, varmed råoljeintaget blir mer eller mindre oförändrat. En regional ökning av intaget av råolja innebär därmed inte någon global ökning i bränsleförbrukning. Med tanke på den ökade exporten av motorbensin från EU-10 handlar det ökade råoljeintaget i EU-10 om regionala omfördelningar, inte globala förändringar av bränslemarknaden.

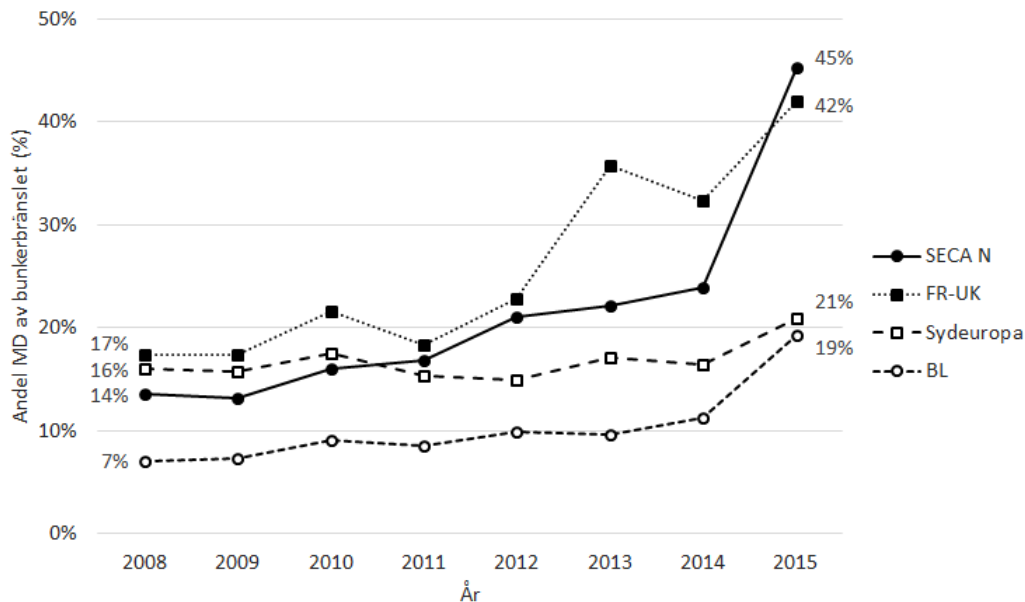
⁶ I Eurostat används termerna marina gas- och dieseloljor. Här används marina destillat som ekvivalent term.

⁷ I Eurostat används termen "fuel oil", bränsleolja. Här används "restolja" (RO) som ekvivalent term.

⁸ Uppgiften bygger på hamnuppgifter från Eurostats databas över flera år.



Figur 3.2. Utvecklingen av bränslevolymer i EU-10. Förkortningar: "MD", marina destillat, leveranser av marina gas- och dieselolja, MGO och MDO, för internationell bunkring; "RO", leveranser av restolja för internationell bunkring; "Inland", leveranser av motorbensin, diesel och restolja för inhemsk konsumtion; "Export", export av motorbensin, diesel och restolja; "Råolja" – intag av råolja till raffinaderier. Källa: Månatlig bränslestatistik från Eurostat, sammanställd till årsstatistik för att jämma ut säsongsvariationer.



Figur 3.3. Andel marina destillat MD (gas- och dieselolja, MGO och MDO) av totalt bunkerbränsle (destillat och restolja RO). Regioner: Danmark, Finland och Sverige (N Seca); Frankrike och Storbritannien (FR-UK); Belgien och Nederländerna (BL), samt Italien, Portugal och Spanien (Sydeuropa). Källa: Månatlig bränslestatistik från Eurostat, sammanställd till årsstatistik för att jämma ut säsongsvariationer.

3.2 Bränslestrategier

UNCTAD uppger att det finns närmare 91 000 handelsfartyg i världen 2016.⁹ Ca 10 000 fartyg trafikerar Östersjön per år (Havsmiljöinstitutet 2017). Fossila bränslen är det dominerande drivmedlet. Drygt 100 fartyg drivs med naturgas (Liquefied Natural Gas, LNG) (EC 2015) och en handfull drivs med metanol (Andersson 2015). Några hundra fartyg har skrubbers, dvs. avgasrening för svavel och PM (TE 2015). Därutöver finns det FoU-projekt om alternativa bränslen (LH-F3 2016). I övrigt förlitar sig sjöfarten helt och hållet på fossila bränslen, mer än 95 procent av fartygen i Östersjön. Den dominerande strategin för att hantera kraven på låga svavelhalter inom SECA är därför att byta till ett renare och dyrare bränsle.

Bränslekostnadernas andel av sjöfartens driftkostnader varierar med oljepriset, men rör sig i storleksordningen 10–50 procent (Trafikanalys 2016b). Att döma av ett norskt index för sjöfartens driftkostnader utgör drivmedelskostnaderna ca 20–30 procent (Trafikanalys 2017). Med tanke på att det rör sig om ett betydande kostnadsslag är det rimligt att anta att variationer i bränslepriser får reella och påtagliga effekter på sjöfartens konkurrenskraft och lönsamhet, affärsstrategier och investeringar. Så gjordes också i konsekvensanalyserna som föregick SECA och de nya riktlinjerna 2015 (EC 2011, Trafikanalys 2013). De regionala särkraven på sjöfartens utsläpp antogs leda till ökade kostnader för renare fartygsbränslen på kort sikt, avgasrening och alternativa bränslen på längre sikt. Det antogs i sin tur resultera ökade transportkostnader för näringslivet som är beroende av sjötransporter.

Den farhågade kostnadsökningen på fartygsbränsle uteblev. Under hösten 2014 sjönk priset på råolja och fortsatte att falla under 2015. När det stod som lägst var priset på GDO ca 50 procent lägre än under första halvåret 2014, samt var lägre än det tidigare priset på HFO (Trafikanalys 2017). Samtidigt ökade de dagliga prisvariationerna på bränsle, volatiliteten, och nådde nivåer i linje med finanskrisen 2008–2009 (30–40 procent).¹⁰ Oljepriset steg något 2016, men låg i början av 2017 fortfarande på låga nivåer. En fortsatt hög volatilitet i bränslepriser innebär en osäkerhet i driftkostnader, samtidigt som sjöfarten tyngs av överkapacitet. En hård konkurrens och osäker lönsamhet främjar kortsiktiga verksamhetsplaner och affärslösningar, snarare än långsiktiga investeringar. Kortsiktiga lösningar på kostnadsökningar för bränsle är till exempel att höja priset på egna transporttjänster, att minska bränsleförbrukningen genom sänkta hastigheter och effektivare körning.

Trafikanalys har i en tidigare rapport konstaterat att prisutvecklingen på sjötransporttjänster inte har följt prisutvecklingen på fossila bränslen (Trafikanalys 2017). Tjänsteprisindex (TPI) för sjötransporter har sjunkit sedan finanskrisen 2008–2009, även om en viss återhämtning kan skönjas för 2015 och 2016. Av allt att döma har en hårdare konkurrens pressat priserna. Det väcker frågan om sjöfarten kompenserar för relativt högre bränslepriser inom SECA och med de nya riktlinjerna genom energieffektivisering eller förändringar i sjötrafiken. För att utvärdera sådana effekter har en analys gjorts av AIS-data. Automatic Identification System (AIS) är ett system som följer internationella regelverk (IMO) och gör det möjligt att följa fartygsrörelser på havet. I Sverige är det Sjöfartsverket som ansvarar för förvaltningen med en databas över fartygsrörelser i Östersjön sedan 2007 och framåt.¹¹

Trafikanalys har analyserat AIS-data för tre år, 2013–2015. Fem havsområden definierades för att begränsa urvalet av fartyg och förenkla beräkningar av medelhastigheter (figur 3.1).

⁹ United Nations Conference on Trade and Development: <http://unctadstat.unctad.org/wds/TableView/tableView.aspx>

¹⁰ U.S. Energy Information Administration (EIA): <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=26172#>

¹¹ <http://www.sjofartsverket.se/sv/Maritima-Tjanster/Strommad-AIS-data/>

Inom ett och samma område beräknades enskilda fartygs medelhastigheter per år (tabell 3.1). Av alla fartyg som passerar dessa havsområden, närmare 10 000, är 5 045 återkommande i ett havsområde alla tre år. För dessa har skillnaderna i årliga medelhastigheter beräknats för 2013–2014 respektive 2014–2015.



Figur 3.1. Fem havsområden som ingår i Trafikanalys analys av fartygshastigheter: Västerhavet (VH), 2,5 mils radie kring latitud 56,7 och longitud 11,56; Östersjöns infart (ÖI), 2,5 mils radie kring latitud 55,0 och longitud 13,5; Södra Östersjön (SÖ), 5 mils radie kring latitud 56,0 och longitud 18,5; Södra Ålands hav (SÅ), 1,75 mils radie kring latitud 59,84 och longitud 19,8; samt Bottenhavet (BH), 5 mils radie kring latitud 61,6 och longitud 19,4. Källa: AIS-data från Sjöfartsverket.

Den genomsnittliga hastighetsförändringen är -0,14 knop (sd = 1,34) mellan 2013 och 2014, och -0,10 knop (sd = 1,31) mellan 2014 och 2015. Det är små, obetydliga och icke-signifikanta förändringar som kan bero på andra faktorer och slumpmässiga variationer, till exempel väder, snarare än på bränslestrategier i sjöfarten.

Resultatet överensstämmer med en norsk forskningsstudie av hastigheter för handelsfartyg som rör sig mellan havsområden inom och utanför SECA (Adland, Fonnes et al. 2017). Studien omfattar fartygspassager till och från SECA i Nordeuropa under 2013–2015. Forskarna kunde inte påvisa några hastighetsförändringar, vare sig över havsområden eller tid. Inte heller kunde några samband styrkas mellan bränslepriser och fartygshastigheter.

Resultatet är vidare i linje med en statistiksammanställning av hastigheter för sjögående fartyg i Östersjön som Finska Meteorologiska Institutet (FMI) har delgivit Trafikanalys. Den bygger på medelvärdet av fartygshastigheter relativt deras designhastighet. Den relativa hastigheten minskade med ca en procent mellan 2014–2015. Slutsatsen blir att fartygshastigheter är mer eller mindre konstanta och att förändringar på bränslemarknaden inte gett något avtryck.

Tabell 3.1. Medelhastighet (knop) i fem havsområden. Uppgifterna bygger bara på fartyg som förekommer i ett och samma havsområde alla tre år.

Havsområde	Typ av fartyg	Antal	2013	2014	2015
Bottenhavet	Gods	276	11,4 (1,9)	11,4 (2,5)	11,3 (3,2)
	Passagerare	2	17,3 (0,2)	16,0 (2,9)	12,5 (6,1)
	Tanker	72	12,4 (1,1)	12,6 (1,3)	12,4 (1,2)
Ålands hav	Gods	436	11,9 (2,6)	11,8 (2,9)	11,8 (3,6)
	Passagerare	34	16,4 (2,5)	16,1 (2,4)	16,1 (2,5)
	Tanker	100	12,7 (1,3)	12,6 (1,3)	12,6 (1,4)
Södra Östersjön	Gods	500	10,7 (3,2)	10,7 (2,4)	10,6 (3,5)
	Passagerare	13	15,8 (2,9)	15,8 (2,2)	15,8 (2,2)
	Tanker	273	12,3 (4,0)	12,0 (1,7)	12,0 (2,7)
Östersjöns infart	Gods	1315	11,8 (2,8)	11,6 (2,9)	11,6 (3,5)
	Passagerare	60	16,4 (3,0)	16,1 (3,1)	16,1 (2,7)
	Tanker	439	12,7 (3,6)	12,1 (1,5)	12,2 (2,2)
Västerhavet	Gods	1067	11,9 (2,8)	11,8 (2,9)	11,7 (3,1)
	Passagerare	40	15,5 (3,4)	15,7 (3,4)	15,8 (3,6)
	Tanker	446	12,2 (2,6)	12,0 (2,1)	12,0 (2,1)
Alla områden	Gods	1578	11,8 (2,8)	11,7 (2,8)	11,6 (3,2)
	Passagerare	91	16,2 (3,1)	16,1 (3,1)	16,0 (3,1)
	Tanker	557	12,5 (3,7)	12,1 (1,6)	12,0 (2,0)

4 Efterlevnad

Det är nödvändigt att se till att skyldigheterna när det gäller svavelhalten i marina bränslen fullgörs för att uppnå målen i detta direktiv (EU 2016).

I svaveldirektivets rättsliga grund framhålls risk för bristande efterlevnad och därför vikten av ett väl fungerande kontroll- och sanktionssystem, samt behovet av harmonisering mellan länder med tanke på att sjöfarten i hög grad är internationell. Följande komponenter lyfts fram: (1) provtagning av marina bränslen, (2) kontroll av fartygens loggböcker och leveranssedlar för bunkerbränsle, (3) effektiva och avskräckande sanktioner och (4) offentliga register över lokala leverantörer av marina bränslen. Dagens sanktioner varierar mellan länder, men anses generellt vara ineffektiva (Swahnberg 2016, HELCOM 2016c, Ringbom 2017). Låga böter innebär svaga incitament för efterlevnad. Det kan till och med vara ekonomiskt fördelaktigt att köra på ett billigare och otillåtet bränsle även om böter utkrävs.

Inför de skärpta kraven 2015 fick Transportstyrelsen i uppdrag av regeringen att beskriva hur en effektiv tillsyn skulle gå till. I rapporten redovisas dagens system och rutiner för tillsyn och sanktioner, samt behov av förändringar med hänsyn till skärpta krav (Transportstyrelsen 2014). För att möta risken för bristande efterlevnad var målet en fördubbling av antalet kontroller av svavelhalten i fartygsbränsle under 2015, från ca 200 till ca 400. Resultatet blev en ökning med 90 procent. I Transportstyrelsens redovisning framhålls även en rad andra utvecklingsbehov av tillsyn, till exempel internationell samordning av regler och standarder för tillsyn, rutiner och metoder, teknik och avgasrening, samt sanktionssystem, inte minst genom Helsingforskommissionen (HELCOM). Vikten av effektiva sanktionssystem betonas och en proposition i den frågan är aviserad till våren 2017. Så vitt här kan bedömas finns dock inga andra mätbara mål än svavelkontroller av fartygsbränsle.

HELCOM är det styrande organet i "Konventionen om skydd av Östersjöområdets marina miljö" som EU och nio Östersjöstater har skrivit under: Danmark, Estland, Finland, Tyskland, Lettland, Litauen, Polen, Ryssland och Sverige. HELCOM utvecklar och följer upp regelverk som stödjer ett gemensamt miljöskydd av Östersjön för alla ingående parter, samt bevakar, samordnar och informerar också mer generellt om miljörelaterade frågor om Östersjön. För att samordna uppföljningen av skärpta krav på svavelhalter i sjöfartsbränslen skapades år 2015 en kontaktgrupp HELCOM CG SECA inom ramen för HELCOM:s maritima arbetsgrupp med svenska Transportstyrelsen som ordförande. Kontaktgruppens mandat var att samordna och utveckla riktlinjer för tillsyn och uppföljning, rutiner för provtagning, informationsdelning om regelbrott, samt föreslå åtgärder för att harmonisera sanktionsregler och system. Dessutom följde gruppen andra aktörers arbete på området, IMO, EU och Paris MOU. Dokumentation och rapporter finns att tillgå på HELCOMs mötesportal (HELCOM 2014-2016).

En regional samordningsfunktion som HELCOM CG SECA verkar av allt att döma ha saknats för övriga havsområden i SECA inom EU, Nordsjön och engelska kanalen, även om det har funnits gemensamma funktioner inom EU. En central sådan har varit medlemsstaternas resultatrapportering av svavelinspektioner till en gemensam databas Thetis-EU (tidigare Thetis-S). Databasen administreras av European Maritime Safety Agency (EMSA 2017). Därutöver upprättade EU:s miljödirektorat, DG Env, en expertgrupp "Sulphur Directive" inom ramen för "The European Sustainable Shipping Forum" (ESSF) för att följa upp medlems-

staternas kontrollverksamhet. Gruppen upphörde i juni 2015 och ersattes senare med en undergrupp till ESSF med ansvar att bevaka sjöfartens utsläpp generellt.¹²

Utöver central administration har EU finansierat ett FoU-projekt "Compliance Monitoring pilot for MARPOL Annex IV (CompMon)" genom fonden "Connecting Europe Facility" (CEF). Målet var att i samband med de nya riktlinjerna 2015 testa och validera metoder för fjärrmätning av sjöfartens utsläpp av luftföroreningar, samt tillhandahålla information från fjärrmätningar till myndigheter med ansvar för svavelinspektioner, dvs. att upprätta ett slags varningssystem för att vägleda och effektivisera svavelinspektioner. CompMon har en hemsida med information och rapporter (CompMon 2014-2016). Metoderna för fjärrmätning har omfattat mobila sensorer på flygplan och stationära sensorer på platser nära farleder. Partners finns i Finland, Sverige, Danmark, Nederländerna och Belgien, med Finska Trafiksäkerhetsverket (Trafi) som samordnande partner.

4.1 Provtagning av svavelhalt i fartygsbränsle

I EU:s svaveldirektiv (EU 2016) och svenska svavelförordningen (SFS 2014:509) anges krav på kontroller av svavelhalter i marina bränslen. Det handlar om provtagning samt kontroller av fartygens loggböcker och leveranssedlar för bunkerbränsle. I svaveldirektivet betonas vidare vikten av effektiva sanktionssystem, gemensamma rapporteringsrutiner, med mera.

Provtagning av svavelhalt är dock den enda åtgärden som är kopplad till särskilda krav på rapportering till EU. Det sker till en dedikerad databas Thetis-EU (EMSA 2017). Nationella kontaktpunkter har tillgång till systemet och resultat. I Sverige är det Transportstyrelsen.

Trafikanalys har tagit del av två typer av kontrollresultat, dels generell statistik om efterlevnad i EU under 2015, dels mätresultat från svavelinspektioner i Sverige för perioden 2013–2016. För perioden har kontrollresultat sammanställts i en Excel-fil med information om fartygsnamn, ID på inspektör och kontrollplats, datum, om bränslet används i hamn eller inte, specifikation av bränsleslag och svavelhalt enligt bunkerkvitto, resultat av provtagning, eventuell markering om anmälan vid överträdelse, samt övriga kommentarer.

Transportstyrelsen har inte som rutin att använda Thetis-EU för resultatanalyser, utan begär ut statistik vid behov från ansvarig myndighet inom EU (EMSA). I direktivet nämns inga speciella rutiner för kontroll och rapportering av alternativa metoder för att minska svavelutsläpp, dvs. system för avgasrening (skrubbers) eller alternativa fartygsbränslen. Sådana kontroller ingår i tillsynsmyndigheternas generella fartygsinspektioner som omfattar flera kontrollområden, till exempel arbetsmiljö, teknik och säkerhet. Dessa följer internationella regelverk och åtaganden (Paris MoU och International Maritime Organisation, IMO). Även svavelinspektioner planeras inom ramen för generella kontroller, även om särskilda rutiner gäller för resultatrapportering.

Medlemsstaterna ska vidta de åtgärder som krävs för att genom stickprov kontrollera att svavelhalten i de bränslen som används uppfyller kraven i artiklarna [...] Den [stickprovskontrollen] ska utföras regelbundet, tillräckligt ofta och i tillräcklig omfattning och på ett sådant sätt att proven är representativa [...] för det bränsle som används av fartyg när de befinner sig i berörda havsområden och hamnar (EU 2016).

¹² Uppgifterna framkom i telefonkontakter med Transportstyrelsen.

I svaveldirektivet nämns ett krav på "representativa prov". I ett statistiskt perspektiv kan det tolkas som att urvalet av prover ska vara representativt för sjöfartens bränsleanvändning inom SECA. I praktiken är så inte fallet. Svavelprover tas inom ramen för tillsynsplaner som vägleds av fartygens riskklass. Tolkningen av "representativa prov" är i sammanhanget av teknisk natur, dvs. att provet är representativt för bränslet på fartyget, inte att provtagningen i sin helhet är representativ för bränsleanvändningen inom SECA. Det framgår av vägledningarna för kontroller och provtagning (EMSA 2015), samt mötesprotokoll från HELCOM CG SECA och ESSF. I och med att svavelprover inte är representativa urval av fartyg och bränslen på Östersjön finns det en osäkerhet i hur väl de speglar sjöfarten.

Under år 2015 gjordes totalt 6 801 svavelinspektioner inom EU (tabell 4.1), 26 % i Östersjön, 38 % i Nordsjön och 36 % utanför SECA. I närmare 5 % överskreds gränsvärdena, med en högre andel i Nordsjön (närmare 9 %) och lägre i Östersjön, närmare 3 %. En högre andel i Nordsjön kan bero på att området gränsar till icke SECA områden med högre gränsvärden.

Tabell 4.1. Antal svavelinspektioner och avvikelser i EU 2015

	Östersjön	Nordsjön	Utanför SECA
Antal inspektioner	1 782	2 559	2 460
Antal avvikelser	50	219	46

Källa: Transportstyrelsen

I Sverige genomfördes svavelinspektioner i Göteborg, Malmö och Stockholm. Det finns totalt 1 025 mätvärden på svavelhalter och 56 anmälningar för perioden 2013–2016. Gränsvärdena är inte angivna, endast om provresultatet är positivt eller negativt. För en närmare analys av avvikelser har Trafikanalys lagt till gränsvärden för enskilda kontroller med utgångspunkt i gällande gränsvärden vid tidpunkten för kontroll och uppgifter om användningsområdet för fartygsbränslet, inom eller utanför SECA, i hamn eller sjögående. En avvikelse föreligger om uppmätt svavelhalt ligger över gränsvärdet.

Resultatet är 67 avvikelser (6,5 %) för totalt 1 023 svavelprover under perioden 2013–2016 (tabell 4.2). Det är 11 fler avvikelser än anmälningar. En anmälan sker som regel när ett mätvärde överskrider gränsvärdet. En möjlig förklaring till diskrepansen mellan avvikelser och anmälningar är misstag i dataregistreringen, alternativt att anmälan inte fullföljdes av okänt skäl. Vid den första genomgången av datamaterialet var diskrepansen än större. Efter avstämning med Transportstyrelsen kunde uppenbara registreringsfel korrigeras. I det som följer bygger diskussionen på avvikelser som överskrider gränsvärden.

För perioden 2013–2014 gäller gränsvärdet 0,1 % för fartyg i hamn och 1 % för sjögående fartyg inom SECA. För perioden 2015–2016 gäller 0,1 % generellt inom SECA. Materialet innehåller dessutom några prover på bränsle som används utanför SECA med det globala gränsvärdet 3,5 %. Svavelprover med gränsvärdet 1 % utmärker sig med en större spridning, dels en högre andel avvikelser, dels ett medelvärde under medianen. Ca 10 % av proverna med gränsvärdet 1 % visade på en svavelhalt under 0,1 %. Det förklarar skillnaden mellan medelvärde och median. En del fartyg använde med andra ord bränslen med påtagligt lägre svavelhalt än gränsvärdet innan införandet av det nya regelverket 2015.

Tabell 4.2. Sammanställning av resultat från svenska svavelinspektioner

År	Gränsvärde (GV)	Antal prover	Avvikelse > GV	Medelvärde (vikt %)	Median (vikt %)	25 % kvartil
2013	0,1	126	11 (9 %)	0,1	0,07	0,04
2013	1	66	8 (12 %)	0,86	0,96	0,9
2014	0,1	147	9 (6 %)	0,09	0,08	0,05
2014	1	81	11 (14 %)	0,86	0,94	0,82
2015	0,1	430	18 (4 %)	0,08	0,08	0,06
2015	3,5	4	0	2,34	2,5	2,12
2016	0,1	166	10 (6 %)	0,08	0,08	0,05
2016	3,5	3	0	1,93	1,74	1,71

Källa: Transportstyrelsen

Flaggnation har delats i tre grupper: (1) Sverige, (2) länder som gränsar till SECA inom EU, och (3) övriga länder. Dessutom förekommer 16 mätvärden där flaggnation är ospecificerad ("ospec"). Andel svavelprover per flaggrupp är 6,5 % för Sverige, 32 % för SECA, 59,9 % för Övriga och 1,6 % för ospecificerat flagg, att jämföras med andelen fartygsanlöp till svenska hamnar under 2015: 12,4 % för Sverige, 42,2 % för SECA och 45,4 % för Övriga.¹³ Fartyg med utländsk flagg uppvisade en större andel avvikelser från gränsvärdet 1 % än fartyg med svensk flagg, 15 % i jämförelse med 4 % (tabell 4.3). För gränsvärdet 0,1 % föreligger ingen diskrepans.

Tabell 4.3. Sammanställning av avvikelser i svavelprover med avseende på flaggnation

Flagg	Gränsvärde	Antal prover	Avvikelse > GV	Medelvärde	Median	25 % kvartil
Sverige	0,1	41	3 (7 %)	0,11	0,07	0,05
Sverige	1	26	1 (4 %)	0,61	0,91	0,05
SECA	0,1	284	14 (5 %)	0,09	0,08	0,05
SECA	1	45	8 (18 %)	0,93	0,98	0,86
SECA	3,5	2	0	2,18	2,18	1,93
Övriga	0,1	532	31 (6 %)	0,09	0,08	0,05
Övriga	1	74	10 (14 %)	0,91	0,95	0,88
Övriga	3,5	5	0	2,16	2,32	1,74
Ospec.	0,1	14	0	0,07	0,07	0,06
Ospec.	1	2	0	0,71	0,71	0,56

Med utgångspunkt i andel avvikelser för samtliga prover är regelefterlevnaden 93,5 % (90–95 %).¹⁴ Av allt att döma är regelefterlevnaden högre för gränsvärdet 0,1 % än för 1 %, 94,5 %

¹³ Statistiken bygger på Trafikanalys officiella statistik med uppgifter från svenska hamnar.

¹⁴ Osäkerhetsintervallet (± 2 standardavvikelse) har beräknats på basis av en binomialfördelning och under antagandet om slumpmässigt stickprov med 1025 observationer.

respektive 87,1 %. Det kan bero på att de nya riktlinjerna 2015 innebar tydligare regelverk och klarare skillnader mellan bränsleslag och användning inom och utanför SECA.

Osäkerhet i datakvalitet innebär osäkerhet i skattningen av regelefterlevnad. Problemet förstärks av avsaknaden på representativa urval, samt att svavelprover görs på fartyg främst i hamn. Det är inte orimligt att anta att regelefterlevnaden är sämre på internationellt vatten, samt i gränzoner mellan SECA och övriga havsområden, något som också bekräftas av fjärrmätningar av fartygens utsläpp av svaveldioxid.

4.2 Fjärrmätningar av fartygsutsläpp

Flera metoder för fjärrmätningar av fartygsutsläpp har använts inom ramen för EU-projektet CompMon, luftburna och stationära mätningar med optiska och kemiska (sniffer) sensorer i anslutning till större fartygsleder (CompMon 2016a, HELCOM 2016a, CompMon 2016b). Mätningar har genomförts i Danmark, Sverige, Finland, Belgien och Nederländerna. Vid tidpunkten för denna rapport pågår resultatsammanställning och publicering. En summering av projekt och resultat i sin helhet är därför inte möjlig, men väl sammanfattning av resultat från presentationer och rapporter som har publicerats.

Fjärrmätningarna i CompMon har genomförts av fem forskningsinstitutioner, Chalmers (Rymd- och geovetenskap, Optisk fjärranalys) i Danmark och Sverige, MUMM (Royal Belgian Institute of Natural Sciences, OD Nature, Scientific Service) i Belgien och Nederländerna, Trafi och Finska Meteorologiska Institutet (FMI) i Finland, samt The Human Environment and Transport Inspectorate (ILT) i Nederländerna. MUMM har publicerat en slutrapport (MUMM 2016) och Miljöstyrelsen i Danmark har delgett en slutrapport till HELCOM av sitt uppdrag till Chalmers (HELCOM 2016a). Chalmers har bedrivit mätningar i Danmark, Finland och Sverige, men vid skrivandet av denna rapport fanns ingen rapport att tillgå. Två presentationer av Chalmers arbete har presenterats för Finska Trafikverket Trafi (Mellqvist 2016a, Mellqvist, Beecken et al. 2016b). De ger en helhetsbild av Chalmers fjärrmätningar.

MUMM har använt sig av sensorutrustning (sniffers) monterad på ett propellerplan. Flygplanet tar prover på koldioxid och svaveldioxid från fartygsplymen. Svaveldioxidhalten i utsläppet skattas med hjälp av kvoten mellan svaveldioxid- och koldioxidhalterna i fartygsplymen. Metoden är förenad med osäkerhet. Ett färgsystem utvecklades för rapportering. En svavelhalt på minst 0,15 % (gul) krävdes för att varna tillsynsmyndigheten i närtid. En halt på över 0,4 % (röd) betraktades som en stark indikation på gränsoverskridande. Totalt togs prover från 1 390 fartyg under 45 dagar under 2015–2015, varav 1 183 (85,5%) var godkända mätvärden. Av de senare överskred 11,4 % den nedre gränsen (gul) och 2,6 % den övre gränsen (röd). Metoden visade med andra ord på en efterlevnad på 90–95 % i farleder utanför Belgien. Inga samband kunde hittas med fartygstyp, flagg, ursprungshamn och hamndestination. Däremot fanns det ett svagt samband mellan avvikelser och avstånd. Ju längre ut från kust och hamn, desto större risk för mätresultat över gränsvärdet.

Endast 20 % av varningar till tillsynsmyndigheten resulterade i uppföljande svavelinspektioner i berörda hamnar, varav 30 % resulterade i provsvar över gränsvärden. Enligt MUMM:s rapport är det en förbättring jämfört med tidigare pilotstudier, men det innebär en betydande diskrepans mellan fjärrmätningar av svavelhalt i utsläpp och provtagningar av svavelhalt från bränsle. Det är oklart hur det ska tolkas. Eftersom mätningarna är gjorda under perioden 2015–2016 kan skillnader mellan fjärrmätningar och svavelprover inte förklaras med växlingar mellan bränslen med olika svavelhalt. Vidare har fjärrmätningar visat sig robusta när de

jämförs med varandra (Balzani Lööv 2014). Inga andra jämförande analyser av svavelmätningar och prov från utsläpp respektive bränsle har hittats. Metodfrågor kommer dock att beröras i flera kommande rapporter från CompMon.

Utöver CompMon har tre forskningsartiklar publicerats med fjärrmätningar nära Hamburg och Plymouth (Kattner, Mathieu-Üffing et al. 2015, Yang 2016, Seyler, Wittrock et al. 2017). De bygger på oberoende projekt utan koppling till CompMon. Även dessa bekräftar bilden av hög regelefterlevnad.

Svavelinspektioner och fjärrmätningar pekar sammantaget på en oförändrad eller förbättrad efterlevnad, trots skärpta bränslekrav och oförändrade, ineffektiva sanktionssystem. Det finns flera möjliga förklaringar till utvecklingen, men två faktorer är avgörande, låga bränslepriser och tydliga riktlinjer. Låga bränslepriser reducerar de ekonomiska incitamenten till att använda ett billigare, otillåtet bränsle inom SECA. Kravet på 0,1 % innebär dessutom enklare och skarpare skiljelinjer mellan marina bränslen inom och utanför SECA.

Situationen kan snabbt ändras om och när bränslepriset vänder upp igen, inte minst med ett globalt tak på 0,5 % svavelhalt år 2020. Det innebär ett globalt skifte till dyrare bränslen som medför ökade bränslekostnader och oförutsägbara prisstegringar. Skillnaden mellan utsläppskrav innanför och utanför SECA minskar. Sjöfartens användning av skrubbers, avgasreningssystem, blir därmed mer ekonomiskt fördelaktigt och kan förväntas öka, varmed leveranserna av fartygsbränslen med högre svavelhalter återigen ökar.

Med andra ord, risk för bristande efterlevnad kvarstår och lär öka framöver. Under 2015 och 2016 intensifierades Transportstyrelsens kontrollverksamhet, men från och med 2017 återgår EU:s kontrollkrav till nivåer som gällde innan 2015. Samtidigt kvarstår frågor om effektivitet, kvalitet och harmonisering av kontroll- och sanktionssystem. Utan ett effektivt kontrollsystem kommer inte ett hårdare sanktionssystem fylla någon funktion.

5 Luftkvalitet

Det primära syftet med svaveldirektivet är att reducera sjöfartens utsläpp av svaveldioxid, sulfat och PM (partiklar), samt därigenom deras negativa påverkan på människors hälsa och miljö. Svavelkontroller och utvecklingen av bränsleanvändning pekar onekligen på lägre utsläpp, inte minst efter de skärpta kraven 2015. Effekter på kustnära miljöer, samt ytterst på människors hälsa, är dock öppna frågor.

I den här rapporten avgränsas analysen till effekter på svavelhalter och nedfall i kustnära miljöer, regionala effekter på luftkvalitet. Uppgifter har hämtats från den så kallade nationella luftövervakningen. Naturvårdsverket, länsstyrelser och kommuner gör mer eller mindre regelbundna mätningar. Naturvårdsverket ansvarar för nationell samordning, medan länsstyrelser och kommuner har regionala respektive lokala ansvar. På Naturvårdsverkets hemsida finns närmare information om ansvarsfördelning och länkar till statistik och databaser som används i denna rapport.¹⁵

Ingen värdering görs i medicinska eller monetära termer. Det förutsätter studier av exponering av befolkning mot sjöfartens föroreningar, något som saknas. Diskussionen begränsas till hur mätvärden förhåller sig till gränsvärden för luftföroreningar. Följande tabell bygger på uppgifter från Naturvårdsverkets sammanställning av miljökvalitetsnormer.¹⁶

Tabell 6.1. Gränsvärden för luftföroreningar enligt gällande svenska miljökvalitetsnormer

Ändamål	Tidsperiod för medelvärde	SO ₂	PM _{2.5}	PM ₁₀	NO ₂
För skydd av människors hälsa	1 timme	200 µg/m ⁻³			90 µg/m ⁻³
För skydd av människors hälsa	24 timmar	100 µg/m ⁻³		50 µg/m ⁻³	60 µg/m ⁻³
För skydd av människors hälsa	1 år		25 µg/m ⁻³	40 µg/m ⁻³	40 µg/m ⁻³
För skydd av växtlighet	1 år	20 µg/m ⁻³ (vintertid)			30 µg/m ⁻³

Hittills finns det begränsad information om hur SECA har påverkat luftföroreningar i kustnära miljöer över tid. Endast två publikationer har påträffats hittills, dels en rapport från DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi i Danmark (DCE 2016), dels en rapport från IVL, Svenska miljöinstitutet (IVL 2016).

¹⁵ <http://www.naturvardsverket.se/Amnen/Luft/>

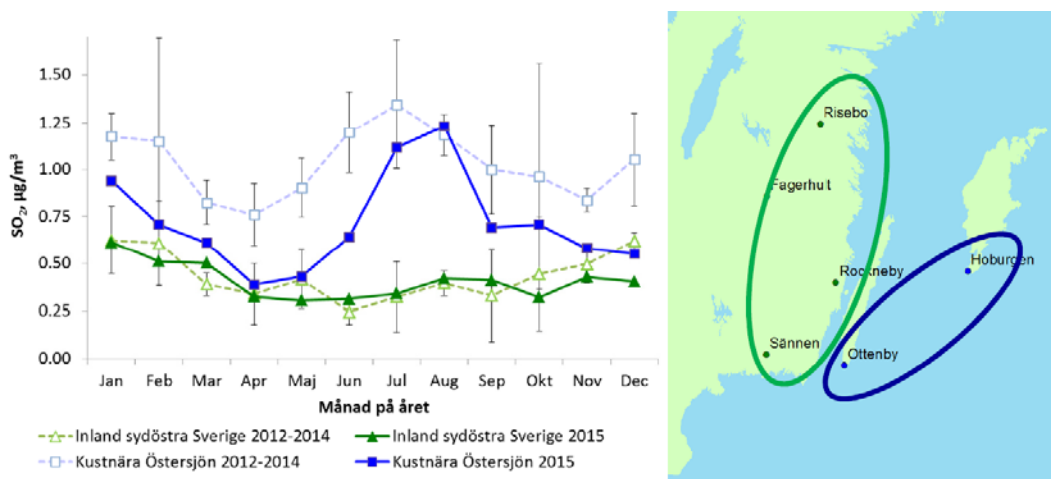
¹⁶ <http://naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/miljokvalitetsnormer/mkn-luft/sammanst-miljokvalitetsnormer.pdf>

DCE:s rapport redovisar medelvärden (mikrogram svavel per kubikmeter) från tre mätstationer för januari-maj under perioden 2011 och 2016. Mätstationerna är lokaliserade till Anholt, Risø och Tange. De mäter svavelhalter i regional bakgrund, i kontrast till luftkvalitet i stads- och trafikmiljöer. Anholt är en ö mitt i Kattegatt mellan Danmark och Sverige, varför mätstationen är speciellt intressant för svensk del. Medelvärdena ($\mu\text{g m}^{-3}$) var 0,33, 0,34 respektive 0,22 för 2011–2014, samt 0,13, 0,17 respektive 0,10 för 2014-2015. Det är en reduktion av SO_2 -halten i storleksordningen 50-60 %. Den största förändringen registrerades på Anholt.

Sedan 30 år tillbaka driver IVL Svenska miljöinstitutet tillsammans med Lunds universitet ett program för mätning av halter och nedfall av luftföroreningar i skog och öppna fält. Det sker på uppdrag av luftvårdsförbund, länsstyrelser, Naturvårdsverket och företag. Antalet mätplatser har varierat över tid och omfattar idag 64 platser. I IVL:s senaste regionala årsrapporter från Krondroppsnetet ingår ett särskilt avsnitt om effekter av svaveldirektivet på svaveldioxidhalter vid Ottenby på Ölands södra udde, Hoburgen på Gotlands södra udde, samt fyra mätplatser på sydöstra inlandet (figur 5.1).

Medelvärdet av svaveldioxidhalter vid mätstationerna på Öland och Gotland var ca 30 % lägre under 2015 i jämförelse med de tre närmast föregående åren. För mätplatserna inåt landet kunde inte en motsvarande förändring noteras. IVL menar att resultatet för Öland och Gotland är i linje med förändringar i svavelhalter på Anholt i Danmark, men framhåller att fler analyser behövs för att kontrollera olika faktorer, till exempel väder och vindriktningar, och bekräfta att det rör sig om reducerade fartygsutsläpp. De svenska och danska observationerna skiljer sig dock i ett avseende. Reduktionen i Danmark gällde även inlandet, inte bara ön Anholt.

Utöver rapporterna från DCE och IVL har ingen annan information om förändrade svavelhalter och nedfall i luft och mark påträffats. På europeisk nivå sammanställer Eurostat nationella beräkningar av utsläpp av luftföroreningar, men av allt att döma sker ingen samordning och sammanställning av lokala och regionala mätdata på europeisk nivå. En jämförelse mellan länder inom och utanför SECA skulle kräva tillgång till nationella databaser. Av resurs- och tidsskäl begränsas analyserna här till Sverige.



Figur 5.1. Jämförelse av svavelhalter i luft vid fem mätstationer i sydöstra Sverige. Figuren är hämtad från en publikation av resultat från Krondroppsnetet från Svenska miljöinstitutet (IVL 2016).

5.1 Sjöfartens utsläpp

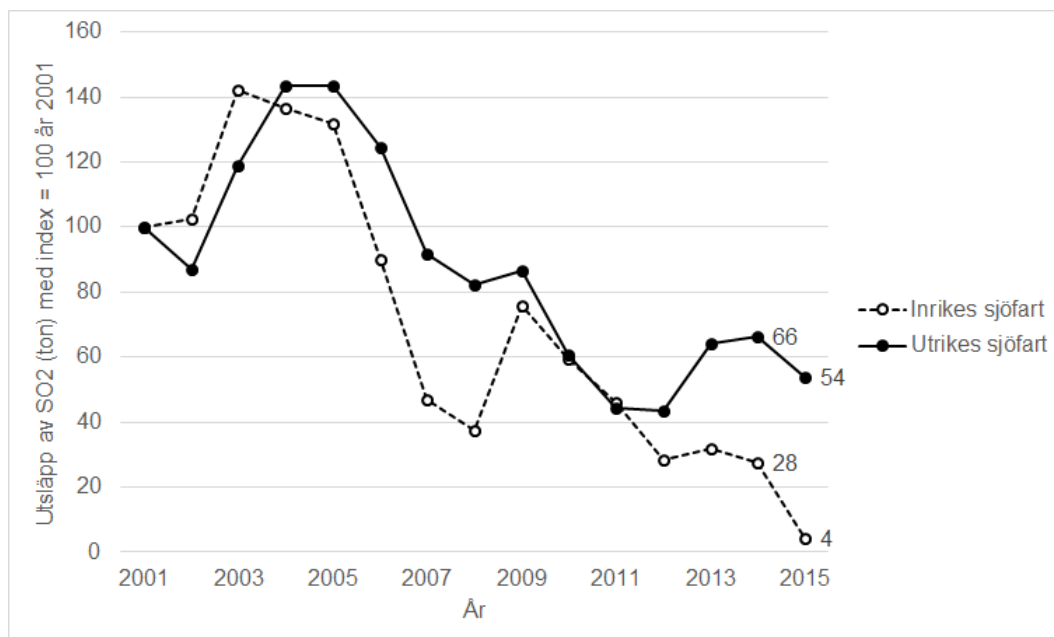
I rapporten "Fuels in the Baltic Sea after SECA" (Trafikanalys 2016a) analyseras effekterna av svaveldirektivet på volymer och fördelning av bränsleslag och luftföroreningar i Östersjön: koldioxid (CO₂), partiklar (PM), svaveloxider (SO_x), metan (CH₄) och kväveoxider (NO_x). Skattningar av volymer och andelar utgår från flera datakällor och tar hänsyn till produktion och konsumtion av bränsle i flera led (livscykelanalys), samt tar hänsyn till faktorer som fartygskategori och avgasreningsteknik. För att bedöma osäkerhet görs beräkningar för olika scenarier med varierande bränslefördelning. Resultatet är en kraftig minskning av svavelutsläpp, mellan 80-90 % beroende på scenario. Även PM-utsläppen minskade, 50-75 %. Utsläppen av koldioxid och kväveoxider påverkas inte nämnvärt. Inte heller raffinaderiernas produktionsförändringar har någon större effekt på helhetsbilden av sjöfartens luftföroreningar. Frågan om effekter på kustnära miljöer kvarstår.

Naturvårdsverket sammanställer årsstatistik om utsläpp av luftföroreningar och växthusgaser i Sverige. Den bygger bland annat på uppgifter om bränsleanvändning. På myndighetens hemsida finns uppgifter om utsläpp av svaveldioxid fram till och med 2015. Utsläppen har minskat kraftigt de senaste decennierna. Den största utsläppskällan i Sverige är industrin som står för ca 80 % av de totala utsläppen, följt av utsläpp från el- och fjärrvärmeproduktion som står för ca 15 %. Totalt släpptes ca 19 000 ton svaveldioxid ut i Sverige 2015. Det kan jämföras med totala nationella utsläpp på drygt 100 000 ton 1990 och drygt 40 000 ton 2001. Transporternas utsläppsandelar har minskat från ca 10 % 1990 till ca 2 % 2015.

Den internationella sjöfarten visar på en avvikande utveckling med ökade utsläppsandelar, från närmare 33 000 ton 1990 och närmare 62 000 ton 2001, till drygt 33 000 tusen ton 2015. Mellan 2014 och 2015 minskade utsläppen från utrikes sjöfart ca 18 % och ca 85 % från inrikes sjöfart (figur 5.2). Reduktionen för inrikes sjöfart är konsekvent med det skärpta svaveldirektivet, men i absoluta mått begränsad, 690 ton, 3,6 % av den totala svaveldioxiden från nationella utsläppskällor. En sådan minskning är inte mätbar med tanke på osäkerheten i mätningar av luftföroreningar. Eventuella mätbara effekter är avhängiga utsläpp från utrikes sjöfart, men svåra att utvärdera. Bunkring för utrikes sjöfart tjänar transporter både inom och utanför SECA, varför utsläppen över Sverige är svåra att bedöma.

I absoluta tal minskade svaveldioxidutsläppen från inrikes och utrikes sjöfart med ca 8 500 ton mellan 2014 och 2015. Det kan ställas mot de totala nationella utsläppen på drygt 19 000 ton 2015. Under antagandet att reduktionen i sin helhet avser utsläpp över Sverige innebär det en minskning på närmare 31 % mellan 2014 och 2015. Å ena sidan är det en överskattning med tanke på att utrikes sjöfart till stor del inte är kustnära. Å andra sidan är det en underskattning eftersom sjöfarten står för en större andel utsläpp i kustnära miljöer i jämförelse med utsläpp i inlandet.

En genomgång av forskningslitteraturen pekar i samma riktning. Sjöfartens bidrag till halterna av svaveldioxid i luften i kustnära miljöer kan uppgå till flera tiotals procent (Viana, Hammingh et al. 2014). Givetvis varierar detta beroende på avstånd till sjöfartsleder, intensitet i trafik och väderförhållanden. Svaveldioxid från sjöfarten samvarierar i sin tur med utsläppen av partiklar (PM), som bedöms vara den huvudsakliga källan till hälsorisker för människor. Svavlet är en prekursor till PM vid bränsleförbränning. Att skifta från hög- till lågsavligt bränsle, från RO till MD, dvs. reduktion av svavelhalten i bränsle på minst 90 procent, minskar även PM-utsläpp i storleksordningen tiotals procent (Winnes and Fridell 2009, Guevara 2016). Exakta relationer mellan svavel och PM, och reella utsläpp, beror på en rad faktorer, till exempel fartygets hastighet, belastning och typ av partiklar.



Figur 5.2. Sjöfartens utsläpp av svaveldioxid. Under 2001 släppte inrikes och utrikes sjöfart ut drygt 2 900 ton respektive närmare 62 000 ton. Trafikanalys bearbetning av data från Naturvårdsverket.

Enligt Naturvårdsverket släppte Sverige under 2015 ut drygt 38 000 ton grova partiklar (PM10) och drygt 19 000 ton små partiklar (PM2.5). Enligt HELCOM:s rapport "Emissions from Baltic Sea shipping in 2015" släppte sjöfarten i Östersjön ut drygt 10 000 ton PM2.5 under 2015. Det är en minskning med 36 % i jämförelse med 2014 till följd av det skärpta svaveldirektivet. För svaveldioxid var minskningen 88 %, från drygt 85 000 ton till 10 000 ton, samtidigt som transportarbetet ökade med 1,8 %, koldioxid och kväveoxider med 5,6 % respektive 6,3 %.

Skattningsarna är baserade på så kallade AIS-data om fartygens rörelser i Östersjön. AIS står för Automatic Identification System. Metoden har använts under flera år och bygger på en modell för fartygsutsläpp STEAM som har hänsyn till bränsleförbrukning och emissioner med ett antal faktorer och ingångsvärden, till exempel fartygets hastighet, motoregenskaper och belastning. Hänsyn tas även till väderförhållanden. Beräkningarna av svavel- och PM-utsläpp bygger på premissen att regelverket följs, inte på bränslestatistik. Det är en osäkerhetsfaktor, även om kontroller ger stöd åt antagandet. En annan osäkerhetsfaktor är reella svavelhalter i bränsle. De varierar, inte minst innan det generella kravet på 0,1 % 2015.

Sammantaget pekar en rad källor mot en påtaglig reduktion av sjöfartens utsläpp under 2015. Reduktioner av svaveldioxid och PM står i ett grovt förhållande 5:1–5:2, dvs. 20–40 % mindre svaveldioxid motsvarar ca 4–16 % mindre PM (Guevara 2016), varför det bör vara lättare att detektera förändringar av svaveldioxid än PM. Bland partiklar är PM2.5 och PM10 i fokus i kustnära miljöer (AEA 2009, Viana, Hammingh et al. 2014).

5.2 Kustnära luftföroreningar

På uppdrag av Naturvårdsverket är SMHI nationell datavärd för luftmiljödata. Det innebär att SMHI sammanställer och publicerar luftkvalitetsdata från kommuner, länsstyrelser, regionala luftvårdsförbund och Naturvårdsverket. Data och statistik om luftföroreningar, halter i luft och nederbörd, publiceras i portalen Datavärdskap. För utvärderingens syfte har lufthaltdata av svaveldioxid, sulfat, PM2.5, PM10 och kvävedioxid laddats ner och analyserats.

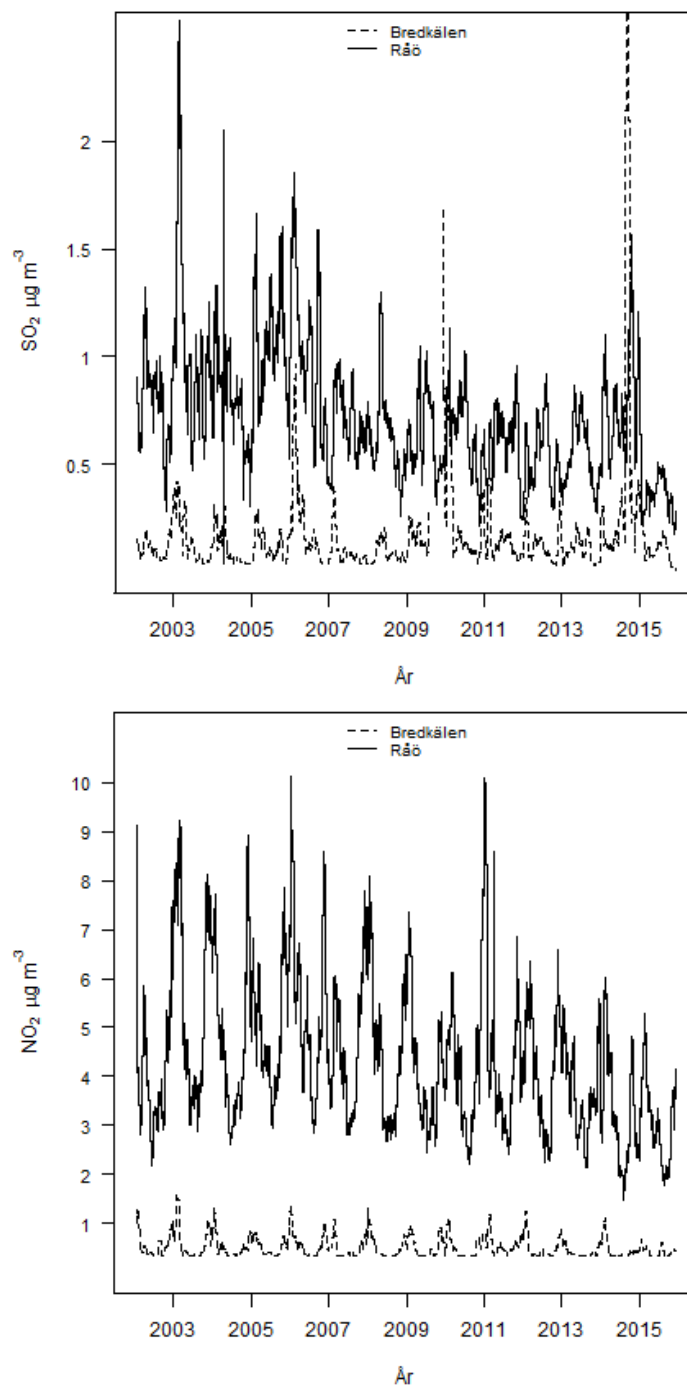
För att bedöma effekter av SECA över tid bör långa tidsserier inkluderas, åtminstone ett par år tidigare än införandet 2006/2007. Om stegvist skärpta krav på svavelhalter i fartygsbränsle följs av stegvisa minskningar av kustnära luftföroreningar bidrar det till statistikens validitet, att statistiken speglar effekter av regelverket och inte andra källor. Detsamma gäller jämförelser av luftföroreningar mellan platser, inte minst mellan kustnära miljöer och inlandsmiljöer, där de förra kan antas påverkas mer av sjöfartens utsläpp än de senare.

Alla mätstationer har inte data för alla ämnen och år. I vissa fall finns det kortare perioder där mätdata saknas. Mätfrekvenser och geografisk täckning har minskat för svaveldioxid i takt med att föroreningsproblemet har minskat. Urvalet av mätstationer och mätdata har här gjorts för att få en så god täckning som möjligt. Dataserierna kommer från mätstationer där svaveldioxidhalter har registrerats regelbundet, per dag eller per minut, under 2013-2015, men även så lång tid tillbaka som möjligt. Det resulterade i tio mätstationer: åtta mätstationer i Sydsverige: Göteborg, Råö (Kungsbacka), Helsingborg, Landskrona, Vavihill (Svalöv), Lund, Malmö och Trelleborg; en mätstation i Jämtland, Bredkålen (Strömsund); samt en mätstation i Södermanland, Aspveten (Nyköping) (Tabell 5.1).

Tabell 5.1. Årsmedelvärden av lufthalter av svaveldioxid ($\mu\text{g SO}_2$ per m^3)

SO ₂ År	Bred- kålen	Råö	Vavihill	Asp- vreten	Göte- borg*	Helsing- borg*	Lands- krona*	Lund*	Malmö*	Trelle- borg
2001	0,22		0,83		5,23	3,81		2,49	1,91	10,57
2002	0,12	0,80	0,73		3,14	2,94		2,24	2,80	8,54
2003	0,16	1,04	1,01		5,01	4,31		3,92	3,38	
2004	0,10	0,85	0,68		5,10	3,87		1,77	2,56	
2005	0,13	1,05	0,97		4,67	4,12		2,18	3,65	
2006	0,22	1,02	0,99		3,84	3,86		2,02	2,95	
2007	0,10	0,69	0,56		3,81	3,28	3,35	2,10	1,61	9,08
2008	0,09	0,64	0,59		2,69	3,35	3,13	1,50	1,65	4,12
2009	0,16	0,63	0,58	0,35	2,58	3,07		1,37	1,82	3,71
2010	0,23	0,66	0,62	0,51	3,34	2,21	2,52	1,25	2,07	3,92
2011	0,14	0,61	0,67	0,40		2,29	2,61	1,41	1,79	2,43
2012	0,13	0,53	0,51	0,41	1,69	2,19	2,21	1,14	1,30	2,34
2013	0,10	0,55	0,41	0,36	1,45	1,74	2,70	1,90	2,07	2,45
2014	0,54	0,78	0,66	0,53	1,69	1,60	2,89	1,40	1,18	2,78
2015	0,11	0,37	0,30	0,25	2,12	1,89	2,08	0,78	0,77	1,24

* Tätort med fler än en mätstation. Denna rapport bygger på följande mätstationer: Göteborg femman, Helsingborg Norr, Landskrona Storgatan, Lund (256), Malmö Rådhuset och Trelleborg (1791).



Figur 5.3. Svaveldioxid- och kvävedioxidhalter vid Bredkålen och Råö. Linjerna representerar centrerade glidande medelvärden med ett tidsfönster på en månad (31 dagar). Säsongsvariationer syns tydligt med toppar under vintertid. Effekten av vulkanutbrottet 2014 är ett utmärkande drag för svaveldioxidhalter, inte minst vid Bredkålen, med maximalt värde 11 september 2014, 57,2 µg SO₂ per m³. Källa: Trafikanalys bearbetning av tidsserier från SMHI:s databas Datavårdskap Luft.

Alla mätdata på luftföroreningar avser "bakgrundshalter", dvs. data från mätstationer som inte ligger i omedelbar anslutning till vägtrafikmiljöer. Fyra mätstationer finns i landsbygdsmiljöer (Råö, Vavihill, Bredkålen och Aspvreten). Tre av dessa kan betecknas som kustnära, Råö, Vavihill och Aspvreten, medan Bredkålen befinner sig i inlandet.

I slutet av augusti 2014 inträffade ett vulkanutbrott vid Holuhraun på Island som gav förhöjda halter av svaveldioxid i Skandinavien, inte minst i Sveriges norra delar. Svaveldioxidhalterna ökade markant under september och oktober 2014. Mot den bakgrunden bör svavelhalterna under 2015 inte bedömas med 2014 som baslinje, utan mot bakgrund av åren innan.

I tabell 5.1 presenteras årsmedelvärden för svaveldioxidhalter (mikrogram per kubikmeter). Utvecklingen i Bredkålen i Jämtland är mer eller mindre oförändrad, med undantag för 2014, året med ett vulkanutbrott på Island. En avtagande trend märks generellt för kustnära mätstationer sedan SECAs införande 2006/2007. För de tre övriga landsbygdsstationerna går det att urskilja ett tydligt trendbrott för 2015. Trendbrottet syns även i fyra av sex tätorter, dock inte för Göteborg och Helsingborg.

Det finns flera lokala svavelkällor i tätorter som är svåra att kontrollera för, till exempel kemisk industri och värmeproduktionsanläggningar, samt raffinaderier i Göteborg. För att bedöma och analysera förändringar över tid avgränsades vidare granskning till mätstationer i landsbygd. I figur 5.3 återges svavel- och kvävedioxidhalter vid två av dem, Råö och Bredkålen. Bredkålen är en mätstation i Jämtlands inland och visar inte på några entydiga förändringar över tid, med undantag för enstaka extrema avvikelser till följd av vulkanutbrott. För Råö går det att urskilja flera tydliga mönster, två trendbrott i svaveldioxid, 2007 respektive 2015, samt en avtagande trend i kvävedioxid.

Utvecklingsmönstret för svavel- och kvävedioxid på Råö skiljer sig tydligt åt (figur 5.3). Det går att visuellt identifiera perioder med distinkta nivåer på svaveldioxidhalter, medan mönstret för kvävedioxid följer en linjärt avtagande trend, med undantag för en avvikande topp 2011. Om visuella toppar och dalar av halter används som utgångspunkt kan de diskreta perioderna av svaveldioxid visuellt identifieras som (1) före 2007, (2) mellan 2007 och 2014, samt (3) 2015. För att analysera utvecklingen närmare har tidsperioder definierats i enlighet med etapperna i policyutvecklingen för SECA:

- i. Före SECA (2002-2005)
- ii. Inledande SECA (2006-2009)
- iii. Fördjupad SECA (2010-2013)
- iv. Nya SECA (2015)

Inledande SECA syftar på kravet på 1,5 % svavelhalt i fartygsbränslet. Kraven för Östersjön (augusti 2006) föregick kraven för Nordsjön (augusti 2007). *Fördjupad SECA* avser revisioner och specialregler: revision av kraven för SECA, från 1,5 % till 1 % (2010), krav på 0,1 % för fartyg i hamn inom EU (2010), samt revision av globalt krav, från 4,5 % till 3,5 % (2012). Den här perioden omfattar även år 2014, men på grund av vulkanutbrottet på Island behandlas det året separat. Den sista fasen "Nya SECA" avser det generella kravet på 0,1 % inom SECA.

I fyra tabeller har periodvisa medelvärden sammanställts för SO₂, SO₄, PM_{2.5}, PM₁₀ och NO₂ (Tabell 5.2a-5.5a). Det handlar i samtliga fall om halter i luft, till skillnad från halter i nederbörd eller vatten. Utöver medelvärden har Monte Carlo-bereäkningar av konfidensintervall gjorts för att bedöma hur känsliga medelvärden är för slumpmässiga bortfall av mätvärden. Intervallen

bygger på 5 % och 95 % kvantiler av 1 000 medelvärden av slumpmässiga stickprov om 20 % mätvärden. De presenteras i fyra tabeller i appendix (Tabell 5.2b-5.5b).

Vid Bredkålen, i inlandet, är halterna överlag låga. Utöver säsongsvariationer ter sig mönstret som slumpmässiga fluktuationer. Sulfathalterna är ett undantag. De har sjunkit för varje period, med undantag för 2014 med förhöjda halter på grund av vulkanutbrottet. Det är osäkert om haltförändringar beror på långväga sulfat från sjöfart, men det rör sig om en trend som kan vara värd att utforskas närmare. Sulfat från sjöfarten sprids potentiellt över en större yta än svaveldioxid eftersom det tidigare är ett derivat från det senare.

Vid Råö var svaveldioxidhalterna 37 % lägre 2015 i jämförelse med 2010–2013. Föregående år, 2014, exkluderas från jämförelsen i och med att vulkanutbrottet. Konfidensintervallen för ömsesidigt uteslutande, något som ger stöd åt distinkta perioder. Även halterna av sulfat och PM2.5 sjönk tydligt under 2015, drygt 20 %. Halterna av kvävedioxid sjönk i mindre grad och uppvisar, som sagt, en linjärt avtagande trend snarare än diskreta förändringar. Minskningen av svavelhalterna mellan tidigare perioder (före, inledande respektive fördjupat SECA) ligger på drygt 20 %.

Liknande mönster kan urskiljas i haltdata från Vavihill i Svalöv och Aspvreten i Nyköping. Här är minskningen av svaveldioxid drygt 45 % respektive 40 %, samt sulfat drygt 20 % respektive 35 %. Aspvreten uppvisar också en kraftig minskning av kvävedioxid 2015. En granskning av det mönstret visar att minskningen har varit starkt avtagande varje föregående år, dvs. att det inte handlar om distinkta perioder som i fallet med svaveldioxid.

Tabell 5.2a. Halter av ämnen i luft vid Bredkålen ($\mu\text{g m}^{-3}$)

År/Ämne	SO2	SO4	PM10	PM2.5	NO2
2002-2005	0,12	0,64	*	*	0,55
2006-2009	0,14	0,56	3,40	2,11	0,52
2010-2013	0,15	0,35	3,48	1,87	0,50
2014	0,54	0,60	4,68	2,87	0,46
2015	0,11	0,23	3,46	2,26	0,43
%	-26,7**	-34,3**	-0,60**	20,9**	-6,50**

Tabell 5.3a. Halter av ämnen i luft vid Råö ($\mu\text{g m}^{-3}$)

År/Ämne	SO2	SO4	PM10	PM2.5	NO2
2002-2005	0,94	2,3	**	**	4,96
2006-2009	0,75	1,97	15,7	6,14	4,65
2010-2013	0,59	1,51	13,8	6,40	4,09
2014	0,78	1,53	14,2	6,40	3,22
2015	0,37	1,18	15,2	5,02	3,08
%	-37,3*	-21,9*	10,1*	-21,6*	-4,40*

Tabell 5.4a. Halter av ämnen i luft vid Vavihill ($\mu\text{g m}^{-3}$)

År/Ämne	SO ₂	SO ₄	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂
2002-2005	0,85	1,94	15,9	*	4,85
2006-2009	0,68	1,68	14,9	*	4,48
2010-2013	0,55	1,27	14,2	*	4,05
2014	0,66	1,37	15,0	*	3,35
2015	0,30	0,99	10,9	*	3,52
%	-45,5**	-22,0**	-23,2**	*	5,10**

Tabell 5.5a. Halter av ämnen i luft vid Aspvreten ($\mu\text{g m}^{-3}$)

År/Ämne	SO ₂	SO ₄	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂
2002-2005	*	*	*	*	*
2006-2009	0,35	1,21	*	*	2,11
2010-2013	0,42	1,04	*	*	2,07
2014	0,53	1,53	*	*	1,55
2015	0,25	0,67	*	*	1,26
%	-40,5**	-35,6**	*	*	-18,7**

* Ofullständiga data som inte tillåter jämförelser över tid.

** Procentuell förändring baseras på 2015 i relation till 2010-2013 för SO₂, PM₁₀ och PM_{2.5}, samt på 2015 i relation till 2014 för NO₂.

6 Diskussion

I rapporten har analyser presenterats av bränsleanvändning, svavelkontroller och kustnära luftkvalitet. Sammantaget visar resultatet på tydliga förändringar efter SECA och skärpta krav 2015 på luftkvalitet. Bränslekontroller och fjärrmätningar av fartygsutsläpp visar på oförändrad eller till och med förbättrad regelefterlevnad, ca 95 %. Data på luftföroreningar i kustnära miljöer i södra Östersjön visar på minskningar av svaveldioxid-och PM-halter mellan 10-40 %. En ökad efterfrågan på lågsavliga fartygsbränslen resulterade i en ökad produktion av dieselbränslen och ökad export av motorbensin från EU. Priset på råolja och fartygsbränslen sjönk 2014–2015. Befarade prisökningar och tillgänglighetsproblem uteblev.

Osäkerhetsfaktorer kvarstår, inte minst olje- och bränsleprisets framtida utveckling. I händelse av prisökningar aktualiseras återigen risker för bristande efterlevnad och frågor om kontroll- och sanktionssystem. Kontrollverksamheten intensifierades under 2015 och 2016, men återgår till tidigare nivåer från och med 2017. Sanktionssystemen har inte förändrats och är fortfarande inte harmoniserade (Swahnberg 2016, HELCOM 2016c, Ringbom 2017). Även om utfallet av svaveldirektivet hittills är helt i linje med målet med svaveldirektivet finns det inga garantier att det så förblir.

Det huvudsakliga målet med SECA är att minska sjöfartens negativa effekter på människors hälsa och miljö, främst i befolkningstäta kustnära miljöer i närheten av fartygsleder och intensiv sjötrafik. Ett av underlagen inför de skärpta kraven på sjöfartens svavelutsläpp 2015 var en ex-ante analys från AEA (AEA 2009). I grundscenariot uppskattades sjöfartens spridning av svavel och PM över Sverige minska med drygt 35 % respektive 20 %. Nyttan värderades på basis av minskade PM-halter. PM anses vara en viktig källa till bland annat hjärt- och lungsjukdomar och lungcancer. Svaveldioxidhalterna i luften är så pass låga att de generellt sett inte utgör ett hälsoproblem. Däremot är sjöfartens svavelutsläpp en källa till förorening, varför skärpta svavelkrav också innebär miljövinster. Kostnaderna för reformen består främst av ökade kostnader för renare fartygsbränslen.

Nettovärdet av skärpa krav för Sveriges del uppskattades till plus 460 miljoner EURO. Det kan jämföras med Trafikanalys ex-ante analys där sjöfartens kostnader i Sverige beräknades öka med 4,5–6,4 miljarder kronor, samtidigt som miljövinster i Sverige uppskattades till 1–4 miljarder kronor (Trafikanalys 2013). Analyserna skiljer sig på flera sätt. AEA:s analys byggde på hälsoeffekter av PM. Trafikanalys utgick från miljöeffekter av svavelnedfall. Därutöver bygger analyserna på olika scenarier om sjöfarten och bränslepriser. I en publikation från VTI diskuteras skillnaderna mellan nyttokalkyler närmare, samtidigt som det konstateras att närmare underlag saknas för att värdera hälsoeffekterna av PM-utsläppen från sjöfarten (Nerhagen 2016). Av allt att döma saknas mätdata avseende befolkningsexponering mot PM från sjöfarten.

I en ex-post analys ifrågasätts nyttan med de skärpta kraven i Östersjön (Antturi, Hänninen et al. 2016). Analysen bygger på AIS-data om fartygsrörelser i Östersjön, kostnadsberäkningar av bränsleskifte och avgasrening, utsläppmodellering och skattningar av hälsoeffekterna av reducerade halter av PM_{2.5}. Miljöeffekterna ingår inte i studien, inte heller trafiken i Nordsjön. Simuleringarna av sjöfartens PM-utsläpp visade på en reduktion av PM-halterna på ca 5 % i kustmiljöer i närhet av hårt trafikerade fartygsleder och ca 1 % i inlandsmiljöer. För åtta länder kring Östersjön uppskattas hälsonyttan med skärpta krav till närmare 105 miljoner EUR per år.

Kostnaderna beräknas till ca 465 miljoner EUR per år och beror framför allt av ett skifte till lågsvavligt dyrare bränsle, i mindre utsträckning på användning av avgasrening. Analysen omfattar 4 855 fartyg, varav 97,2 % antas skifta bränsle. Ex-post analysen omfattar beräkningar för åtta länder i Östersjön. För Sveriges del uppskattas hälsovärdet till närmare 19 miljoner EUR per år och kostnaderna till 100 miljoner EUR per år.

Ex-post analysen är ett värdefullt komplement till tidigare samhällsekonomiska analyser som bygger på oklara antaganden om sjöfartens svavelutsläpp och exponering av befolkning mot PM. Samtidigt kvarstår vissa grova effektmått i analysen, till exempel geografisk spridning av PM-halter och reduktionen över regioner och länder. För Sverige antas en bakgrundshalt på $4,9 \mu\text{g m}^{-3}$ och en reduktion på $0,07 \mu\text{g m}^{-3}$ (1,4 %) till följd av de skärpta kraven 2015. Det är lågt i jämförelse med uppmätta effekter på luftkvalitet i Sydsverige. Ex-post analysen saknar uppgifter om hur lufthalter av svaveldioxid och sulfat påverkas, men andra studier visar på ett 1:5 eller 2:5 förhållande, dvs. en PM-reduktion på 1,4 % motsvarar en svavelreduktion på 4-7 %. Mätdata från kustnära miljöer i Sydsverige visar dock på minskningar av svaveldioxid på 30-40 %, även PM i totalt procent. Dessa data kommer från några få mätstationer, men visar på stora regionala och lokala effektvariationer som kan underskattas i modelleringsstudier. Här krävs det mer studier och mätdata för att klargöra faktisk exponering mot PM. Därtill kvarstår osäkerhet om effekterna av svavelnedfall.

Regionala och lokala mätningar av svaveldioxid visar på värden i storleksordningen $0-5 \mu\text{g m}^{-3}$ och ligger väl under gränsvärdena. Det innebär dock inte att det finns entydig samsyn i fråga om risker. WHO:s gränsvärden skiljer sig till exempel från de svenska normerna (WHO 2016). Dessutom finns det forskare som räknar på nya typer av gränsvärden (Lai 2013), eller som till och med visar på en nolleffektnivå, dvs. ett samband mellan svaveldioxid och hälsorisker även vid låga halter efter SECA och skärpta krav (Le Tertre 2014). Författarna framhåller samtidigt att det är svårt, om inte omöjligt att kontrollera för korrelationer mellan svaveldioxid- och PM-halter. Det har också lyfts fram i en granskning av forskning på området (Concawe 2016). Det är svårt att fastställa orsak och verkan. Granskningen är gjord av Concawe, en FoU-avdelning inom European Petroleum Refiners Association.

Avslutningsvis ska också rapportens avgränsningar och begränsningar kort diskuteras. Även om effekterna på bränslemarknaden, regelefterlevnaden och kustnära luftkvalitet gick åt rätt håll kvarstår risker och frågor om kostnader och konkurrens effekter. I och med att råoljepriset sjönk under 2014–2015 uteblev befarade kostnadsökningar för fartygsbränsle, men effekterna av eventuellt kommande prisstegringar är därmed en öppen fråga. Ökade bränslepriser skulle exempelvis kunna slå mot regelefterlevnaden. Överträdelser antas generellt vara ekonomiskt motiverade, inte minst eftersom straffpåföljder är ringa. Under 2016 steg bränslepriserna något. De ligger fortfarande lågt i jämförelse med perioden innan 2014. Om priserna fortsätter att stiga innebär det ökad risk för bristande efterlevnad. Varken i EU:s eller HELCOM:s rapporter diskuteras frågan om uppföljning närmare, om och hur det inledande intensiva kontrollarbetet kan och behöver följas upp i framtiden. Med tanke på att risken för bristande efterlevnad kan antas öka i takt med att marknadsvillkoren blir hårdare, med dyrare bränsle, samt då kontrollverksamheten i EU återgår till det normala, finns det goda skäl att planera för ett uppföljande kontrollprojekt i likhet med CompMon.

Utöver hälso- och miljövinster, samt risker för störningar på bränslemarknaden och bristande regelefterlevnad, kvarstår frågor om konkurrensnackdelar för svensk sjöfart och näringsliv. Den svenska skogs- och stålindustrin exporterar stora volymer med sjöfartstransporter till kontinenten. Även om prisbildningen på sjöfartstransporter blev mer eller mindre konstant i och med de skärpta kraven 2015 innebär bränsleskiftet en relativ konkurrensnackdel för

sjötransporter i Skandinavien i jämförelse med transporter på kontinenten. Dessa risker är av mer generell karaktär än de specifika risker som har diskuterats i denna rapport. De kommer att diskuteras i en slutrapport av Trafikanalys utvärdering av svaveldirektivet.

7 Referenser

- Adland, R., et al. (2017). "The impact of regional environmental regulations on empirical vessel speeds." Transportation Research Part D: Transport and Environment **53**: 37-49.
- AEA (2009). Cost benefit analysis to support the impact assessment accompanying the revision of Directive 1999/32/EC on the sulphur content of certain liquid fuels. Report to European Commission.
- Andersson, K. (2015). Methanol as a Marine Fuel - Report prepared by Chalmers and FCBI Energy for Methanol Institute, Methanol Institute.
- Antturi, J., et al. (2016). "Costs and benefits of low-sulphur fuel standard for Baltic Sea shipping." Journal of Environmental Management **184**: 431-440.
- Balzani Lööv, J. M. (2014). "Field test of available methods to measure remotely SO_x and NO_x emissions from ships." Atmospheric Measurement Techniques **7**(8): 2597-2613.
- CE Delft (2016a). SECA Assessment: Impacts of 2015 SECA marine fuel sulphur limits. . Rapport på uppdrag av Nature And Biodiversity Conservation Union (NABU).
- CE Delft (2016b). Assessment of Fuel Oil Availability - report prepared by CE Delft, Stratas Advisors, UMAS, NMRI, Petromarket Research Group and Shinichi Hanayama for International Maritime Organization (IMO), CE Delft.
- CompMon (2014-2016). "Compliance monitoring pilot for Marpol Annex VI." from <http://compmon.eu/>.
- CompMon (2016a). CompMon long term strategy. Compliance Monitoring for Marpol Annex VI. Helsingfors, Finland.
- CompMon (2016b). Best Practices Airborne MARPOL Annex VI Monitoring. Brussels, Belgium, Royal Belgian Institute of Natural Sciences, OD Nature, Scientific service MUMM.
- Concawe (2016). Review of recent health effect studies with sulphur dioxide - report no. 4/16, Concawe: Environmental Science for the European Refining Industry.
- DCE (2016). Udviklingen i luftkoncentrationen af svovldioxid i Danmark set i forbindelse med svovlreduktion i skibsbrændstof. Danmark, Nationalt Center for Miljø og Energi.
- EC (2011). Commission Staff Working Paper - Impact Assessment - Accompanying the document Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 1999/32/EC as regards the sulphur content of marine fuels. European Commission.
- EC (2015). Study on the Completion of an EU Framework on LNG-fuelled Ships and its Relevant Fuel Provision Infrastructure - Lot 3 Analysis of the LNG market development in the EU - report prepared for European Commission CE Delft TNO, European Commission.
- ECG (2013). Sulphur Content in Marine Fuels - Briefing Report, The Association of European Vehicle Logistics.
- EMSA (2015). Sulphur Inspection Guidance - Council Directive 1999/32/EC European Maritime Safety Agency.
- EMSA (2017). "Thetis." from <https://portal.emsa.europa.eu/web/thetis>.

- EnSys (2016). Supplemental Marine Fuel Availability Study - MARPOL Annex VI Global Sulphur Cap 2020 Supply- Demand Assessment - report commissioned by BIMCO and IPIECA Ensys Energy with Navigistics Consulting.
- ES (2016). Transportsektorns energianvändning 2015. ES 2016:03, Statens energimyndighet.
- EU (2016). Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2016/802 av den 11 maj 2016 om att minska svavelhalten i vissa flytande bränslen.
- Fridell, E. (2016). Emission Factors for 2015 reporting - rapport för Transportstyrelsen, Svenska Miljöinstitutet (IVL).
- Guevara, M. (2016). Emissions of Primary Particulate Matter. Airborne Particulate Matter: Sources, Atmospheric Processes and Health, The Royal Society of Chemistry: 1-34.
- Havsmiljöinstitutet (2017). Åtgärder för att minska sjöfartens påverkan på havsmiljön. Rapport 2017:2.
- HELCOM (2014-2016). "HELCOM Meeting Portal. Mötesprotokoll för Maritime Group - HELCOM CG SECA." from <https://portal.helcom.fi/Lists/MeetingInformation/MARITIME%20meetings.aspx>.
- HELCOM (2016a). Information about remote sensing of SO2 emissions from ships in Danish water, HELCOM, Baltic Marine Environment Protection Commission, Maritime Working Group.
- HELCOM (2016b). Emissions from Baltic sea shipping in 2015, Maritime Working Group.
- HELCOM (2016c). Final report of HELCOM SG SECA, Baltic Marine Environment Protection Commission - Maritime Working Group.
- ITF (2016). Reducing Sulphur Emissions from Ships: The Impact of International Regulation. OECD - The International Transport Forum. Corporate Partnership Board Report.
- IVL (2016). Krondroppsnetets rapporter, Svenska miljöinstitutet.
- Kattner, L., et al. (2015). "Monitoring compliance with sulfur content regulations of shipping fuel by in situ measurements of ship emissions." Atmospheric Chemistry and Physics **15**(17): 10087-10092.
- Koucky (2016). Sjöfartens energianvändning - Hinder och möjligheter för omställning till fossilfrihet., Koucky & Partners AB och Energimyndigheten.
- Lai, H. K. (2013). "A method to derive the relationship between the annual and short-term air quality limits - Analysis using the WHO Air Quality Guidelines for health protection." Environment international **59**: 86-91.
- Le Tertre, A. H. (2014). "Impact of legislative changes to reduce the sulphur content in fuels in Europe on daily mortality in 20 European cities: an analysis of data from the Aphekom project." Air Quality, Atmosphere & Health **7**(1): 83-91.
- LH-F3 (2016). "Förnybara sjöfartsbränslen i tanken - Lighthouse och F3 seminarium om möjligheter, utmaningar och praktiska erfarenheter." from http://www.lighthouse.nu/sites/www.lighthouse.nu/files/161006_fartygsbranslen_ppp_compressed.pdf.
- Mellqvist, J. (2016a) Measurement techniques used within CompMon for fixed and airborne sulfur compliance monitoring.
- Mellqvist, J., et al. (2016b). "Compliance measurements of ships from airborne and fixed stations - project presentation." from http://www.trafi.fi/filebank/a/1460960341/7fbaecb9528f47d8f2db246da94764df/20406-Website_Mellqvist_Compliance_measurements_of_ships_from_airborne_and_fixed_stations.pdf.

- MUMM (2016). Results MARPOL Annex VI Monitoring Report Belgien Sniffer Campaign 2016. CompMon. Bryssel, Belgien.
- NABU (2016). SECA Assessment: Impacts of 2015 SECA marine fuel sulphur limits, NABU - Nature And Biodiversity Conservation Union.
- Nerhagen, L. (2016). Externa kostnader för luftföroreningar: kunskapsläget avseende påverkan på ekosystemet i Sverige, betydelsen av var utsläppen sker samt kostnader för utsläpp från svensk sjöfart. VTI notat, 24-2016, Statens väg- och transportforskningsinstitut.
- Ringbom, H. (2017). The International Legal Framework for Monitoring and Enforcing Compliance with the Sulphur in Fuel Requirements of MARPOL Annex VI. CompMon report. Finland, Åbo University, Department of Law.
- Seyler, A., et al. (2017). "Monitoring shipping emissions in the German Bight using MAX-DOAS measurements - research paper under review." Atmospheric Chemistry and Physics Discussions.
- SFS (2014:509). Svavelförordning - Svensk författningssamling.
- Swahnberg, F. E. (2016). The Swedish implementation of the SECA regulations – does Sweden fulfil the international requirements regarding the sanction system? Faculty of law. Oslo, Norway, University of Oslo. **Master**.
- TE (2015). The market for scrubbers - Report prepared by CE Delft for Transport & Environment Transport & Environment.
- Trafikanalys (2013). Konsekvenserna av skärpta krav för svavelhalten i marint bränsle - slutredovisning. Rapport 2013:10.
- Trafikanalys (2015). Svaveldirektivets införande – branschens förberedelser. Rapport 2015:11.
- Trafikanalys (2016a). Fuels in the Baltic Sea after SECA. PM 2016:12.
- Trafikanalys (2016b). Svensk sjöfarts internationella konkurrenssituation 2016. Rapport 2016:1.
- Trafikanalys (2017). Överflyttningseffekter inom SECA – Regionala utvecklingsmönster av sjöfarts- och lastbilsgods mellan 2001 och 2015. PM 2017:XX.
- Transportstyrelsen (2014). Tillsyn och efterlevnad av de skärpta reglerna för svavelhalt i marint bränsle. Rapport TSS 2013-2085.
- Transportstyrelsen (2015). Effekterna av strängare svavelkrav. Rapport TSG 2015-1650.
- WHO (2016). Ambient (outdoor) air quality and health, World Health Organization.
- Viana, M., et al. (2014). "Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe." Atmospheric Environment **90**: 96-105.
- Winnes, H. and E. Fridell (2009). "Particle emissions from ships: dependence on fuel type." Journal of the Air & Waste Management Association **59**(12): 1391-1398.
- Yang, M. B. (2016). "Attribution of atmospheric sulfur dioxide over the English Channel to dimethyl sulfide and changing ship emissions." Atmospheric Chemistry and Physics **16**(8): 4771-4783.

8 Appendix

Tabell 5.2b. Monte Carlo konfidensintervall¹⁷ (90 %) för halter vid Bredkålen

År/Ämne	SO ₂	SO ₄	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂
2002-2005	0,11–0,14	0,56–0,73	*	*	0,50–0,61
2006-2009	0,11–0,18	0,49–0,65	3,00–3,84	1,87–2,37	0,48–0,56
2010-2013	0,13–0,18	0,30–0,41	3,26–3,72	1,73–2,00	0,46–0,54
2014	0,19–1,26	0,46–0,78	4,01–5,44	2,47–3,29	0,41–0,51
2015	0,08–0,15	0,18–0,27	3,05–3,90	1,98–2,56	0,40–0,48

Tabell 5.3b. Monte Carlo konfidensintervall¹⁷ (90 %) för halter vid Råö

Råö	SO ₂	SO ₄	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂
2002-2005	0,85–1,04	2,11–2,50	**	**	4,61–5,30
2006-2009	0,68–0,82	1,83–2,10	14,8–16,8	5,76–6,53	4,35–4,95
2010-2013	0,54–0,64	1,39–1,63	13,1–14,6	5,97–6,81	3,81–4,37
2014	0,65–0,93	1,34–1,75	12,8–15,6	5,68–7,27	2,81–3,65
2015	0,31–0,44	1,03–1,34	13,7–16,6	4,48–5,57	2,72–3,45

Tabell 5.4b. Monte Carlo konfidensintervall¹⁷ (90 %) för halter vid Vavihill

Vavihill	SO ₂	SO ₄	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂
2002-2005	0,75–0,95	1,75–2,12	15,6–16,2	*	4,50–5,25
2006-2009	0,60–0,77	1,55–1,82	14,6–15,2	*	4,17–4,79
2010-2013	0,49–0,61	1,15–1,41	14,1–14,4	*	3,76–4,39
2014	0,52–0,81	1,17–1,59	14,7–15,4	*	2,96–3,78
2015	0,23–0,38	0,84–1,16	10,4–11,4	*	3,09–3,98

Tabell 5.5b. Monte Carlo konfidensintervall¹⁷ (90 %) för halter vid Aspvreten

Aspvreten	SO ₂	SO ₄	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂
2002-2005	*	*	*	*	*
2006-2009	0,29–0,41	1,00–1,43	*	*	1,82–2,45
2010-2013	0,38–0,46	0,94–1,14	*	*	1,91–2,22
2014	0,41–0,65	1,24–1,87	*	*	1,36–1,75
2015	0,21–0,29	0,57–0,79	*	*	1,09–1,45

* Ofullständiga data som inte tillåter jämförelser över tid.

** Procentuell förändring baseras på 2015 i relation till 2010-2013 för SO₂, PM₁₀ och PM_{2.5}, samt på 2015 i relation till 2014 för NO₂.

¹⁷ Konfidensintervallet baseras på 5 % och 95 % kvantiler av 1 000 medelvärden av Monte Carlo stickprov om 20 % av samtliga mätvärden för tidsperioden ifråga.



Trafikanalys är en kunskapsmyndighet för transportpolitiken. Vi analyserar och utvärderar föreslagna och genomförda åtgärder inom transportpolitiken. Vi ansvarar även för officiell statistik inom områdena transporter och kommunikationer. Trafikanalys bildades den 1 april 2010 och har huvudkontor i Stockholm samt kontor i Östersund.