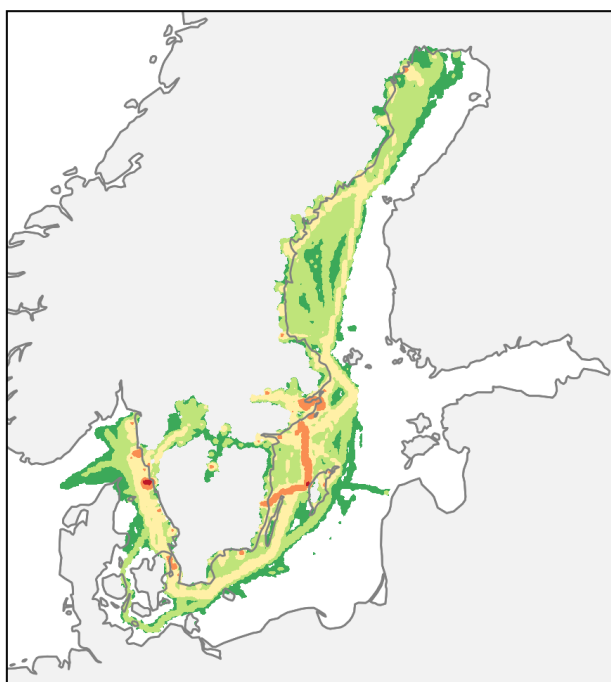


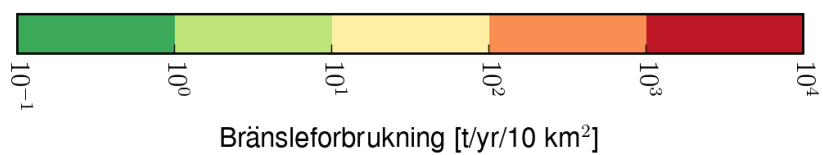
Fredrik Windmark, Mattias Jakobsson, David Segersson

RAPPORT NR 2017-10

Modellering av sjöfartens bränslestatistik med Shipair



Framsidan: Modellerad bränsleförbrukning från inrikes sjöfart under 2015.





Författare:

Fredrik Windmark, Mattias Jakobsson, David Segersson

Mottagare:

Energimyndigheten

Granskningsdatum:

2017-02-15

Granskare:

Stefan Andersson, SMHI

Dnr:

2016/1786/9.5

Version

1.1

Modellering av sjöfartens bränslestatistik med Shipair

Uppdragstagare

SMHI

601 76 Norrköping

Projektansvarig

Fredrik Windmark

011 495 84 32

fredrik.windmark@smhi.se

Uppdragsgivare

Energimyndigheten

Box 310

631 04 Eskilstuna

Kontaktperson

Massimo di Biaggio

016 544 21 32

massimo.dibiaggio@energimyndigheten.se

Klassificering

(X) Allmän () Affärssekretess

Nyckelord

Sjöfart, Bränslestatistik, Modellering, Airviro, Shipair

Övrigt

-

Innehåll

1	Sammanfattning	1
2	Inledning	1
3	Om Shipair	2
3.1	AIS	2
3.2	Fartygsparametrar och externa fartygsdatabaser	3
3.3	Modellering av bränsleförbrukning	4
4	Utveckling av systemet	5
4.1	Fartygsdata från ITU MARS	6
4.2	Hantering av fartygsmallar	6
4.3	Förbättring av manöverområden	7
4.4	Indelning i inrikes trafik	8
4.5	Identifiering och hantering av bunkringszoner	10
5	Validering av modellen	12
5.1	Fartygsegenskaper	13
5.2	Jämförelse med individuella fartyg	15
5.3	Jämförelse med STEAM	19
6	Beräkning av inrikes bränsleförbrukning	20
7	Diskussion	24
A	Appendix - Statcode5	26
B	Appendix - Månadsvis bränslestatistik	27

1 Sammanfattning

Detta projekt har undersökt möjligheten att använda modellering baserad på AIS-data för att förbättra försäljningsstatistiken för den inrikes fartygstrafiken. För att göra detta har modellsystemet Shipair använts för att beräkna bränsleförbrukningen för den svenska inrikes trafiken under åren 2013 till 2015.

Eftersom denna typ av modellering är relativt ny finns det höga krav på modellens noggrannhet. En viktig del har därför varit att utveckla och validera modellen, från hur väl den klarar av att uppskatta förbrukningen från enstaka fartyg till sjöfartens förbrukning i hela Östersjön. Vi har funnit att modellen presterar väl under alla tester.

Resultaten visar att modellen följer säsongsvariationerna i försäljningsstatistiken väl, med tydliga toppar under sommarhalvåret när fartygstrafiken ökar i intensitet. Samtidigt syns stora skillnader mellan modell och försäljningssiffror. Ackumulerat över året ger den modellerade bränsleförbrukningen dubbelt så höga värden som försäljningsstatistiken. Det kommer sig troligen både från viktiga fartyg i linjetrafik och från många fartyg med mindre påverkan på totalen som missats att tas med i försäljningsstatistiken för inrikes bruk.

Även om det fortfarande finns förbättringsmöjligheter för Shipair-modellen så gör vi bedömningen att resultaten från denna nya metodik är mer trovärdig än den nuvarande statistiken.

2 Inledning

Sjöfarten är ett energieffektivt sätt att transportera gods, men också en stor global källa till utsläpp av växthusgaser [Smith et al., 2014]. Det är också en av de största enskilda källorna till andra luftföroreningar, med exempelvis 8% av de globala svaveloxidutsläppen och 15% av de globala kväveoxidutsläppen [Rahm, 2015]. Även om det senaste året har sett en något försvagad internationell marknad så har det tidigare uppskattats att fartygstrafiken kommer att öka med så mycket som 50-250% fram till 2050. De senaste åren har därför kraven på redovisning av utsläpp och energiförbrukning från sjöfarten ökat.

I Sverige sköter Energimyndigheten den internationella rapporteringen av försäljningsstatistik från svenska bunkringsleverantörer. Det har kommit krav på en förbättrad kvalitet i uppdelningen av dessa försäljningssiffror mellan inrikes sjöfart (bränsle som förbrukas under färder mellan två svenska hamnar) och internationell sjöfart (förbrukning för färder som involverar som mest en svensk hamn).

I nuläget baseras dessa försäljningssiffror på data som regelbundet rapporteras in från svenska bunkringsleverantörer till Energimyndigheten. Datan kommer in i form av formulär där leverantörer får uppskatta hur mycket av det sålda bränslet som kommer att användas för inrikes respektive internationellt bruk. Den totala siffran för dessa två uppskattas hålla god kvalitet, men det råder en stor osäkerhet kring uppdelningen mellan inrikes och utrikes sjöfart. Detta kommer sig både av osäkerheten från fartygskaptenens förmåga att uppskatta indelningen i bränslet som köps och att försäljaren rapporterar de korrekta siffrorna vidare. Dessa osäkerheter är så stora att skärpta rutiner runt formuläranvändningen inte väntas nå tillräcklig noggrannhet.

Energimyndigheten har därför önskat en förstudie för att se hur väl fartygens bränsleförbrukning kan modelleras med hjälp av AIS-data. AIS-systemet används nuförtiden av så gott som samtliga kommersiella

fartyg, och ger information med mycket hög noggrannhet. En fördel med denna metod är att informationen kommer från verkliga fartygsrörelser. De ger då en tydlig bild av vilka fartyg som blir inräknade och hur var och en av dessa rör sig, vilket kan användas för en tydligare uppdelning i inrikes och utrikes trafik. På så sätt går det att undvika osäkerheten i korrekt ifyllda formulär.

Metoden att använda AIS-data har däremot också sina begränsningar. Eftersom det ur datan inte går att avgöra var ett fartyg bunkrar så är det svårt att avgöra andelen svenskt bunkrat bränsle i internationella rutter och tvärtom. Det finns inte heller någon tillförlitlig metod för att avgöra vad för typ av bränsle som ett fartyg använder.

Denna förstudie kommer därför att fokusera enbart på modellering av den inrikes trafiken. Den internationella bränsleanvändningen kan därefter beräknas genom differensen mellan den totala försäljningssiffran och den modellerade bränslemängden från den inrikes trafiken. Ett antagande görs här att lika mycket bränsle säljs som förbrukas, och att försäljningsstatistik och förbrukningsstatistik är jämförbara. Vi begränsar oss också till att enbart beräkna den totala bränsleförbrukningen, utan djupare indelning i olika bränsletyper.

I avsnitt 3 förklaras metodiken i Shipair och vad för indata och antaganden som görs för att beräkna fartygs bränsleförbrukning. I avsnitt 4 beskrivs den utveckling som skett under projektet för att anpassa modellen till de nya behoven, och i avsnitt 5 presenteras valideringsmetoder och resultat för dessa. I avsnitt 6 och 7 presenteras och diskuteras till slut resultaten för jämförelsen mellan modell och försäljningsstatistik.

3 Om Shipair

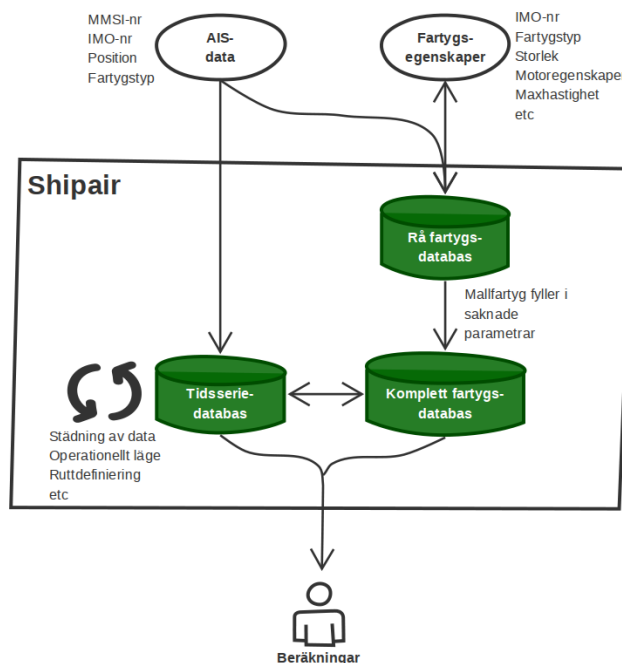
Shipair utvecklades av SMHI i samarbete med Sjöfartsverket för att förbättra förståelsen och statistiken över sjöfartens emissioner i Östersjön [Segersson, 2013]. Det har sedan dess bland annat utvecklats och använts för att ligga till grund för och verifiera nationell rapportering av svensk sjöfart inom SMED-samarbetet¹ [Eklund et al., 2011], för internationell rapportering av sjöfart i Turkiet [Segersson, 2014] och för uppskattning av den svenska sjöfartens marginalkostnader [Windmark et al., 2016].

Shipair är en bottom-up-modell som baseras på AIS-data i kombination med detaljerade fartygsdatabaser. Varje fartygs positioner registreras, och genom att kombinera detta med information om bland annat fartygets storlek och motorstyrka går det att beräkna hur mycket energi och bränsle som förbrukats mellan två tidpunkter. Shipair är en integrerad del av luftkvalitetssystemet Airviro, som bidrar med databas- och tidsseriehantering. Se figur 1 för en schematisk överblick av systemet.

3.1 AIS

AIS (Automatic Identification System) är ett globalt system som används för att identifiera fartyg och följa deras rörelser. Varje fartyg med en AIS-transponder sänder kontinuerligt och automatiskt ut information via VHF-radio som vem som helst med en AIS-mottagare kan ta emot. Mottagare finns installerade på fartyg och samlas även in av fartygstrafikservice, och används av dessa som ett led i säkerhetsarbetet.

¹ SMED står för Svenska MiljöEmissionsData och är ett samarbete mellan organisationerna IVL, SCB, SLU och SMHI.



Figur 1: Schematisk överblick av Shipair.

AIS-transponders kommer i två klasser, typ A och B. Typ B-transpondern infördes på marknaden under 2006 som ett enklare och billigare alternativ till den tidigare typ A-transpondern. Sedan 2007 är användning obligatorisk för fartyg i internationell trafik med en bruttodräktighet över 300 GT, motsvarandes en större fiskebåt, samt för samtliga passagerarfartyg. Tack vare typ B-transpondern är AIS dock populärt även bland mindre fartyg, och i realiteten används det av de allra flesta kommersiella fartyg och många fritidsbåtar.

AIS-data består delvis av dynamisk data såsom position, hastighet och driftläge och delvis av statiska parametrar som identitet, storlek och byggår. Varje AIS-transponder har ett givet id-nummer (MMSI), men övrig statisk information fylls i manuellt direkt i transpondern och är därmed inte kvalitetssäkrad.

I Shipair används den dynamiska datan för positionsangivelser och även somliga av de statiska parametrarna, men på grund av osäkerheten i de senare prioriteras data från övriga fartygsdatabaser högre om sådan finns tillgänglig.

AIS-datan för all fartygstrafik i Östersjön samlas in av alla länder genom HELCOM-samarbetet (Helsingforskonventionen) och har gjorts tillgänglig för SMHI av Sjöfartsverket. Här inkluderas även Västerhavet (Skagerrak och Kattegatt) samt Nordsjön utmed Danmarks kust. Denna data lagras kontinuerligt i Shipairs databas med en tidsupplösning på fem minuter.

3.2 Fartygsparametrar och externa fartygsdatabaser

För att kunna modellera bränsleförbrukning och sjöfartsemissioner krävs ytterligare information om varje fartyg. För att ta reda på fler fartygsegenskaper som exempelvis längd, vikt och motortyp finns följande källor tillgängliga:

- Statiska parametrar från AIS-datan.
- Nationella fartygsregister.
- Kommersiella databaser såsom IHS Fairplay.
- Öppna databaser såsom MARS-databasen från International Telecommunications Union.

För att göra ett uppslag i en databas används oftast det MMSI-nummer som följer med varje AIS-transponder och ändras varje gång ett fartyg byter transponder. För vissa fartyg kan även IMO-numret användas. Det är ett unikt id som är associerat med fartygsskrovet från att det kommer ut ur varvet tills det skrotas.

Den bästa datan som finns tillgänglig kommer från IHS Fairplay. Det är en kommersiell service som tar ut en avgift för varje databasuppslag, men har närmast komplett täckning för de vanligaste parametrarna som bruttodräktighet, fartygstyp och huvudmotoregenskaper.

Alla fartyg går dock inte att hitta i IHS Fairplay med den data som finns tillgänglig via AIS, och alla fartygsegenskaper finns dessutom inte tillgängliga för varje fartyg. Om parametrar för ett fartyg saknas fylls de i med hjälp av så kallade mallfartyg som baseras delvis på litteraturen och delvis på statistik framtiden från kända fartyg av samma typ. Dessa diskuteras noggrannare i avsnitt 4.2.

3.3 Modellering av bränsleförbrukning

Ett fartygs energibehov kommer huvudsakligen ifrån tre system. Dessa är:

- huvudmotorerna, som används för att driva ett fartyg framåt,
- hjälpmotorerna, som används för att förse fartyget med elektricitet, samt
- värme pannorna, som används för att förse fartyget med värme.

Samtliga system är relevanta, och samtliga tas hänsyn till i Shipair-modellen. För att avgöra när och till hur stor del dessa används kategoriseras i modellen fartygets rörelser in i fem olika driftlägen:

- cruise, när fartyget rör sig i stabil marschfart
- manövrering, när fartyget accelererar eller retarderar,
- till ankar, när fartyget ligger till utanför ett hamnområde,
- vid kaj, när fartyget ligger still i hamn,
- vid kaj med OPS (On-shore Power Supply), när fartyget ligger still vid en kaj som kan förse fartyget med elektricitet.

Dessa driftlägen är en förenkling av verkligheten, men beskriver de flesta situationer väl. Genom att veta hur fartyget beter sig i varje driftläge går det sedan att beräkna dess energibehov och bränsleförbrukning. Under cruise används huvudmotorn till en grad som är beroende av fartygets hastighet, under manövrering antas motorerna gå för lägre effekt, medan de antas vara avstängda när fartyget ligger vid kaj. Exakt hur varje driftläge är kopplat till de tre systemen beror på fartygs- och motortyp. Exempelvis saknar fartyg med

dieselelektriska huvudmotorer helt hjälpmotorer, och ett visst effektuttag från huvudmotorn antas därför även vid kaj.

Elförbrukningen vid OPS-kaj räknas inte in i förbrukningsberäkningarna. Det saknas dock bra data över sådana kajer i Sverige, så i nuläget används detta bara för en kaj i Göteborgs hamn. OPS-kajer är dock fortfarande mycket ovanliga, och eftersom förbrukningen vid kaj är betydligt lägre än i drift så uppskattar vi att påverkan från de missade kajerna är liten.

Nedan följer några exempel på hur energiförbrukningen beräknas för systemen vid några olika driftlägen. Det ska inte ses som en komplett förteckning, utan är ämnad för att ge en översiktlig förståelse för modellen.

Under cruise kan effekten från huvudmotorn under beräknas med:

$$P_{\text{cruise}}^{\text{ME}} = k \cdot V^3, \quad (1)$$

där V är fartygets aktuella hastighet, och där

$$k = P_{\text{MCR}}^{\text{ME}} / V_{\text{MCR}}^3, \quad (2)$$

där V_{MCR} är designhastigheten, vilket är den högsta hastighet som fartyget kan ha utan att motorn tar skada (Maximum Continuous Rating), och $P_{\text{MCR}}^{\text{ME}}$ är motorns uteffekt vid denna hastighet. För att beräkna bränsleförbrukningen tillkommer faktorer som exempelvis motorns bränsleeffektivitet, motorlast och ålder.

Hjälpmotorernas uteffekt beräknas som en andel av motorstyrkan:

$$P^{\text{AE}} = P_{\text{MCR}}^{\text{AE}} \cdot \text{andel}_{\text{driftläge}}^{\text{AE}} \quad (3)$$

där $P_{\text{MCR}}^{\text{AE}}$ är hjälpmotorns maximala uteffekt och $\text{andel}_{\text{driftläge}}^{\text{AE}}$ är en konstant som sätts efter fartygstyp och driftläge.

För värme pannor, som används för uppvärmning av fartyget när spillvärmens från de andra motorerna inte räcker till, används en tabulerad konstant som normerats efter fartygets storlek.

Genom att integrera energibehovet från dessa system under varje tidssteg går det sedan att beräkna bränsleförbrukningen genom att göra antaganden för när dess listade bränsletyper används.

4 Utveckling av systemet

Eftersom Shipair tidigare utvecklats primärt för studier av fartygsemissioner och luftkvalitetrelaterade utredningar har det varit nödvändigt att göra en viss utveckling av modellen för att den ska prestera så väl som möjligt.

I detta avsnitt beskrivs hur MARS-databasen använts för att förbättra kvaliteten på fartygsegenskaperna och hur fartygsmallarna uppdateras för att ge så korrekta fartygsegenskaper som möjligt för de fall där

parametrarna inte är kända. Vi diskuterar även förbättringen av manöverområden och nya rutiner för rutthantering för att så korrekt som möjligt klassificera fartygens rörelser och välja ut dem som avser inrikes trafik. Slutligen diskuteras även identifiering av bunkerzoner ute till havs.

4.1 Fartygsdata från ITU MARS

Tidigare har enbart IHS Fairplay och ett uttag ur Sjöfartsverkets fartygsdatabas använts för att slå upp fartygsegenskaper. Som en del av detta projekt har även uppslagning av fartygsdata från ITUs (International Telecommunication Unions) databas MARS (Maritime mobile Access and Retrieval System) implementerats i Shipair. MARS är ett öppet webbaserat sökverktyg som bygger på en fartygsdatabas som ITU-administrationen i varje enskilt medlemsland är ansvarig för att uppdatera.

Denna uppslagning genomförs efter att ett skepp har blivit registrerat i AIS-insamlingen men innan skeppet slås upp i den kommersiella fartygsdatabasen som tillhandahålls av IHS Fairplay. På detta vis ges prioritet till data från IHS medan ITU-data kommer till nytta då motsvarande fält saknas i tjänsten från IHS Fairplay.

MARS-databasen innehåller ett trettiotal fält varav fartygsnamn, anropssignal, fartygsklass, identifikationsnummer, samt bruttodräktighet är av intresse för Shipair. Fartygsklassen är indelad i en generell och en individuell kod, varav ingen, en eller båda kan vara angivna. Denna klass sparas som den är i Shipairs databas, men eftersom Shipair använder Statcode5 för att klassificera fartygstyper görs även en översättning av MARS-typen till Statcode5. Fartygstypen är en av de viktigaste parametrarna eftersom den används för att välja ut standardvärden när parametrar saknas för ett fartyg (se avsnitt 4.2).

Eftersom ITUs fartygsklass är känd för betydligt fler skepp (21 333 fartyg för 2015) än Statcode5 (12 452 fartyg) så förväntas detta förbättra fartygsklassificeringen i Shipair avsevärt (se vidare i avsnitt 5.1).

I implementeringen ingår även utförliga kvalitetskontroller för att försäkra oss om att de angivna IMO-nummer eller nationella id-nummer samt bruttodräktighet är korrekt angivna. Även här lämnas prioritet åt IHS Fairplay vid fall av konflikter.

4.2 Hantering av fartygsmallar

Det krävs många parametrar för att beräkna ett fartygs bränsleförbrukning. Några sådana parametrar är antal och styrka på huvudmotorer och hjälpmotorer, antal värmepannor, designhastighet, energiinnehåll i bränsle, energieffektivitet på motorer, bruttodräktighet, osv.

För de fartyg som går att hitta i databasen IHS Fairplay är många eller de flesta av dessa parametrar kända, men för övriga fartyg kanske bara några få parametrar är kända. Tack vare ITU MARS-databasen är dock fartygstypen känd med stor trovärdighet för de allra flesta fartyg. Detta är en viktig parameter, eftersom det då går att använda fartygsmallar för att fylla i de okända parametrarna.

Shipair använder sig av Statcode5 för att kategorisera in fartyg efter fartygstyp. Statcode5² är en industristandard bestämd av IHS för att beskriva fartygstyper med olika grad av noggrannhet - fem nivåer för den mest detaljerade beskrivningen.

²Se www.ihs.com/newsletter/maritime-information/innovations-vol1-2011/statcode.html för mer information.

Ett fartyg kan till exempel ha koden A12G2LT, som betyder:

- A - Cargo Carrying,
- A1 - Tanker,
- A12 - Chemical tanker,
- A12G - Latex tanker,
- A12G2LT - Latex tanker med enkelt displacement-skrov.

På den första nivån finns även B - Work Vessel, W - Non Seagoing Merchant Ships, X - Non Merchant, Y - Non Propelled och Z - Non Ship Structures. På den femte, mest detaljerade nivån, finns drygt 300 fartygstyper. Se Appendix A för en förteckning över de översta Statcode5-nivåerna.

Shipair skapar en fartygsmall för varje Statcode5-kod som innehåller minst tre fartyg med kända fartygsparametrar. Ett viktigt antagande i denna process är att två fartyg med samma fartygstyp har ungefär samma egenskaper. Om det exempelvis saknas parametern designhastighet för ett fartyg av typen A12G2LT letar Shipair först efter en fartygsmall för A12G2LT. Om en sådan fartygsmall saknas letas det vidare närmaste nivå uppåt i strukturen. Finns det där en fartygsmall för A12G används denna för att sätta designhastigheten för fartyget, annars fortsätter det vidare till fartygsmallen för A12, osv. På så sätt fylls alla fartygsparametrar upp för varje fartyg.

Om det inte existerar någon enda fartygsmall som innehåller en viss parameter faller systemet tillbaka på ett antal basmallar som angivits manuellt baserat på en litteraturstudie. Detta sker alltid för exempelvis $\text{andel}_{\text{cruise}}^{\text{AE}}$ som beskriver användningsgraden av hjälpmotorn under cruise - en Shipair-specifik parameter som inte finns given i någon extern fartygsdatabas.

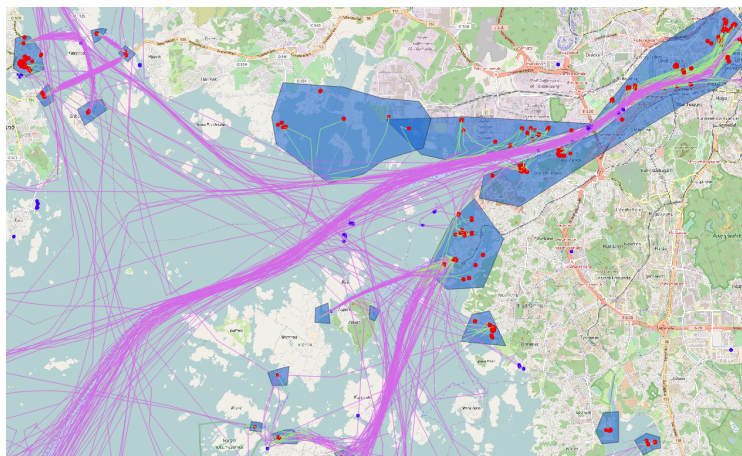
Under projektet har det gjorts en noggrann genomgång av både basmallar och de resulterande fartygsmallarna från statistiken. Vi noterade att den tidigare metodiken att använda medelvärdet på kända fartygsparametrar gav ett tydligt bias mot stora fartyg vid beräkningen av fartygsmallar. Eftersom fartygsparametrar tenderar att vara kända oftare för stora fartyg än små resulterade detta i att de små okända fartygens egenskaper överskattades genom fartygsmallarna. För fiskefartygen, där motorstyrkan tenderar att vara okänd för de tusentals mindre fiskebåtarna, resulterade detta i att fiskefartygens mallfartyg fick en högre motorstyrka än vad som kan antas rimligt. Istället används nu medianvärdet vid beräkningen av fartygsmallar, vilket lägger en större vikt på de mindre fartygen.

Användningen av fartygsmallar har också förbättrats tack vare användningen av ITU MARS-databasen. Eftersom det nu finns fler fartyg med säkrare fartygstyper kan dessa nu oftare använda korrekt fartygsmall.

4.3 Förbättring av manöverområden

Från AIS-datan kan vi bara känna till ett fartygs position och identitet. Shipair har ingen direkt information om vilket driftläge ett fartyg befinner sig i, vilket är kritiskt för att göra en korrekt beräkning av bränsleförbrukningen (se avsnitt 3.3).

För detta behövs både fartygets hastighet (vilket beräknas genom avståndet mellan två positioner), men



Figur 2: Manöverområden (blå ytor) i Göteborgs hamninlopp samt fartygsrörelser kategoriserade efter driftläge för 2015-05-01. Driftlägena är färgkodade enligt: lila - cruise, grönt - manövrering, rött - vid kaj, blått - till ankar.

också dess geografiska position - alltså om fartyget exempelvis befinner sig i en hamn, ett hamninlopp eller ute till havs.

Fartyg som befinner sig till havs går nästan uteslutande i cruise-läget, det har då en konstant marschfart och det görs ytterst få riktningsförändringar. Det är först mycket nära hamn som fartyget börjar manövrera; det kan accelerera, retardera och det gör regelbundna riktningsförändringar. Det är också viktigt att kunna särskilja mellan när ett fartyg ligger still vid kaj, eller när det ligger till ankar.

Urskiljningen mellan cruise och manövrering och mellan ett fartyg vid kaj och till ankar är båda relaterade till hamnområden. Genom att känna till om fartyget befinner sig i ett hamnområde (i Shipair kallat manöverområde) går det därför att säga mycket om ett fartygs driftläge.

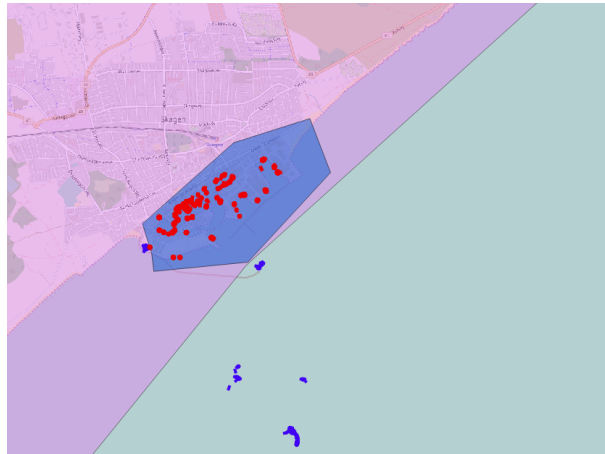
Tidsmässigt befinner sig ett fartyg enbart korta tider i manövreringsläge, så skillnaden i bränsleförbrukning under en resa är inte nödvändigtvis stor, men om systematiska fel görs på nationell nivå kan skillnaderna bli betydande.

Det finns dock ingen komplett förteckning över svenska eller utländska hamnar, speciellt inte deras manöverområden. Detta måste därför göras manuellt i ett GIS-program. Under detta projekt har en genomgång av svenska hamnområden gjorts och ytterligare 250 manöverområden har lagts till, från totalt 500 till 750, och många av de gamla har förbättrats för att bättre täcka hamnområdena.

Figur 2 visar ett exempel på manöverområden och fartygens resulterande driftlägen i Göteborgs hamninlopp.

4.4 Indelning i inrikes trafik

Liksom för bestämningen av fartygens driftlägen finns det ingen direkt information i AIS-datan om var ett fartyg börjar och slutar varje färd. För att kunna identifiera mellan vilka länder som ett fartyg rör sig används därför i Shipair en metod för att dela in dess rörelser i rutter.



Figur 3: Samtliga fartyg som legat vid kaj (röda punkter) och till ankar (blå punkter) utanför Skagen under 2015-05-01. Manöverområdet är markerad i blått, och Danmarks landspolygon i lila.

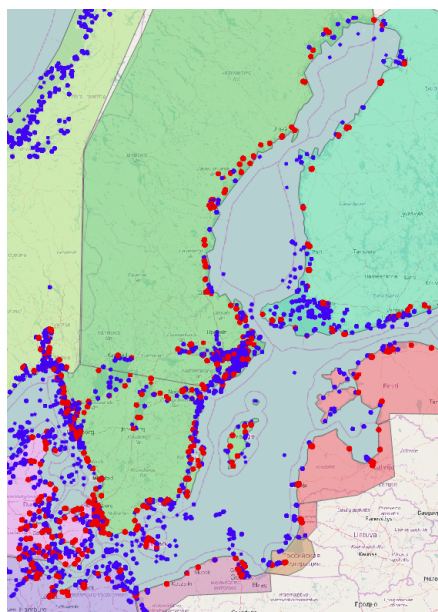
Rutterna som här avses är en konstruktion i Shipair för att identifiera vilka länder som ett fartyg rört sig mellan utan att ha någon information om den slutgiltiga destinationen. Ett fartyg som exempelvis lastar på gods i Göteborg för att sedan bunkra i Odense innan det lastar av sitt gods i Kiel skulle få färden indelad i en rutt mellan Sverige-Danmark och en mellan Danmark-Tyskland.

För att korrekt avgöra mellan vilka länder ett fartyg rört sig krävs det därför att rutterna definierats rätt. Enligt den ursprungliga definitionen krävdes det att fartyget stannar inom ett manöverområde (= hamnområde) för att en rutt skulle avslutas och en ny inledas. Det ställer dock höga krav på att varje hamn blivit korrekt utmarkerad med ett manöverområde.

I figur 3, som visar Skagens hamn, skulle de röda punkterna avslutat rutter, som då registrerats som danska, medan de blå skulle ha missats. Notera de blå punkterna sydväst om manöverområdet som egentligen ligger vid hamn men som inkorrekt missats genom ett för snävt manöverområde. En färd mellan Göteborg till Skagen och sedan Skagen till Göteborg skulle då inkorrekt klassificerats som en enda inrikes rutt.

I detta projekt har därför ruttdefinitionen ändrats så att samtliga fartygsstopp som sker inom en landspolygon räknas som start- och slutpunkter för rutter, oavsett om det skett innanför ett manöverområde eller ej. Landspolygonen är inte densamma som ett lands territorialgränser, utan är satt så nära kusten som möjligt för att inte av misstag ta med fartyg med tillfälliga driftstopp ute till havs. I figur 3 definieras numera samtliga punkter inom den lila landspolygonen som danska rutter, oavsett driftläge.

Detta ställer högre krav på landspolygonerna, som inte får vara för generöst tilltagna. För att undvika felaktiga ruttsättningar har polygonerna markerats genom att identifiera områden där fartyg brukar ligga till ankar, och undvika dessa. Fördelen är att vi helt eliminerat behovet av att identifiera Östersjöns alla hamnar och kajer. Figur 4 visar de nya landspolygonerna i Östersjön.



Figur 4: Samtliga fartyg som legat vid kaj (röda punkter) och till ankar (blå punkter) i Östersjön under 2015-05-01. De punkter som befinner sig innanför en landspolygon utgör start- och slutpunkter för Shipairs rutter, oavsett färg.

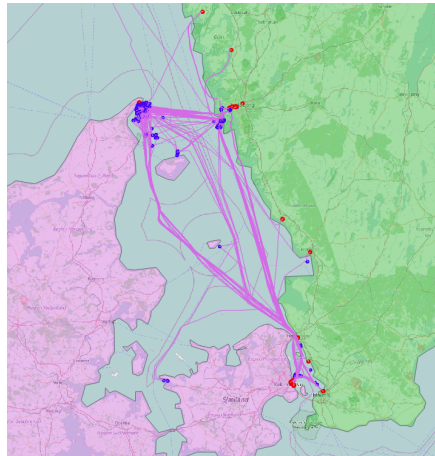
4.5 Identifiering och hantering av bunkringszoner

De flesta fartyg bunkrar i hamn, antingen från stationära bunkringstankar, från lastbilar eller från bunkringsfartyg. Många fartyg, speciellt i internationell trafik, bunkrar dock ute till havs med hjälp av ett bunkringsfartyg. Detta sker ofta i designerade bunkringszoner, där två kända är utanför Skagen och utanför Göteborg, men det kan i princip göras var som helst utmed Östersjökusten [Jivén et al., 2016]. Dessa bunkringsfartyg säljer inte nödvändigtvis bränsle från samma land som landet där bunkerzonen befinner sig.

En svaghet med modellering baserad på AIS-data är att det inte går att avgöra var ett fartyg har bunkrat någonstans. För beräkningarna kommer enbart inrikes rutter tas med i beräkningarna, men det kommer alltid att finnas en osäkerhet i huruvida ett fartyg använder svenskt eller utländskt bränsle för dessa rutter.

Med den uppdaterade ruttindelningen i föregående avsnitt så går det att med stor säkerhet identifiera de fartyg som rör sig i inrikes trafik. De fartyg som aldrig lämnar Sverige kan högst sannolikt sägas bunkra med svenskt bränsle. Det är dock inte lätt att kvantifiera osäkerheten som kommer från fartyg som angjort både svenska och utländska hamnar. Det finns för närvarande ingen metod i Shipair för att urskilja fartyg som gjort en inrikes rutt strax efter ett stopp i en utländsk hamn (där de kan ha bunkrat) från sådana som gjorde ett stopp i en utländsk hamn för att sedan göra upprepade inrikes rutter i följd (då de troligen bunkrat svenskt någonstans på vägen).

Ett sätt att få en uppfattning över osäkerheten i fartyg som gör inrikes rutter med utrikes bränsle är att identifiera fartyg som någon gång gjort ett besök till en bunkringszon. Eftersom bunkringszonerna Skagen och Göteborg befinner sig vid Östersjöns mynning är de populära bland fartyg som gör enstaka rutter i Östersjön innan de lämnar området igen. Bränsleförbrukningen från dessa skulle alltså vara en möjlig



Figur 5: Bunkerfartyget Ängöns rörelser under 2015. Driftlägena är färgkodade enligt: lila - cruise, grönt - manövrering, rött - vid kaj, blått - till ankar.

osäkerhetskälla till den totala bränsleförbrukningen från den inrikes trafiken.

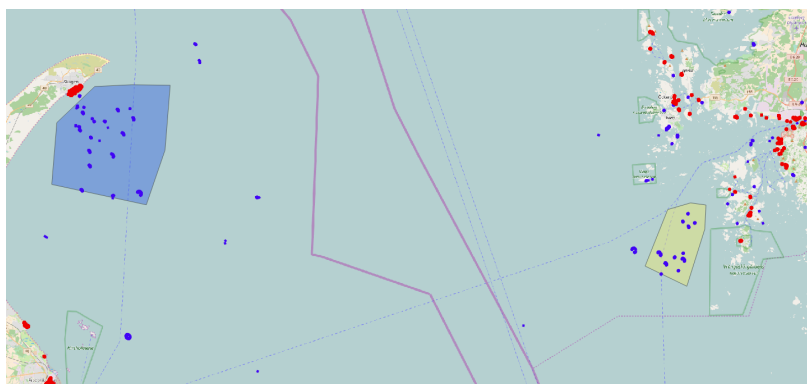
För att denna logik ska stämma behöver vi först identifiera ytterligare potentiella bunkringsområden utöver Skagen och Göteborg. Om det finns fler bunkringszoner, främst i Skagerrak och Kattegatt vid Östersjöns mynning, behöver dessa också inkluderas.

Identifieringen har gjorts delvis genom att hitta bunkringsfartyg och följa deras fartygsrörelser. Bunkerfartyg har ingen dedikerad fartygsklass, och det finns ingen publik databas tillgänglig över vilka som opererar i Östersjön. Ett tiotal fartyg kunde dock hittas genom att leta på kända bunkerredares webbsidor och från tidningsartiklar. I Figur 5 syns rörelserna från bunkerfartyget Ängön, som rör sig mellan bunkringszonerna utanför Skagen och Göteborg.

En andra metod har varit att studera samtliga fartyg i Östersjön under ett antal perioder under 2015. Vi har då kunnat identifiera områden genom att notera var fartyg tenderar att samlas. Detta kan dock inte vara det enda kriteriet, eftersom fiskefartygs rörelser eller konstruktionsarbeten till havs också kan leda till liknande hopklumpningar av stillastående fartyg. För varje identifierad fartygssamling har därför även rörelsemönster och identiteter studerats.

Sammantaget har vi enbart kunnat lokalisera ett fåtal bunkringszoner; utanför Skagen, Göteborg och Helsingfors samt inuti hamnområden där anløp redan registreras korrekt. Framförallt de två första är mycket välbesökta, och vi är av uppfattningen att om några andra zoner existerar så är de betydligt mindre än dessa två. Eftersom Helsingfors är så mycket mindre, och inte lika relaterad till svensk trafik som de första två, så har vi fokuserat på Skagen och Göteborg under detta projekt.

Dessa områden har därför markerats ut enligt samma metodik som landspolygonerna i föregående avsnitt, och det är på så sätt möjligt att filtrera ut och göra separata beräkningar för samtliga fartyg som besökt någon av dessa zoner. Bunkringszonerna är utmarkerade i figur 6.



Figur 6: Bunkringszonerna utanför Skagen (blått område) och Göteborg (gult område), och samtliga fartyg som legat vid kaj (röda punkter) och till ankar (blå punkter) i området under 2015-05-01.

5 Validering av modellen

Det har tidigare gjorts ett flertal insatser för att jämföra resultat från Shipair med oberoende data. I Eklund et al. [2011] jämfördes beräkningar av inrikes sjöfart och fiske med klimatdata rapporterat till UNFCCC och med modellresultat framtagna från Fiskeriverket. Segersson [2013] gjorde jämförelser med STEAM-modellen [Jalkanen and Johansson, 2014] och med nationell bränslestatistik, och Segersson [2014] gjorde jämförelse på individuell fartygsnivå.

Dessa arbeten har visat på en god förmåga för Shipair att hantera fartygsmodellering. Var och en för sig har dock jämförelserna under dessa projekt varit begränsade i sitt utförande, och det råder stora osäkerheter i vilka slutsatser som kan dras av en jämförelse mellan två olika modeller. Vi har därför valt att för detta projekt göra en mer systematisk och utförlig validering av modellresultaten.

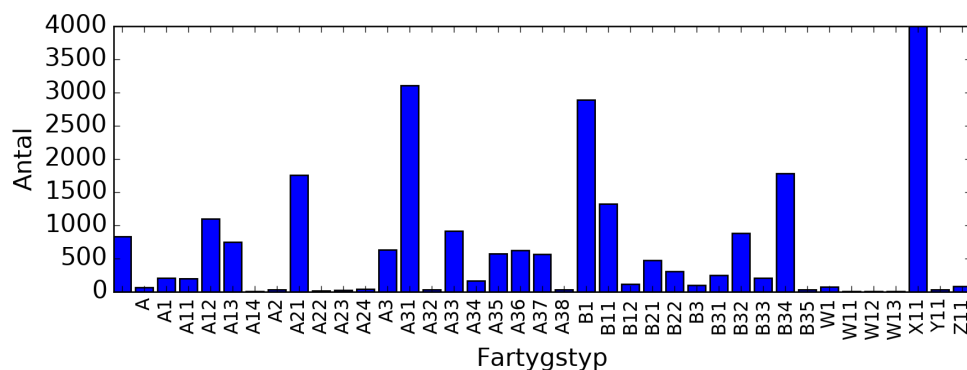
Eftersom det inte existerar några storskaliga, kvalitetskontrollerade försäljnings- eller förbrukningssiffror att jämföra mot så utförs valideringen i ett antal mindre delar. Grovt kan osäkerheterna delas in i följande kategorier:

Fartygspositioner. Noggrannheten i positioneringsdatan påverkar både förmågan att uppskatta energibehovet att ta sig mellan två punkter och förmågan att sätta korrekta rutter. Denna beror på noggrannheten i det installerade GPS-instrumentet och är generellt mycket hög med bara några meters osäkerhet. Här behöver ingen validering göras.

Fartygsegenskaper. Fartygsegenskaperna har stor påverkan på förmågan att uppskatta varje fartygs bränsleförbrukning. I avsnitt 5.1 undersöks kvaliteten på egenskaperna hos fartygspopulationen i Östersjön och hur fartyg med okända parametrar hanteras.

Förbrukningsmodellen. I avsnitt 5.2 studeras hur väl Shipair kan modellera enskilda fartyg under optimala omständigheter, då vi har god kännedom över deras egenskaper.

Avslutningsvis utförs i avsnitt 5.3 en storskalig jämförelse mellan Shipair och STEAM-modellen, som beror på kombinationen av fartygsegenskaper och förbrukningsmodell.



Figur 7: Fördelning av fartygstyper för samtliga fartyg i Östersjön 2015. Typ X11 (icke-kommersiella fartyg) är för läsbarhetens skull avklippt, och innehåller totalt 12 077 fartyg. Se appendix A för en förteckning över alla Statcode5-beskrivningar.

Beteckning	Antal Shipair	Andel Shipair	Antal STEAM	Andel STEAM
RoPax	623	1.9	295	1.4
Passenger Cruiser	122	0.9	93	0.4
Passenger Ferry	443	1.4	277	1.3
Service	4015	12.5	576	2.7
Cargo	5879	18.2	4153	19.2
Container	1080	3.4	832	3.8
Tanker	2246	7.0	1920	8.9
Fishing	4321	13.4	1111	5.1
Vehicle Carrier	403	1.3	293	1.4
Other	12077	37.5	10185	47.1
Unknown	831	2.6	1881	8.7
Totalt	32234	100	21616	100

Tabell 1: Jämförelse av antal fartyg per fartygskategori mellan Shipair och STEAM [Jalkanen and Johansson, 2016].

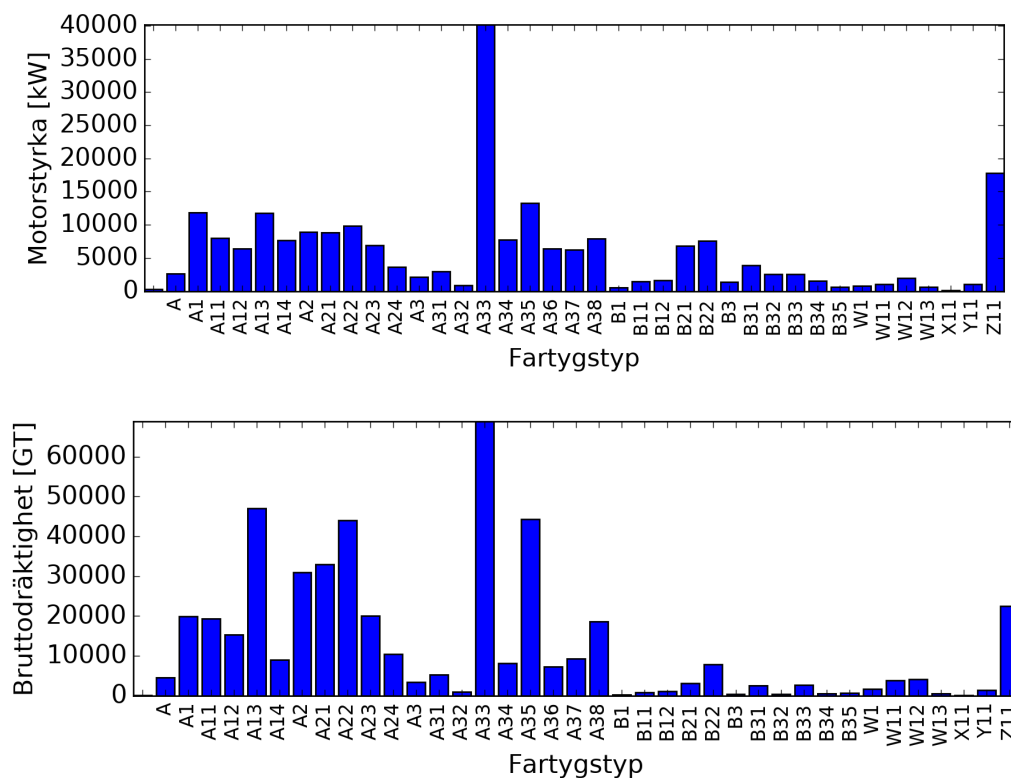
5.1 Fartygsegenskaper

I Shipairs fartygsdatabas finns totalt 32 248 fartyg registrerade i Östersjön under 2015. Motsvarande siffror för 2014 är 22 627 fartyg, och 17 465 flr 2013. Vi kommer i det här avsnittet att fokusera diskussionen på 2015 års data, men liknande studier har gjorts även för de de andra åren.

Orsaken till det markant högre antalet fartyg för 2015 är att databasen från och med detta år även registrerar fartyg med AIS-transponders av typ B, medan tidigare år enbart innehåller data från typ A-transponders. För 2015 finns 14 215 fartyg registrerade med typ B-transponder. De flesta av dessa är fritidsbåtar, men det förekommer även ett betydande antal fiskefartyg och kommersiella, mindre fartyg.

Från AIS-datan finns endast garanterat information om fartygets id via MMSI-numret. Många har även ett IMO-nummer angivet, och fartygstyp och bruttodräktighet är andra parametrar som kan anges. Dessa är dock osäkra, eftersom de fylls i manuellt i fritextfält av användaren, och högre prioritet ges därför till övriga fartygsdatabaser.

Av samtliga fartyg för 2015 kunde 12 452 hittas i IHS Fairplays databas. Exempel på viktiga parametrar är



Figur 8: Medelvärde av huvudmotorstyrka (överst) och bruttodräktighet (nederst) per fartygsklass för fartyg i Östersjön under 2015. Se appendix A för en förteckning över alla Statcode5-beskrivningar.

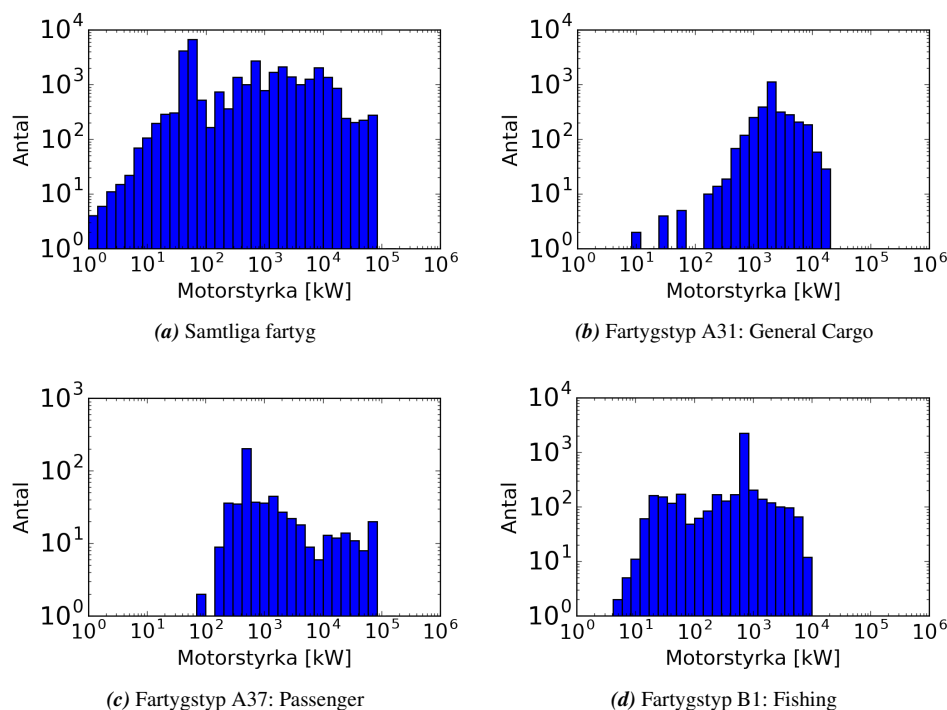
fartygstyp och antalet huvudmotorer, som samtliga hade angivna. 12 447 hade en angiven bruttodräktighet, 12 199 hade en angiven motorstyrka för huvudmotorn, 3 145 hade en angiven motorstyrka för hjälpmotorerna. 11 132 hade en angiven design speed.

För den nyligen implementerade användningen av ITU MARS-databasen (se avsnitt 4.1) hittades 22 404 fartyg under 2015. Utav dessa hade 21 333 en fartygsklass angiven och 9 503 en bruttodräktighet. Övriga parametrar är betydligt ovanligare, och inga fler har använts för detta projekt. Många av fartygen har ett överlapp och är kända både via IHS Fairplay och ITU MARS, men 12 494 fartyg kunde hittas enbart i den senare.

Samtliga fartyg med kända fartygsegenskaper och fartygstyper har sedan använts för att bygga upp statistik för de mallfartyg som använts för att fylla i de parametrar som saknats för varje fartyg (denna metodik är beskriven i avsnitt 4.2).

I figur 7 visas fördelningen i fartygstyp för fartyg i Östersjön under 2015. Samma statistik jämfört med STEAM-modellen finns också att läsa i tabell 1 med en annan typindelning.

STEAM sätter fartygsklasser med hjälp av IHS Fairplay enbart på de fartyg med känt IMO-nummer, medan Shipair även kompletterar med data från ITU MARS och AIS. Shipair använder även data för typ B-transpondrar. Resultatet är att databaserna skiljer sig åt både i antal och andel.



Figur 9: Fördelning av huvudmotorstyrka samtliga fartyg i Östersjön och för tre olika fartygstyper. De toppar som urskiljs för de enskilda fartygstyperna kommer parametrar satta med hjälp av mallfartygen.

Trots att Shipair innehåller nästan 50% fler fartyg så är antalet fartyg med okänd fartygstyp mindre än hälften än i STEAM. Antalet fiskefartyg är också nästan fyra gånger så högt, men även större fartygstyper som fraktfartyg och tankers är högre. Det kan konstateras att den förbättrade databashanteringen visar på stora förbättringar för Shipair jämfört med tidigare metodik.

I figur 8 visas medelvärdet av huvudmotorstyrka och bruttodräktighet per fartygsklass för fartyg i Östersjön. I figur 9 visas fördelningen av huvudmotorstyrkor för samtliga fartyg samt för tre olika fartygstyper.

Från dessa och liknande figurer går det att studera de fartygstyper som har störst påverkan på den totala bränsleförbrukningen per färdad sträcka, samt avgöra huruvida medelvärdet för en fartygstyp ger en representativ bild av hela fördelningen av värden i gruppen. Med denna metod kunde exempelvis ett problem för fiskefartyg identifieras som kom sig av hanteringen av mallfartyg (se avsnitt 4.2 för en diskussion om detta).

5.2 Jämförelse med individuella fartyg

För att se hur väl bränsleförbrukningsmodellen fungerar har en studie utförts på fartygsnivå. Ett antal fartyg har valts ut och modellerats enskilt, och resultaten har jämförts med kända förbrukningsvärden från mätningar. Under antagandet att vi har god kännedom om varje fartygs egenskaper går det på så sätt att utvärdera hur väl Shipair klarar av att modellera bränsleförbrukningen under optimala omständigheter.

De uppmätta förbrukningsvärdena har alla samlats in ombord på fartygen. Mellan varje tank och motor sitter

en flödesmätare som med god noggrannhet kan mäta bränsleförbrukningen mellan två tidpunkter. Mätdata samlas sedan in och rapporteras antingen automatiskt eller manuellt, timvis eller dygnsvis.

Vi har i denna studie varit i kontakt med Stena Teknik, som har försett oss med tidsserier av bränsleförbrukningsvärden för två av deras fartyg från 2015. Värden för ytterligare tre fartyg har extraherats för 2015 av SMHIs sjöfartsavdelning med hjälp av verktyget Fleetweb [Andersson, 2017]. Detta har kompletterats med årsförbrukningsvärden för ytterligare sex Stena Line-färjor från 2009 som tidigare publicerats av Segersson [2014].

Fartygen som valts ut har alla god täckning i Shipairs fartygsdatabas. Stena-fartygen är alla färjor med regelbundna rutter, medan fartygen extraherade från Fleetweb gjort oregelbundna färder mellan hamnar i Östersjön. Fartygen som modellerats under 2015 har alla använts rakt av från databasen som skapats och uppdaterats under detta projekt, utan någon finjustering av parametrarna. Eftersom flera av fartygen från 2009 har modifierats eller tagits ur tjänst från Östersjön har istället en äldre databas använts för dessa.

I figur 10 och 11 visas en timvis jämförelse mellan uppmätta och modellerade värden under en tvåveckors-period för fartygen Stena Spirit och Stena Vision. Denna detaljerade mätdata har gett en unik möjlighet att utvärdera hur Shipair klarar av att modellera bränsleförbrukningen under olika driftförhållanden.

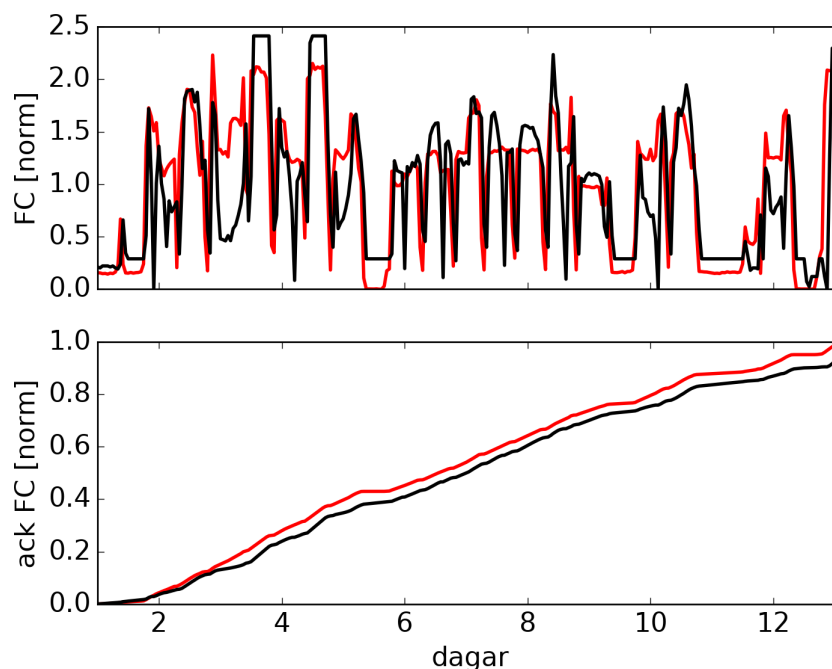
Från dessa figurer går det tydligt att se hur väl Shipair presterar. De modellerade värdena följer noggrant fartygens aktivitetscykler; dalar när fartyget befinner sig i hamn och toppar när fartyget befinner sig i cruise-läge.

I figur 10 följer modellen de uppmätta värdena extremt väl även i absoluta värden. Topparna reproduceras ofta inom några få procent. Dessa motsvarar när fartyget ligger i cruise-läge, då den allra största delen av förbrukningen utgörs av huvudmotorerna. Det är i detta läge som ungefär 90% av den totala förbrukningen sker. Dalarna motsvarar när fartyget ligger i hamn och enbart hjälpmotorer och värmepannor är igång för att förse fartyget med elektricitet och värme. Här görs en systematisk överskattning av modellen, vilket dock bara ger ett fel på ungefär 1% av totalförbrukningen under perioden.

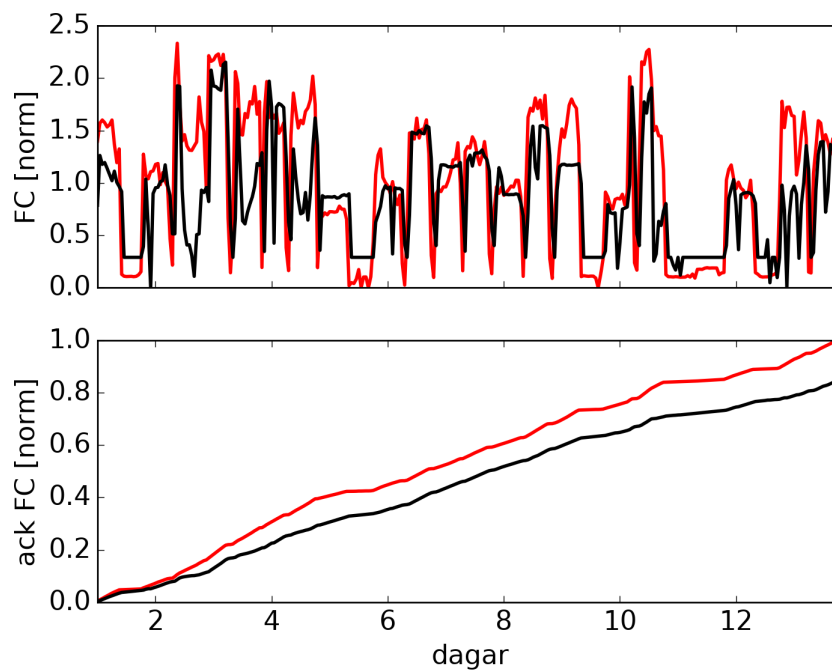
Eftersom Shipair-modellen gör en förenkling av verkligheten går det givetvis inte att helt reproducera mätdata. Under exempelvis dag 10 och 12 syns ett par missade toppar som inte kan förklaras inom ramen för den nuvarande modellen. I den ackumulerade bränsleförbrukningen följer dock kurvorna varandra väl, med bara en liten förskjutning. Efter periodens slut gör modellen en underskattning av totalförbrukningen med endast 6%.

I figur 11 syns något större skillnader mellan modell- och mätvärden än i föregående exempel. Här görs liksom tidigare en överskattning av dalarna, men också en tydlig underskattning av topparna. Detta orsakas sannolikt av skillnader mellan angivna fartygsparametrar i databasen och verkliga parametrar. Eftersom det resulterande effektuttaget är starkt beroende av motorns designhastighet så kan även små fel resultera i stora skillnader vid cruise-läge. Utslaget på flera fartyg tar sådana fel generellt ut sig, när vissa fartygs designhastighet överskattas och vissa underskattas, men på fartygsnivå kan det bli betydande. Trots detta syns i den ackumulerade bränsleförbrukningen bara en skillnad på 15% vid periodens slut.

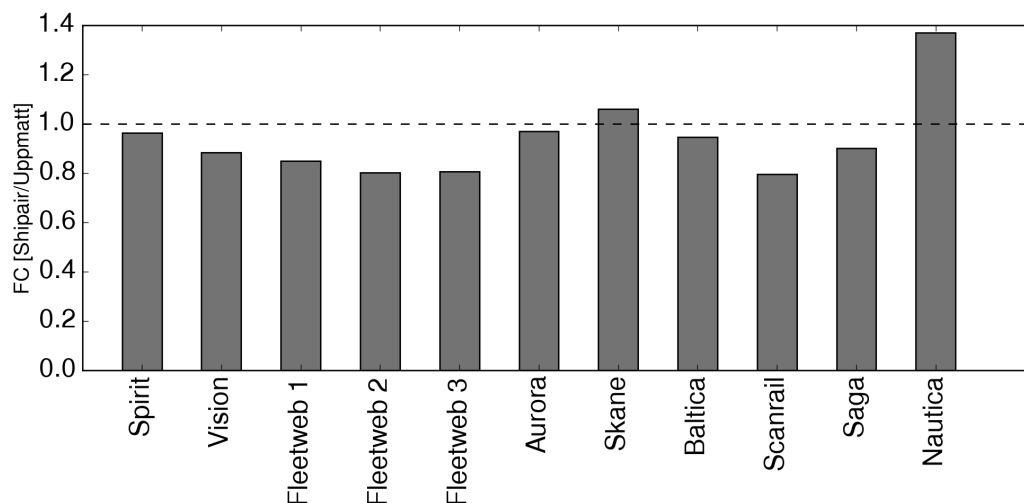
I figur 12 visas den ackumulerade bränsleförbrukningen för samtliga fartyg. Fartygen under 2015 har modellerats under upp till en månads drift per fartyg och fartygen under 2009 har modellerats under ett helt



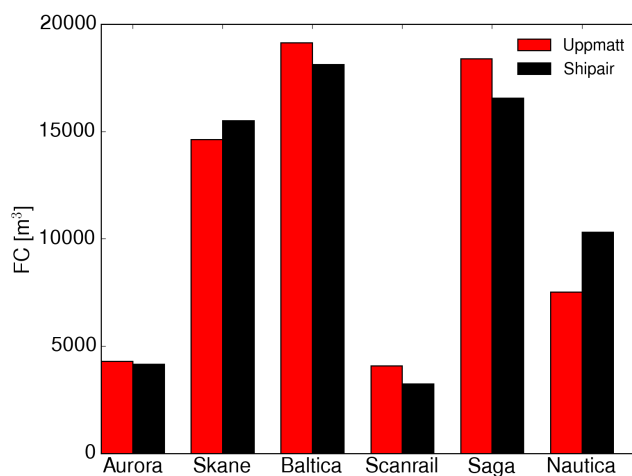
Figur 10: Bränsleförbrukning över en tvåveckors-period av Stena Spirit för valideringsdata (röd) och Shipair (svart). Figuren visar bränsleförbrukning per timme som av sekretessskäl är normaliserad på valideringsdatans medelvärde (överst) och ackumulerad bränsleförbrukning normaliserad på den totala förbrukningen (nederst).



Figur 11: Bränsleförbrukning över en tvåveckors-period av Stena Vision. Se figur 10 för ytterligare information.



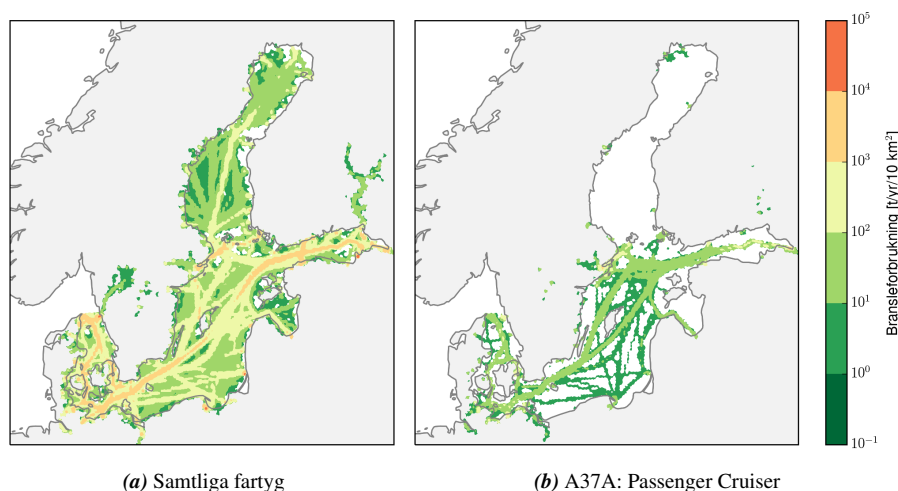
Figur 12: Den totala bränsleförbrukningen under två till fyra veckors drift för fem fartyg under 2015 (Spirit-Fleetweb3) samt årsförbrukningen för sex Stena Line-färjor under 2009 (Aurora-Nautica). Det modellerade värdet är normerat efter den uppmätta förbrukningen.



Figur 13: Den uppmätta och modellerade totala bränsleförbrukningen för 2009 för sex Stena Line-färjor.

år. Resultaten har sedan av sekretessskäl normaliserats efter de uppmätta värdena under samma period. I figur 13 har en liknande jämförelse gjorts för de sex Stena Line-fartygen från 2009. Här visas totalförbrukningen under hela året.

Dessa jämförelser visar på goda resultat för Shipair-modellen. Modellen visar på osäkerheter på 10-20%. Störst fel görs för Stena Nautica. Detta är sannolikt på grund av diskrepanser mellan faktiska och rapporterade fartygsegenskaper, och visar på vikten av korrekta sådana uppgifter. Bortsett från Stena Nautica är de största felen i regel för de fartyg som följts under kortast tid och som inte följer regelbundna färjerutter utan gått mellan flera olika hamnar i Östersjön. Dessa är svårast för modellen att hantera, eftersom väderförhållanden som motvind och vågor då inte får en chans att jämnas ut sig som för färjor som gör samma rutter



Figur 14: Bränsleförbrukning modellerad av Shipair för samtliga fartyg och för enbart Passenger Cruisers under fyra två-veckorsperioder under 2015. Den totala årsförbrukningen är 4 530 kton respektive 175 kton.

varje dag. Dessa enstaka rutter är dock heller inte lika viktiga för förbrukningen från fartygspopulationen i stort, utan dessa domineras av bara ett fåtal fartyg i färjeleder (se avsnitt 6).

Segersson [2014] har tidigare gjort en känslighetsanalys, där ett antal fartygsparametrar varierades för ett fartyg efter uppskattade osäkerheter i varje parameter. Resultatet och osäkerheten i förbrukningen studerades sedan för varje parameter, och totalt visades på en inbyggd osäkerhet i systemet på 10%. Detta stämmer väl överens med ovanstående resultat.

5.3 Jämförelse med STEAM

Avslutningsvis har även en storskalig jämförelse gjorts mellan Shipair och STEAM-modellen [Jalkanen and Johansson, 2014] för 2015. Denna ger en sammanfattning av hur väl modellen hanterar bränsleförbrukningen för en hel fartygspopulation, vilket blir ett test för det sammanslagna hanteringen av fartygsegenskaper från kända fartyg, mallfartyg och förbrukningsmodellering.

STEAM-modellen har valts att jämföra mot eftersom den har publicerade resultat med samma geografiska täckning som detta projekt och är en erkänd och beprövad modell med applikationer både i Östersjöregionen och globalt.

Eftersom modellering med över 30 000 fartyg är extremt tidskrävande går det inte inom ramen för detta projekt att göra en beräkning för hela året. Istället har fyra två-veckorsperioder valts ut för att representera fartygstrafiken under varje årstid; mitten av januari, april, juli och oktober. Detta har under tidigare studier visats ge en mycket god representation av årsmedelvärdet. Modellområdet har justerats till att exakt motsvara modellområdet från Jalkanen and Johansson [2016].

I figur 14 visas den geografiska fördelningen av bränsleförbrukningen. De största farlederna syns tydligt, med den allra största från Finska viken genom Öresund och med mycket trafik utanför Göteborgs hamn.

Summerat över året finner vi en bränsleförbrukning på 4 530 kton, vilket kan jämföras med 4 970 kton för STEAM-modellen [Jalkanen and Johansson, 2016]. Vi har även gjort en separat beräkning enbart för fartyg av typen A37A: Passenger Cruiser, och får en årlig bränsleförbrukning på 175 kton från 122 fartyg, jämfört med 135 kton från 93 fartyg för STEAM-modellen.

Den totala årsförbrukningen understiger den i STEAM med 10%, trots att Shipairs databas innehåller 10 000 fler fartyg, vilket tyder på en systematisk underskattning av Shipair-modellen jämfört med STEAM. Samtidigt visar jämförelsen för Passenger Cruise-fartygen på en genomsnittlig förbrukning på 1.43 kton per fartyg jämfört med 1.45 kton per fartyg för Shipair respektive STEAM.

Diskrepansen har troligen flera anledningar. Att de extra fartygen inte påverkar mer är sannolikt att de flesta av dessa kommer från B-transponders, som mest används av små båtar i fritidssyfte. Deras totala bränsleförbrukning förväntas då bli mycket liten jämfört med den kommersiella trafiken.

Samtidigt visar jämförelsen av fartygstantal i tabell 1 på fler fartyg för Shipair än för STEAM även i många andra kategorier, vilket kräver ytterligare förklaring. I avsnitt 4.2 beskrevs hur grovt felrepresenterande fartygsmallar för bland annat fiskefartyg motiverade en ändring i hanteringen av mallfartyg. Istället för medelvärden av parametrar för kända fartyg används nu istället medianen, vilket resulterat i betydligt lägre värden på många parametrar för många fartygstyper. Hur detta hanteras i STEAM är för oss okänt, men om de använder medelvärden eller liknande så förväntar vi oss också att se lägre förbrukningsvärden för Shipair. Detta skulle också förklara de liknande resultaten för Passenger Cruisers, där de flesta fartygen är kända i IHS Fairplay och fartygsmallen då inte blir lika välanvänd.

I slutändan är det svårt att jämföra två modeller, eftersom ingen av dem representerar den absoluta sanningen, men skillnaden som framträtt här är inte orimlig.

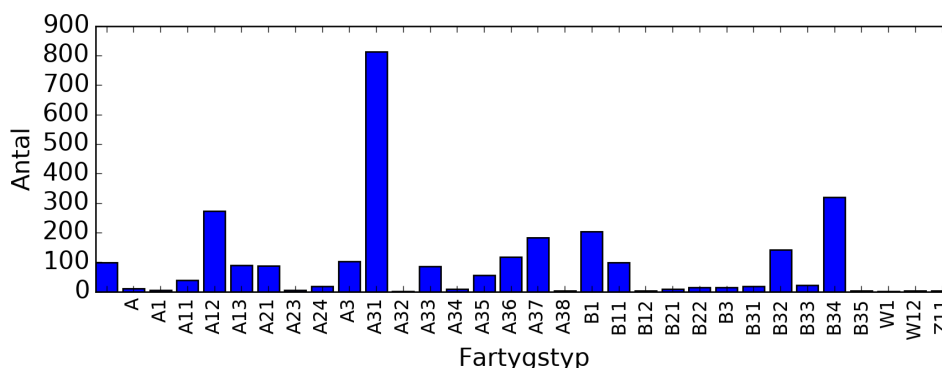
6 Beräkning av inrikes bränsleförbrukning

För att beräkna bränsleförbrukningen från den svenska inrikes trafiken har en separat databas extraherats för varje år, innehållandes fartyg som någon gång under året gjort minst en inrikes rutt. Det definieras som en färd mellan två svenska hamnar utan något stopp inom ett annat lands gränser. Fritidsbåtar och militära fartyg ingår inte i Energimyndighets statistik, och har därför sorterats bort.

På grund av tidsupplösningen i AIS-datan så riskerar fartygstrafik som enbart angör utländska eller inhemska hamnar under några få minuter att missas att registreras. Detta noterades vara fallet för ett par färjelinjer över Öresund, som togs bort manuellt.

Antalet fartyg i databasen är 2 837 för år 2015, 2 388 för år 2014 och 2 548 för 2013. Att år 2015 inte skiljer sig mer åt beror på att de flesta fartygen med B-transponder är fritidsbåtar som blivit bortsorterade, men det kvarstår fortfarande en ökning på 300 fartyg jämfört med föregående år. I figur 15 finns en sammanställning av fartygen för 2015 års databas. Jämfört med fartygen i hela Östersjön så har antalet General Cargo-fartyg gjort en stor relativ ökning till 29% av alla fartyg, medan andelen fiskefartyg minskat rejält.

För år 2015 finns det 99 fartyg med helt okända egenskaper, där till och med fartygstypen är okänd. Eftersom dessa då inte kan associeras med något mallfartyg tas de inte med i beräkningarna. Dessa handlar dock mest sannolikt om fritidsbåtar som inte finns med i någon fartygsdatabas, och skulle troligen ändå ha mycket



Figur 15: Fördelning av fartygsklasser för samtliga fartyg i inrikestrafik 2015. Fritidsbåtar och militärfartyg har filtrerats bort. Se appendix A för en förteckning över alla Statcode5-beskrivningar.

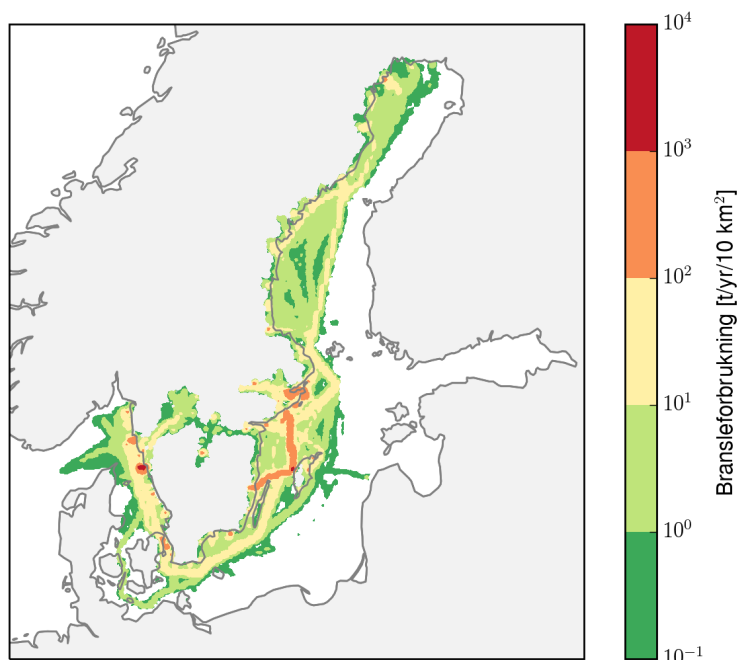
liten påverkan på totalförbrukningen. För ungefär 900 fartyg är bara fartygstyp och bruttodräktighet känd, och resten av parametrarna kommer då ifrån mallfartyg. För de resterande 1800 fartygen är dock de flesta parametrarna kända.

Beräkningarna sparas med timvis upplösning och aggregeras sedan till månadsvärden. Ett fåtal perioder har noterats sakna AIS-data helt, antingen på grund av problem med Sjöfartsverkets insamling från HELCOM eller med Shipairs insamling från Sjöfartsverket. Med ett undantag är detta avbrott på enbart några få timmar i taget, och kan utan problem korrigeras för under beräkningen av månadsförbrukningen. Under november 2015 skedde dock ett längre uppehåll i samband med serverproblem på SMHIs insamlingsserver. Denna månad uteblir därför ur statistiken, men korrigeras för i årsstatistiken.

I figur 16 visas den geografiska fördelningen av den inrikes bränsleförbrukningen under 2015. Särskilt intensiva är färjelederna till Gotland samt inloppen till Göteborgs och Stockholms hamnar där många fartygsleder samlas. De fartyg som syns trafikera Skagerrak och östra Nordsjön har identifierats som fiskefartyg och klassificeras alltså korrekt som inrikes trafik.

I figur 17 sammanfattas den modellerade månadsvisa bränsleförbrukningen med försäljningssiffrorna för bunkerolja avsedd för fartyg i inrikes trafik (se Appendix B för jämförelse i tabellform). De två kurvorna följer tydligt samma mönster, med starka toppar under sommarmånaderna och en lägre, relativt jämn förbrukning under resten av året. Toppen för sommarhalvåret 2015 är dock enbart synlig i den modellerade datan. De modellerade värdena är dock förskjutna med ungefär 5 000 m³ bränsle per månad.

För att få en uppfattning av osäkerheterna i vårt antagande att den totala inrikes förbrukningen skett på bränsle bunkrat i Sverige görs ytterligare två beräkningar där vi enbart tar med inrikes rutter för fartyg som någon gång gjort bunkrat i bunkringszonen utanför Göteborg eller utanför Skagen. Antalet fartyg som under 2015 gjort minst ett besök till Göteborgs bunkringszon är 416, och motsvarande siffra för Skagens bunkringszon är 624. Av dessa har 201 fartyg gjort besök i båda zonerna och räknas därmed dubbelt i beräkningarna. Dessa siffror kan jämföras med 2 837 fartyg totalt i inrikes trafik. Resultatet från beräkningarna visas i figur 17, och ger förbrukningar på mellan 1 000 och 3 000 m³ per månad, motsvarandes 10-13% av totalförbrukningen. Dessa värden ska dock ses som absoluta maxvärden, eftersom det räcker



Figur 16: Bränsleförbrukning från inrikes rutter under 2015. Notera den logaritmiska färgskalan.

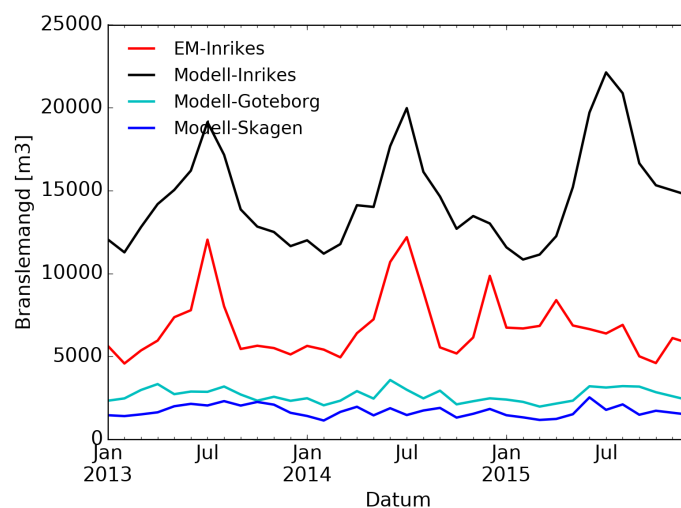
Månad	Modell-Inrikes [m ³]	EM-Inrikes [m ³]	EM-Internationell [m ³]
2013	168725	78477	1809226
2014	170738	88162	1948364
2015	185921	76981	2085574

Tabell 2: Årsvis modellerad bränsleförbrukning jämfört med försäljningsstatistik för inrikes och internationellt bruk.

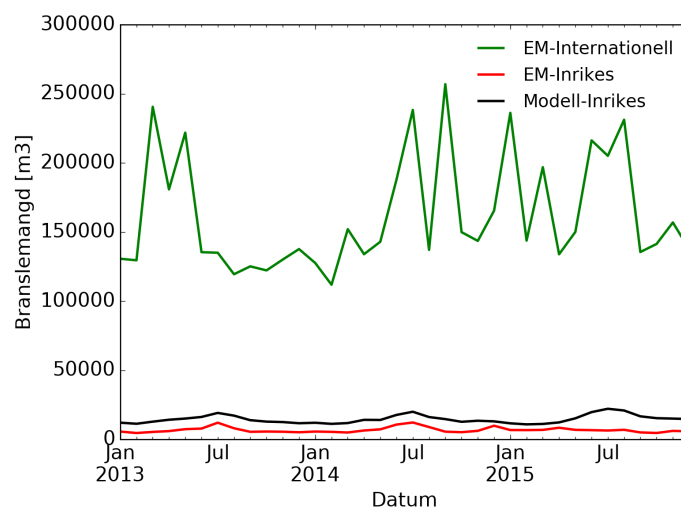
med ett enda besök i en bunkerzon för att räknas in, oavsett hur många svenska rutter som fartyget gjort under året.

Förskjutningen mellan den modellerade förbrukningen och försäljningssiffrorna syns också tydligt i tabell 2, som jämför den totala årsstatistiken. Den modellerade förbrukningen ger siffror som är ungefär dubbelt så höga som den rapporterade inrikesförsäljningen. Jämfört med de stora volymerna för den totala försäljningen (för inrikes + internationellt bruk) ter sig skillnaderna dock inte lika stora. Den rapporterade inrikes försäljningen motsvarar enbart 4% av den totala försäljningen, och den modellerade inrikes förbrukningen skulle motsvara ungefär 8% av den totala försäljningen. Detta blir också tydligt i figur 18, där de inrikes siffrorna jämförs med de internationella.

För att ytterligare undersöka rimligheten i den modellerade förbrukningen identifieras i figur 16 färjelederna mellan Gotland och fastlandet som särskilt intensiva rutter. Vi har valt ut och gjort särskilda beräkningar för fyra färjor i linjetrafik på dessa rutter. Samtliga av dessa färjor har god täckning i IHS Fairplay-databasen, och även om inga uppmätta värden finns tillgängliga så visar avsnitt 5.2 att förmågan att modellera sådana fartyg är god.



Figur 17: Månadsvis inrikes bränsleförbrukning för 2013-2015 jämfört med försäljningssiffror för bunkerolja avsedd för inrikes bruk.



Figur 18: Månadsvis inrikes bränsleförbrukning för 2013-2015. Värdena för inrikes trafik är identiska med figur 17, och visas här i relation till försäljningssiffror för bunkerolja avsedd för internationellt bruk.

Totalt beräknas en förbrukning på drygt 60 000 m³ under 2015. Under januari uppskattas förbrukningen till nästan 4 000 m³, och under juli cirka 9 000 m³. Enbart ökningen från dessa fyra färjor under sommarhalvåret är nog för att förklara stora delar av topparna i figur 17, och förbrukningen under sommaren 2015 överstiger den totala försäljningssiffran för inrikes bruk. Årsförbrukningen motsvarar 32% av den totala modellerade inrikes trafiken, och hela 78% av den rapporterade inrikes försäljningen.

7 Diskussion

Sammanfattningsvis har vi under projektet utvecklat Shipair för att kunna hantera modellering av inrikes bränsleförbrukning, och vi har utfört ett antal valideringssteg för att försäkra oss om att modellen fungerar väl.

Vi har visat på stora diskrepanser med försäljningsstatistiken, där den modellerade bränsleförbrukningen baserad på AIS-data uppskattar dubbelt så stora volymer som de inrapporterade försäljningssiffrorna för inrikes bruk. Under sommarhalvåret 2015 syns en ökning i modellerad förbrukning som helt uteblir i den inrapporterade försäljningen. Denna ökning går att förklara med enbart ökningen i trafik från fyra färjor i linjetrafik till Gotland.

Samtidigt har valideringen visat på tendenser för Shipair att göra en viss underskattning av förbrukningen, både från jämförelser med individuella fartyg och möjligen också på större skala i jämförelser med STEAM-modellen. I det senare fallet är det dock osäkert.

I en jämförelse mellan modellerade och uppmätta tidsserier syns en systematisk överskattning av bränsleförbrukningen för fartyg i hamn. Eftersom denna förbrukning kommer från hjälpmotorer och/eller värmepannor där mycket lite data finns tillgänglig så används enklare schablonvärden. Dessa kan nu baserat på ovanstående data uppdateras för relevanta fartygstyper.

Tidsserierna visar också på en möjlig underskattning av bränsleförbrukningen för fartyg under cruise. En orsak till detta kan vara att Shipair bortser från motståndet från oceanografiska och meteorologiska fenomen som vågor, vindar och havsströmmar. Sådana omständigheter går dock att ta hänsyn till i viss mån [Jalkanen and Johansson, 2014], och en korrektion skulle kunna göras relativt enkelt för Shipair genom att införa motståndet under "medelväderförhållanden".

I det här projektet har vi helt bortsett från indelning i olika bränsletyper. Det kommer aldrig att gå att lösa helt korrekt med modellering baserad på AIS-data. Det är i modellen möjligt att sätta schablonvärden för användning per bränsletyp för varje fartygstyp, och det skulle gå att sätta användning efter geografiska områden, exempelvis i hamnområden. Intervjuer med sjöfartskaptener och andra i branschen skulle också kunna ge extra information om bränsleanvändningen i allmänhet, och även ge svar på huruvida en schablonmässig hantering är en realistisk lösning på problemet. Om data kan erhållas för de viktigaste färjelinjerna skulle denna kunna appliceras i modellen, något som skulle ge stort utslag på de totala förbrukningsvärdena av varje bränsletyp.

Ett möjligt nästa steg för att ytterligare utveckla Shipair-modellen för att användas i detta syfte skulle kunna vara att göra en detaljerad jämförelse för ett antal viktiga fartyg i inrikes trafik. En sådan jämförelse, i stil med vad som gjorts i avsnitt 5.2 kombinerat med en kalibrering för varje enskilt fartyg, skulle kunna ge ytterligare förbättringar i modellen för en relativt liten arbetsinsats.

Vår uppfattning är att de stora systematiska avvikelserna inte kan komma enbart ifrån några enstaka viktiga fartyg utan även från ett antal mindre fartyg där administrationen från försäljningsformulären är för svårhanterlig.

Avslutningsvis har vi under valideringen funnit Shipair hålla en hög kvalitet och vara kapabel till att

modellera den inrikes trafiken. Den skulle vara ett mycket effektivt komplement för att förbättra försäljningsstatistiken.

Referenser

- K. Andersson. Fleetweb. www.smhi.se/en/services/professional-services/shipping/fleetweb-1.7063, 2017.
- V. Eklund, M. Lidén, C. Asker, and D. Segersson. Emissions from navigation and fishing including international bunkers. *SMED Report No 129*, 2011.
- J-P Jalkanen and Lasse Johansson. Emissions from Baltic Sea shipping in 2013. www.helcom.fi/baltic-sea-trends/environment-fact-sheets/maritime-activities/emissions-from-baltic-sea-shipping, 2014. HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheets. Online.
- J-P Jalkanen and Lasse Johansson. Emissions from Baltic Sea shipping in 2015. www.helcom.fi/baltic-sea-trends/environment-fact-sheets/maritime-activities/emissions-from-baltic-sea-shipping, 2016. HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheets. Online.
- A. Jivén, T. Renhammer, S. Sköld, and L. Styhre. Sjöfartens energianvändning - hinder och möjligheter för omställning till fossilfritt. *Koucky & Partners*, 2016.
- S. Rahm. The costly future of green shipping. *Schroders*, 2015.
- David Segersson. A dynamic model for shipping emissions. adaptation of Airviro and application in the Baltic Sea. *SMHI Meteorologi*, 153, 2013.
- David Segersson. Technical assistance for control of ship-sourced emissions - Advanced user manual. *TR2010/0314.02/02/001-Technical Assistance for control of ship-sourced emissions*, 2014.
- T. W. P. Smith, J. P. Jalkanen, B. A. Anderson, J. J. Corbett, J. Faber, S. Hanayama, E. O’Keeffe, S. Parker, L. Johansson, L. Aldous, C. Raucci, M. Traut, S. Ettinger, D. Nelissen, D. S. Lee, S. Ng, A. Agrawal, J. Winebrake, M. Hoen, S. Chesworth, and A. Pandey. Third imo ghg study. *IMO*, 2014.
- F. Windmark, M. Jakobsson, D. Segersson, and C. Andersson. Underlag till uppskattning av marginalkostnader för svensk sjöfart. *SMHI Rapport nr 2016/30*, 2016.

Appendix

A Appendix - Statcode5

Statcode5	Beskrivning	Statcode 5	Beskrivning
A	Cargo Carrying	B	Work Vessel
A1	Tankers	B1	Fishing
A11	Liquefied Gas	B11	Fish Catching
A12	Chemical	B12	Other Fishing
A13	Oil	B21	Offshore Supply
A14	Other Liquids	B22	Other Offshore
A2	Bulk Carriers	B3	Miscellaneous
A21	Bulk Dry	B31	Research
A22	Bulk Dry/Liquid	B32	Towing/Pushing
A23	Self Discharging Bulk Dry	B33	Dredging
A24	Other Bulk Dry	B34	Other Activities
A3	Dry Cargo/Passenger	B35	Other Activities
A31	General Cargo	W	Non Seagoing Merchant Ships
A32	Passenger/General Cargo	W1	Inland Waterways
A33	Container	W11	Inland Waterways Tanker
A34	Refrigerated Cargo	W12	Inland Waterways Dry Cargo/Passenger
A35	Ro-Ro Cargo	W13	Inland Waterways Other Non Seagoing
A36	Passenger/Ro-Ro Cargo	X	Non Merchant
A37	Passenger	X11	Non Merchant Ships
A38	Other Dry Cargo	Y	Non Propelled
		Y11	Non Propelled
		Z	Non Ship Structures
		Z11	Platform

Tabell 3: Förklaring av de översta tre Statcode5-nivåerna med fartyg i Östersjön.

B Appendix - Månadsvis bränslestatistik

Månad	Modell-Inrikes [m ³]	EM-Inrikes [m ³]	EM-Internationell [m ³]
2013-01	12055	5639	130716
2013-02	11278	4575	129590
2013-03	12803	5363	240693
2013-04	14189	5957	180930
2013-05	15042	7366	221965
2013-06	16207	7789	135466
2013-07	19132	12043	135057
2013-08	17162	8023	119499
2013-09	13867	5450	125196
2013-10	12831	5645	122279
2013-11	12506	5505	130130
2013-12	11653	5122	137705
2014-01	12004	5636	127607
2014-02	11200	5412	111884
2014-03	11775	4947	152099
2014-04	14120	6403	134010
2014-05	14017	7239	142991
2014-06	17681	10696	188119
2014-07	19975	12192	238408
2014-08	16133	8908	137130
2014-09	14648	5547	257049
2014-10	12699	5179	149967
2014-11	13467	6145	143627
2014-12	13019	9858	165473
2015-01	11581	6738	236293
2015-02	10845	6687	143846
2015-03	11144	6842	196949
2015-04	12255	8396	133948
2015-05	15210	6866	150082
2015-06	19712	6648	216353
2015-07	22129	6385	205194
2015-08	20875	6904	231313
2015-09	16650	5009	135574
2015-10	15324	4601	141424
2015-11	NaN	6110	156965
2015-12	14703	5795	137633

Tabell 4: Månadsvis modellerad bränsleförbrukning jämfört med försäljningsstatistik.



Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut
601 76 Norrköping
Tel. +46 11 – 495 8000 Fax +46 11 – 495 8001