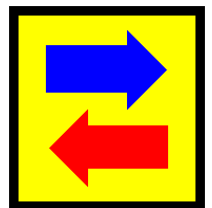


Στατιστικά στοιχεία εκπομπών CO₂ για τον παγκόσμιο εμπορικό στόλο

Χαρίλαος Ν. Ψαραύτης
Χρήστος Α. Κοντόβας
Εργαστήριο Θαλασσίων Μεταφορών
Σχολή Ναυπηγών-Μηχανολόγων Μηχανικών
ΕΜΠ



Η εργασία

- Βασίζεται σε πρόσφατη μελέτη που εκπόνησε το Εργαστήριο Θαλασσίων Μεταφορών του ΕΜΠ για λογαριασμό του Ναυτικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΝΕΕ)
 - **WEB TOOL & calculator (OXI)**
 - **Ανάλυση εκπομπών CO₂ παγκόσμιου στόλου (ΝΑΙ)**

Υπόβαθρο

ΠΡΑΣΙΝΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ:

- Πολύ ψηλά στην agenda του IMO
- Το ίδιο για ΕΕ & πολλές χώρες
- Προτεραιότητα: Μείωση εκπομπών καυσαερίων



Είδη εκπομπών



- Αέρια θερμοκηπίου-GHG (κυρίως CO₂, αλλά επίσης CH₄ και άλλα)
- υπόλοιπα (κυρίως SO₂, αλλά επίσης NO_x και άλλα)

Πρωτόκολλο του Kyoto

- United Nations Framework Convention on Climate Change -UNFCCC (1997)
- Επείγοντα μέτρα για μείωση των εκπομπών CO₂ είναι αναγκαία για την αναστροφή του προβλεπόμενου ρυθμού αύξησης GHG ανά τον κόσμο.
- Η ναυτιλία ΔΕΝ έχει μέχρι στιγμής περιληφθεί στους στόχους μείωσης εκπομπών CO₂ και άλλων GHGs σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Kyoto
- Αποφάσεις έχουν ληφθεί για SO_x και για NO_x.

Τεχνικός κώδικας NOx (ΙΜΟ)

- Θεσπίζει όρια εκπομπών (gr/kWh) συναρτήσει των στροφών της μηχανής
- Κανονισμοί για νέες + παλιές μηχανές

SOx

- Η ΜΕΡC 58 (Οκτ. 2008) ομόφωνα υιοθέτησε την αναθεώρηση των κανονισμών της MARPOL (Παράρτημα VI).
- Μείωση εκπομπών (SOx) από τα πλοία, αρχικά σε 3.50%, από 1 Ιαν. 2012
- Και μετά σταδιακά στο 0.50 %, από 1 Ιαν. 2020

Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών Θείου (Sulphur Emissions Control Areas): SECAs

- Βαλτική, Βόρεια Θάλασσα & Μάγχη
- «Τοπικές» πολιτικές
- Μέγα θέμα: Πως να μειωθεί το SO₂
- Διάφορα μέτρα



Αέρια θερμοκηπίου

- Αρκετή προεργασία
- Διιστάμενες απόψεις περί του πρακτέου
- Καμμία απόφαση για κανονισμούς μέχρι στιγμής

Τέλος εποχής

- Εποχή απουσίας κανονισμών για τα GHG στη ναυτιλία πλησιάζει στο τέλος της
- Μέτρα αναζητούνται επείγοντως
- Εστίαση στο CO₂
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή προς IMO: Αποφασίστε τώρα, αλλιώς θα αποφασίσουμε εμείς!

Πιθανά μέτρα

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ

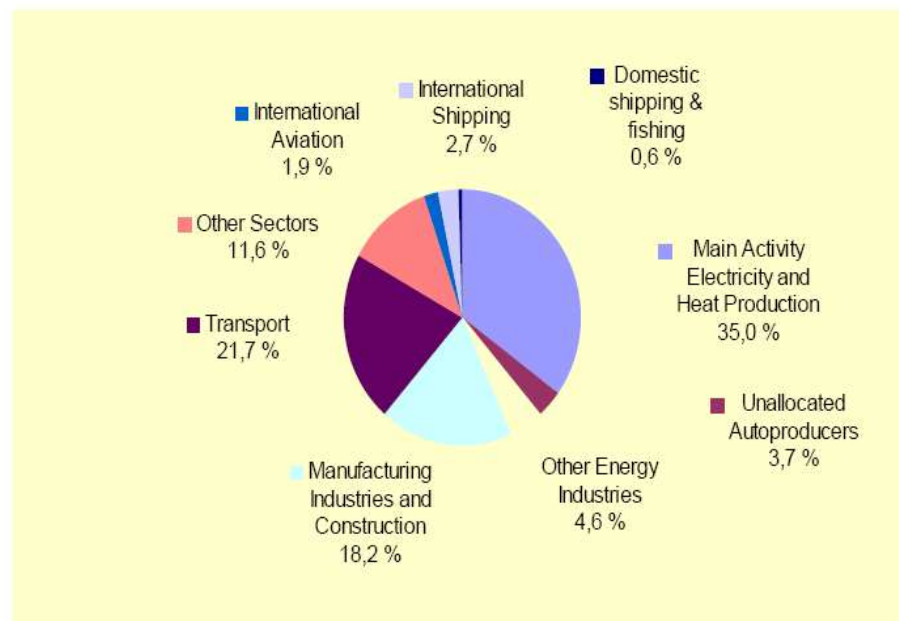
- Καλύτερες μηχανές
- Καλύτερες γάστρες για μικρότερη αντίσταση
- Καλύτερα συστήματα πρόωσης
- “Cold ironing” στα λιμάνια
- Εναλλακτικά καύσιμα (fuel cells, biofuels, etc)
- Άλλες τεχνολογίες

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ

- Μείωση ταχύτητας
- Βέλτιστο routing
- Άλλα, σχετικά με τα logistics (πχ, λιγότερα, μεγαλύτερα πλοία, σχεδίαση δικτύου, κλπ)

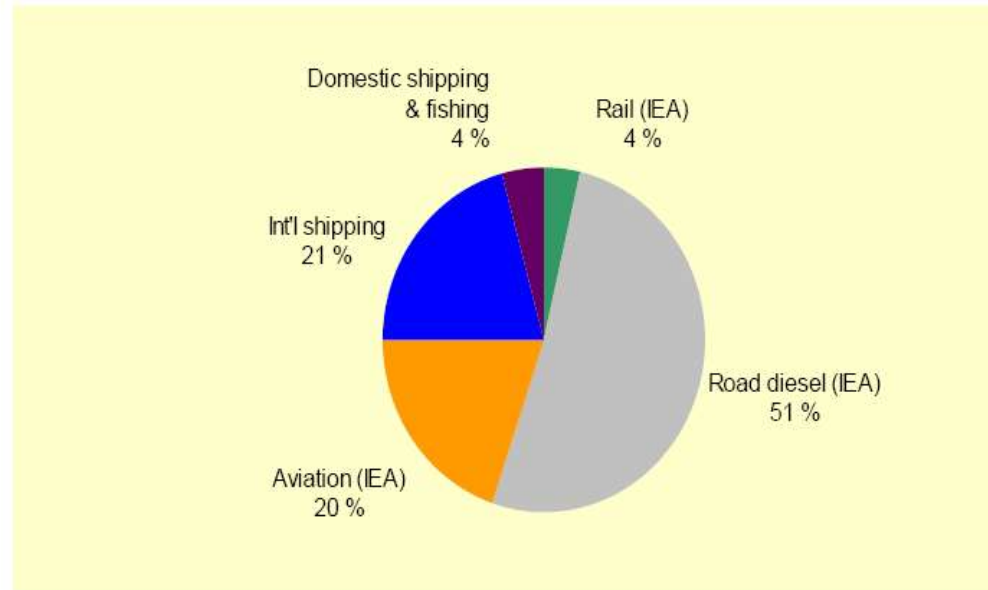


Συμβολή ναυτιλίας στην παγκόσμια ρύπανση (CO₂)



Data: International Shipping: This study. Other IEA. Reference year: 2005

Comparison with other modes (2005)



Data: International Shipping: This study. Other IEA. Reference year: 2005

Η μελέτη του ΕΜΠ για το ΝΕΕ



 **Laboratory for Maritime Transport**
National Technical University of Athens

Ship Emissions Study

 [Download Ship Emissions Study](#) (pdf format - 1.1 Mbytes)

Psaraftis, H.N., Kontovas, C.A., (2008), "Ship Emissions Study", National Technical University of Athens, report to Hellenic Chamber of Shipping, May

 [Emissions Calculator \(web tool\)](#)



Ship Emissions Calculator

VESSEL DETAILS

SELECT SHIP TYPE SELECT SHIP SIZE

ROUTE TRIP DISTANCE nm 9232 km

PAYLOAD (tonnes) DWT (tonnes)

OPERATIONAL DETAILS

STATE	TIME (days)	SPEED (knots)	FUEL OIL		DIESEL OIL	
			S %	Consumption (tonnes/day)	S %	Consumption (tonnes/day)
SEA LADEN	15.94	<input type="text" value="13"/>	<input type="text" value="3.5"/>	<input type="text" value="24"/>	<input type="text" value="1.5"/>	<input type="text" value="0"/>
SEA BALLAST	15.94	<input type="text" value="13"/>	<input type="text" value="3.5"/>	<input type="text" value="24"/>	<input type="text" value="1.5"/>	<input type="text" value="0"/>
PORT (loading, discharging)	<input type="text" value="4"/>		<input type="text" value="3.5"/>	<input type="text" value="4.5"/>	<input type="text" value="1.5"/>	<input type="text" value="0"/>

EMISSIONS

	CO2	SO2	NOx
ROUNDRIP EMISSIONS KG PER tonne TRANSPORTED	99.31	2.19	2.73
ROUNDRIP EMISSIONS GRAMS PER LADEN tonne-MILE	19.97	0.44	0.55
ROUNDRIP EMISSIONS GRAMS PER LADEN tonne-KM	10.76	0.24	0.30

DETAILED RESULTS

TOTAL BALLAST-LADEN DISTANCE		nm	9,948.00			
LADEN tonne-MILES		tonne*nm	124,350,000.00			
TIME IN PORT		days	4.00			
TRIP DURATION	SEA-LADEN	days	15.94	EMISSIONS		
TRIP DURATION	SEA-BALLAST	days	15.94	CO2	SO2	NOx
TOTAL RTRIP DURATION		days	35.88	tonnes	tonnes	tonnes
CONSUMPTION FO	SEA LADEN	tonnes	382.62	1,212.89	26.78	33.29
CONSUMPTION DO		tonnes	0.00	0.00	0.00	0.00

2 βασικές προσεγγίσεις

- TOP DOWN
(fuel-based)

- Υπολογισμός βάσει πωλήσεων καυσίμων για πλοία

- BOTTOM UP
(activity-based)

- Υπολογισμός βάσει εκτίμησης της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου του κάθε πλοίου στο στόλο

Παρατηρήσεις

- Ακόμη και προσεγγιστικές εκτιμήσεις συνολικών πωλήσεων marine bunkers είναι από δύσκολες έως αδύνατες
- Οι περισσότερες σφαιρικές εκτιμήσεις εκπομπών βασίζονται σε μοντελοποίηση



Βασικοί συντελεστές εκπομπών

ΕΝΑΣ (1) τόννος καυσίμου παράγει:

- 3.17 τόννους CO₂ (ανεξάρτητα του είδους του καυσίμου, είδους μηχανής)*
- $0.02 \cdot S$ τόννους SO₂, όπου S είναι το % θείου στο καύσιμο ($0.5 \leq S \leq 4.5$)
- 0.057-0.087 τόννους NO_x (εξαρτάται από το είδος της μηχανής)

Ανάλυση παγκόσμιου στόλου

ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ανά τύπο & μέγεθος πλοίου)

- Deadweight (DWT) (τόννοι)
- Μέση πληρότητα φορτίου w ($0 < w < 1$)
- Μέση ταχύτητα V (χλμ/ημερα)
- Ποσοστό λειτουργικού χρόνου εν πλω, s ($0 \leq s \leq 1$)
- Ολική κατανάλωση καυσίμου εν πλω, περιλαμβανόμενης κύριας μηχανής και βοηθητικών F (τοννοι/ημερα)
- Ολική κατανάλωση καυσίμου στο λιμάνι, περιλαμβανόμενης κύριας μηχανής και βοηθητικών G (τοννοι/ημερα)
- Ημέρες λειτουργίας ανά έτος, D (ημέρες) ($D \leq 365$)

Άλγεβρα εκπομπών

- Ολική ετήσια κατανάλωση καυσίμου (τόννοι): $(sF + pG)D$
- Ολικό ετήσιο CO₂ (τόννοι): $3.17(sF + pG)D = 3.17[s(F-D)+G]D$
- Ολικά ετήσια τοννο-χιλιόμετρα: $(wW)(sDV)$
- CO₂ ανά τοννο-χιλιόμετρο:
 $3.17[F+(p/s)G]/wWv$

Στόλος

(Lloyds Fairplay database, 2007)

Table 2: Break down of world fleet database

Vessel type DWTx1000	Number of vessels
Small Vessels 0-5'	517
Coastal 5-15'	236
Handysize 15'-35'	1,774
Handymax 35'-60'	1,732
Panamax 60'-85'	1,383
Post-Panamax 85'-120'	98
Capesize >120'	722
Total Dry Bulk	6,462
Feeder 0-500 TEU	363
Feedermax 500-1000	757
Handysize 1000-2000	1,143
Sub-Panamax 2000-3000	689
Panamax 3000-4400	568
Post Panamax >4400	712
Total Container	4,232
Small tanker 0-10	115
Handysize 10-60	240
Panamax 60-80	177
Aframax 80-120	648
Suezmax 120-200	332
VLCC/ULCC >200	516
Total Crude oil	2,028
LNG 0-50	29
LNG >50	221
Total LNG	250
LPG 0-5	651
LPG 5-20	235
LPG 20-40	68
LPG >40	135
Total LPG	1,089

Vessel type DWTx1000	Number of vessels
Reefer 0-5	508
Reefer 5-10	358
Reefer >10	225
Total Reefer	1,091
Product, chemical 0-5'	3125
Product, chemical 5'-15'	1407
Product, chemical 15'-25'	430
Product, chemical 25'-40'	643
Product, chemical 40'-60'	705
Product, chemical >60'	238
Total Chemical	6,548
RO-RO excl. Pax 0-5000	932
RO-RO excl. Pax 5-15	674
RO-RO excl. Pax 15-25	342
RO-RO excl. Pax 25-40	51
Total RO-RO	1,999
General Cargo 0-5	9,009
General Cargo 5-15	3,014
General Cargo 15-35	816
Total General Cargo	12,839

SUBTOTAL: 36,538 vessels

Other categories

Vessels 0-400 GT	6,281
Passenger Vessels (>400GT)	2,801

TOTAL : 45,620 vessels

(από τα
100.293 στα
45.620 πλοία)

Υπολογισμοί

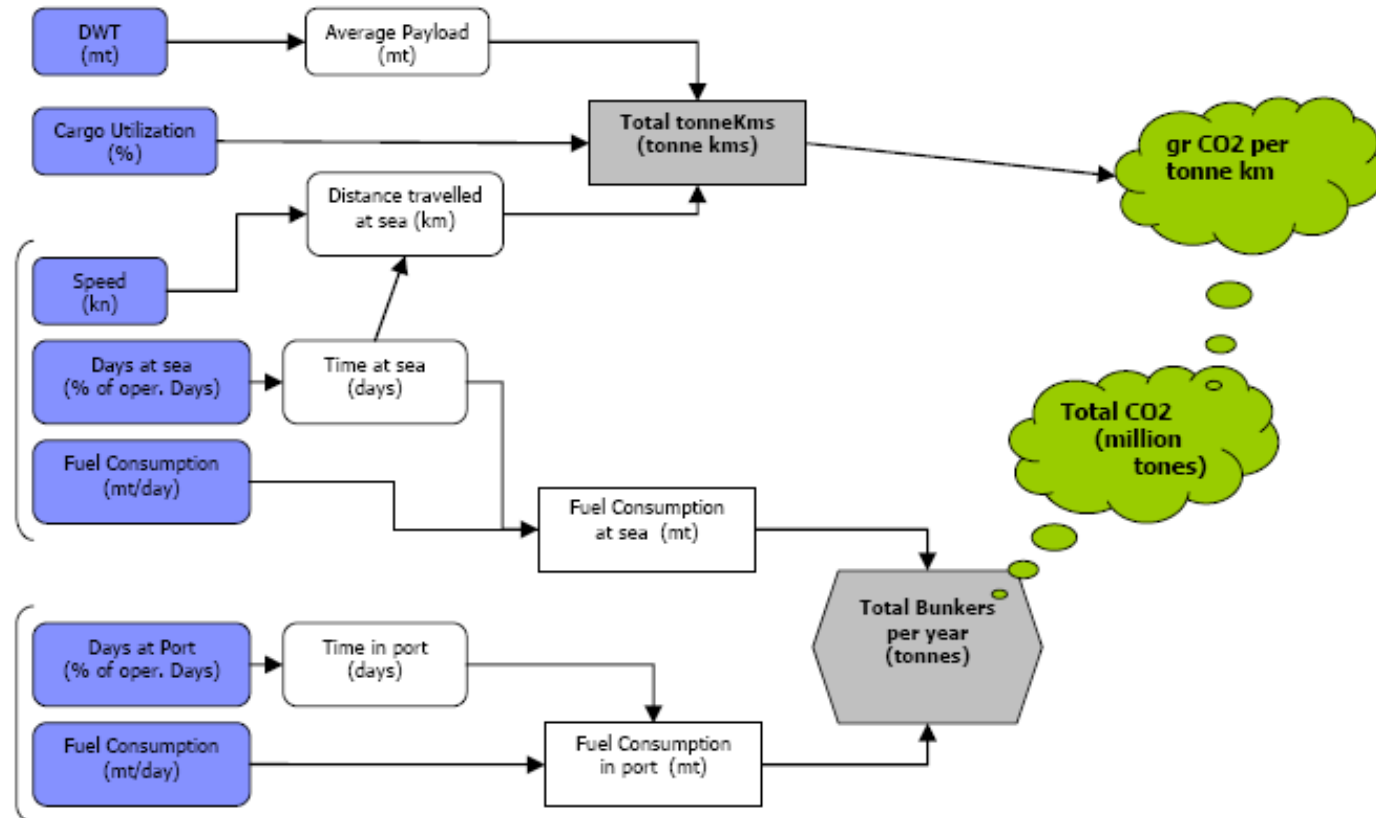


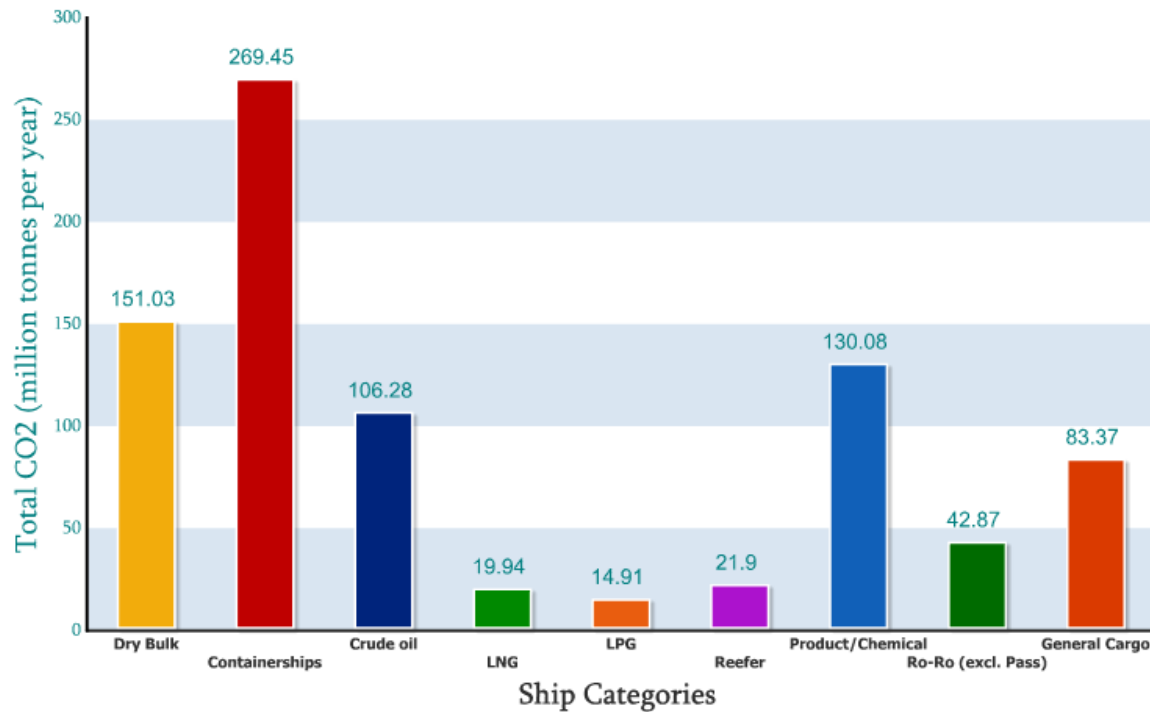
Figure 1: Calculation flowchart

Αποτελεσματα-1

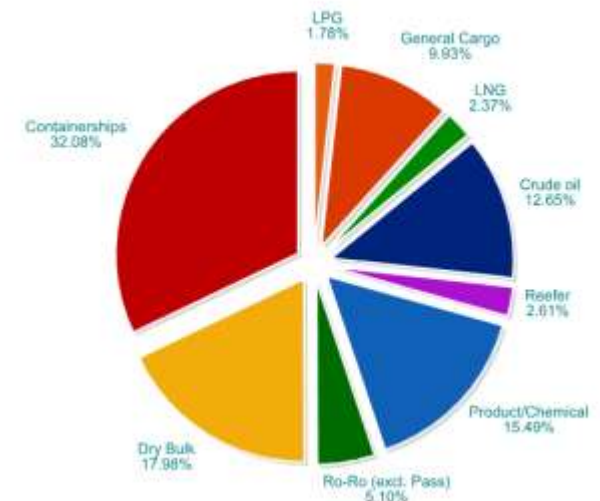
Typical Vessel types and sizes per vessel segment	Number of vessels in size group	Average Ship					cargo capacity utilization at sea	Total CO2, yr (tonnes)	Total bunkers, YR	Total tonne-kms, yr	gr CO2 PER TONNE-KM	per size bracket		
		Payload	Speed	Sea days %	Port days %	total CO2 per size bracket (million)						% of total	Total billion MT-km per size bracket	
Small Vessels: 0-5'	517	1,937	12	70	30	60%	4,717	1,488.00	139,158,763	33.9	2.44	1.60	72	
Coastal 5-15'	236	9,895	12	70	30	60%	10,641	3,356.80	710,876,741	15.0	2.51	1.70	168	
Handysize 15-35'	1774	24,876	14	70	30	60%	18,513	5,840.00	2,084,935,872	8.9	32.84	21.70	3,699	
Handymax 35'-60'	1732	43,522	14	70	30	60%	22,804	7,193.60	3,647,781,825	6.3	39.50	26.20	6,318	
Panamax 60'-85'	1383	68,469	14	70	30	60%	27,095	8,547.20	5,738,689,444	4.7	37.47	24.80	7,937	
Post-Panamax 85'-120'	98	87,129	14	80	20	60%	37,066	11,692.80	8,345,885,855	4.4	3.63	2.40	818	
Capesize >120'	722	160,425	15	80	20	60%	45,202	14,259.20	16,464,278,599	2.7	32.84	21.60	11,887	
Total Dry Bulk	6482						166,037		37,131,805,092	4.5	151.03		30,898	
Feeder (0-500)	363	5,169	13	70	30	70%	14,810	4,672.00	469,332,853	31.6	5.38	2.00	170	
Feedermax (500-1000)	757	9,873	16.5	70	30	70%	22,773	7,194.00	1,137,846,695	20.0	17.24	6.40	861	
Handysize (1000-2000)	1,143	19,515	20	70	30	70%	37,279	11,760.00	2,726,036,069	13.7	42.61	15.80	3,116	
Sub-Panamax (2000-3000)	589	34,088	20	70	30	70%	58,328	18,400.00	4,761,739,206	12.2	40.19	14.90	3,281	
Panamax (3000-4400)	568	47,907	21	70	30	70%	94,502	29,811.20	8,030,486,625	11.8	53.58	19.90	4,561	
Post Panamax (>4400 TEU)	712	75,190	24	70	30	70%	155,000	48,896.00	14,404,444,807	10.8	110.36	41.00	10,256	
Total Container	4,232						382,693		31,529,885,245	12.1	269.45		22,246	
Small tanker (0-10)	115	3,159	12	80	20	50%	6,289	1,984.00	216,120,361	29.1	0.72	0.70	25	
Handysize (10-60)	240	37,841	14.5	80	20	50%	32,664	10,304.00	3,128,483,055	10.4	7.84	7.40	751	
Panamax (60-80)	177	64,838	15	80	20	50%	36,113	11,392.00	5,545,193,472	5.5	6.39	5.00	981	
Aframax (80-120)	648	97,921	14.7	80	20	50%	46,460	14,656.00	8,207,170,707	5.7	30.11	28.30	5,318	
Suezmax (120-200)	332	146,099	15	80	20	50%	51,329	16,192.00	12,495,006,794	4.1	17.04	16.00	4,148	
VLCC/ULCC (>200)	516	279,208	15	80	20	50%	85,615	27,008.00	23,876,106,183	3.5	44.18	41.60	12,322	
Total Crude oil	2,028						258,469		53,471,080,573	5	106.00		23,545	
LNG (0-50)	29	23,588	17	80	20	50%	52,167	16,456.50	1,902,263,069	27.4	1.51	7.60	55	
LNG (>50)	221	71,099	19	80	20	50%	83,400	26,309.00	6,408,489,501	13.0	18.43	92.40	1,416	
Total LNG	250						135,567		8,310,751,570	16.3	19.94		1,471	
LPG (0-5)	681	2,012	13	80	20	50%	6,137	1,936.00	130,496,886	47.0	4.00	26.80	85	
LPG (5-20)	236	9,069	15	80	20	50%	17,093	5,392.00	678,646,370	25.2	4.02	26.90	159	
LPG 20-40	88	25,764	16	80	20	50%	29,194	9,209.60	2,056,555,856	14.2	1.99	13.30	140	
LPG (40-)	135	48,904	17	80	20	50%	36,356	11,468.80	4,147,643,575	8.8	4.91	32.90	560	
Total LPG	1,089						88,780		7,013,342,687	12.7	14.91		944	
Reefer (0-5)	508	2,050	13	80	20	60%	9,363	2,953.60	203,228,700	46.1	4.76	22.30	103	
Reefer (5-10)	358	6,827	17.5	80	20	60%	25,838	8,150.80	906,791,981	28.5	9.25	43.40	325	
Reefer (>10)	225	11,912	20	80	20	60%	32,410	10,224.00	1,747,605,300	18.5	7.29	34.20	393	
Total Reefer	1,091						67,611		2,857,625,981	23.7	21.30		821	
Product, chemical 0-5'	3125	2,009	11.5	70	30	60%	8,651	2,729.10	142,854,101	60.6	27.04	20.80	446	
Product, chemical 5'-15'	1407	8,230	13	70	30	60%	15,993	5,032.50	660,522,652	24.2	22.45	17.30	929	
Product, chemical 15'-25'	430	18,083	14.4	70	30	60%	26,571	8,362.00	1,607,649,695	16.5	11.43	8.80	691	
Product, chemical 25'-40'	643	32,443	15	70	30	60%	44,668	14,091.00	3,004,401,819	14.9	28.72	22.10	1,932	
Product, chemical 40'-60'	705	43,512	14.7	70	30	60%	42,053	13,266.00	4,513,046,136	9.3	29.65	22.80	3,182	
Product, chemical >60'	238	78,339	15	70	30	60%	45,401	14,322.00	8,291,118,437	5.5	10.81	8.30	1,973	
Total Chemical	6,548						183,296		18,215,392,840	10.1	130.08		9,153	
RO-RO (excl. Pax) 0-5000	932	1,729	13	70	30	60%	8,394	2,647.80	138,768,467	60.5	7.82	18.20	129	
RO-RO (excl. Pax) 5-15	674	9,334	17	70	30	60%	28,532	9,000.50	979,619,744	29.1	19.23	44.90	660	
RO-RO (excl. Pax) 15-25	342	17,605	18	70	30	60%	38,981	12,296.80	1,956,459,426	19.9	13.33	31.10	669	
RO-RO (excl. Pax) 25-40	51	27,680	19	70	30	60%	48,726	15,371.00	3,246,941,650	15.0	2.49	5.80	166	
Total RO-RO	1,999		15.4				124,632		6,321,789,286.69	19.7	42.87		1,624	
General Cargo (0-5)	9,009	2,138	11	70	30	60%	3,943	1,244.00	145,225,951	27.2	35.53	42.60	1,308	
General Cargo (5-15)	3,014	7,549	13	70	30	60%	10,872	3,429.00	605,853,976	17.9	32.77	39.30	1,826	
General Cargo (15-35)	816	19,570	14	70	30	60%	16,477	5,828.80	1,691,497,286	10.9	15.08	18.10	1,390	
Total General Cargo	12,839						33,293		2,442,577,212	13.8	83.37		4,515	
GRAND TOTAL	38,538								Total CO2 (million tonnes per year)=		838.95			
									Bunker Consumption (million tonnes per year)=		264.65			

Αποτελεσματα-2

Total CO2 per ship category (million tonnes per year)

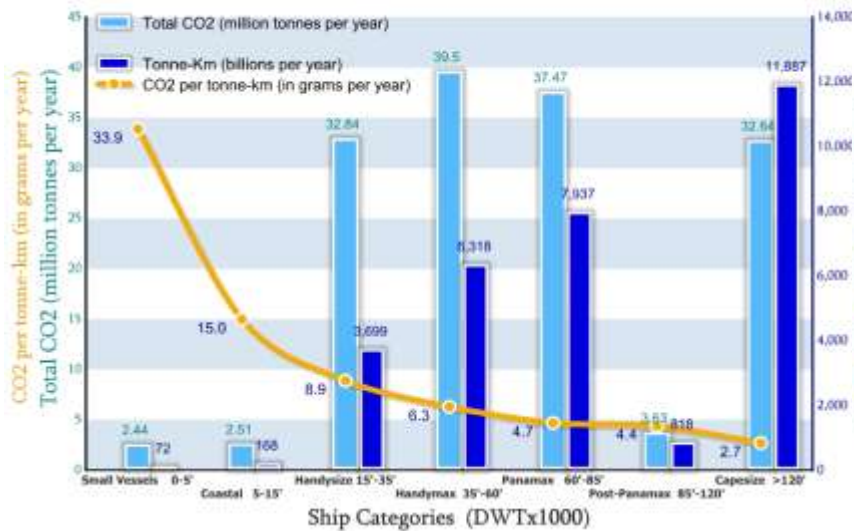


CO2 percentage per ship category

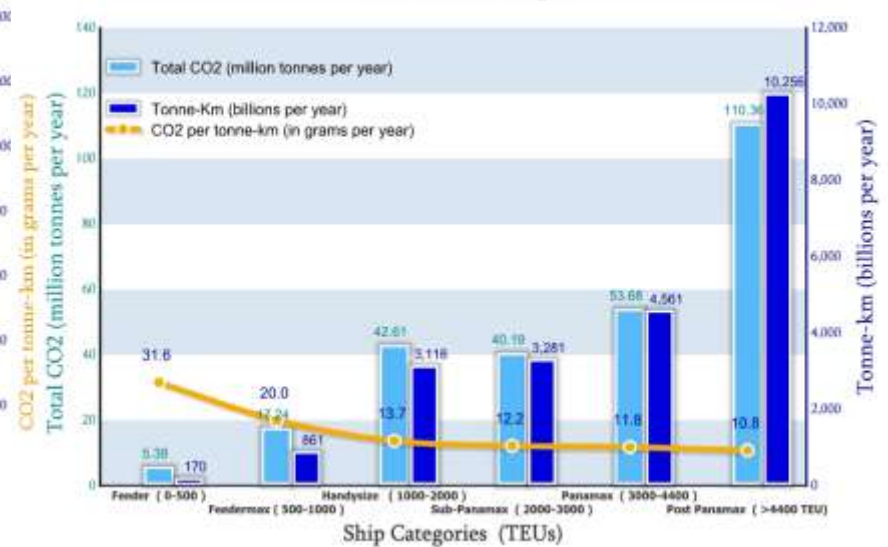


Αποτελεσματα-3

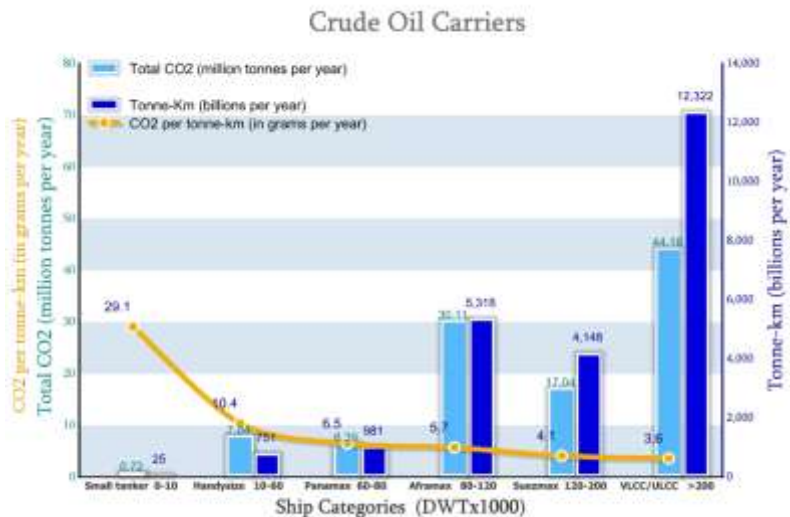
Dry Bulk Carriers



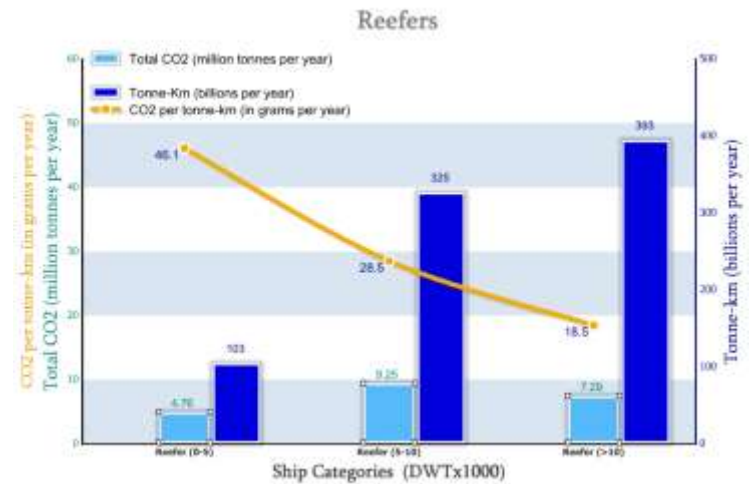
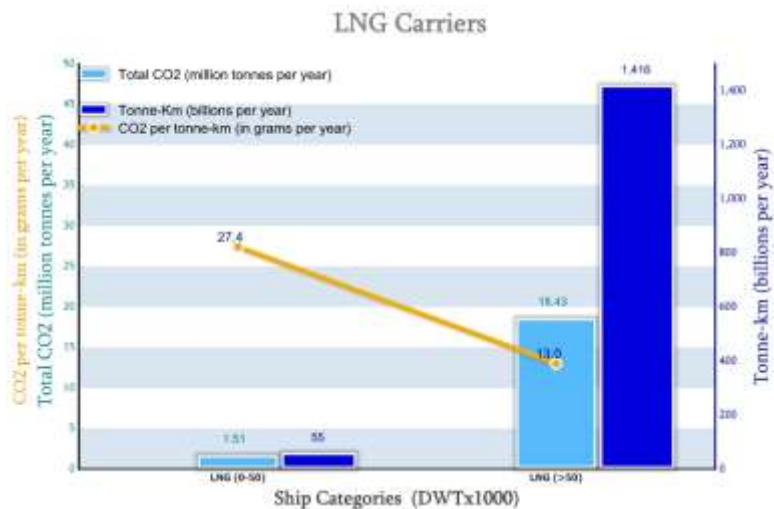
Containerships



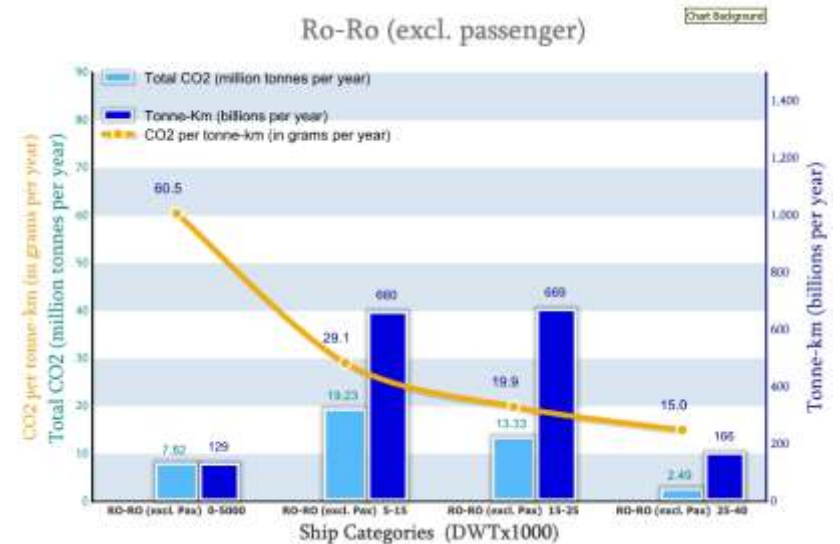
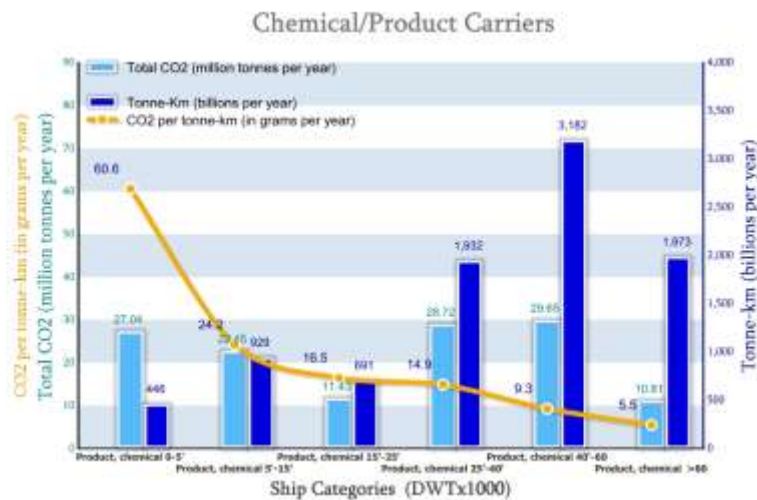
Αποτελεσματα-4



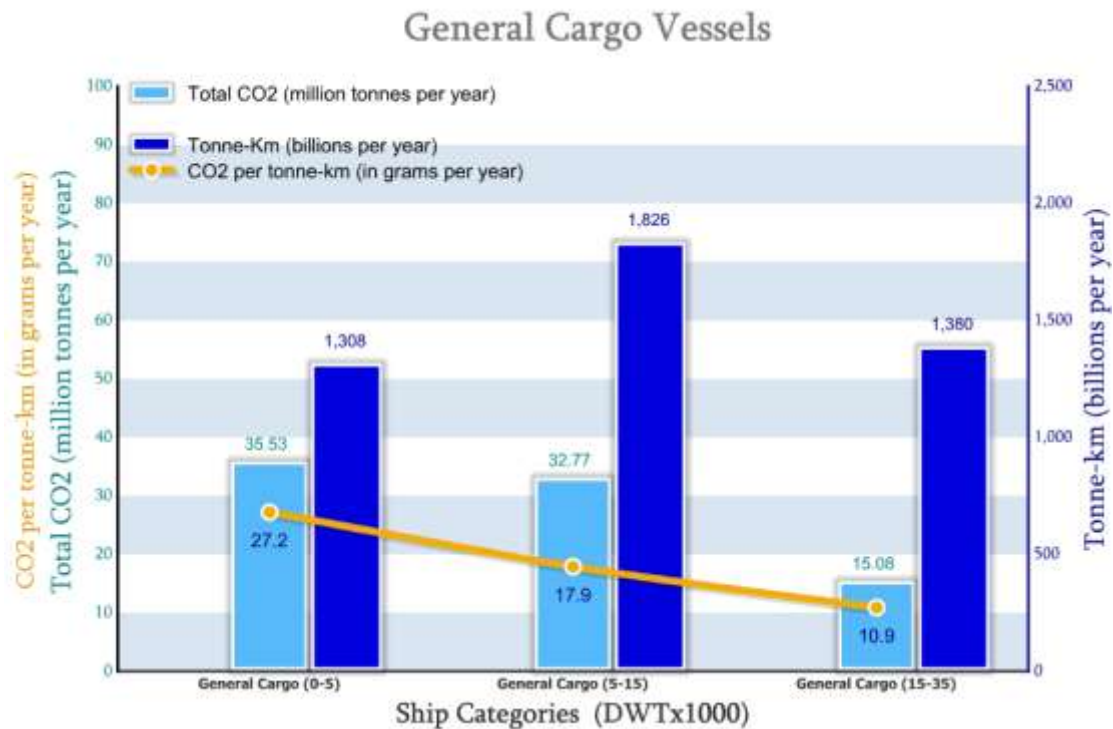
Αποτελεσματα-5



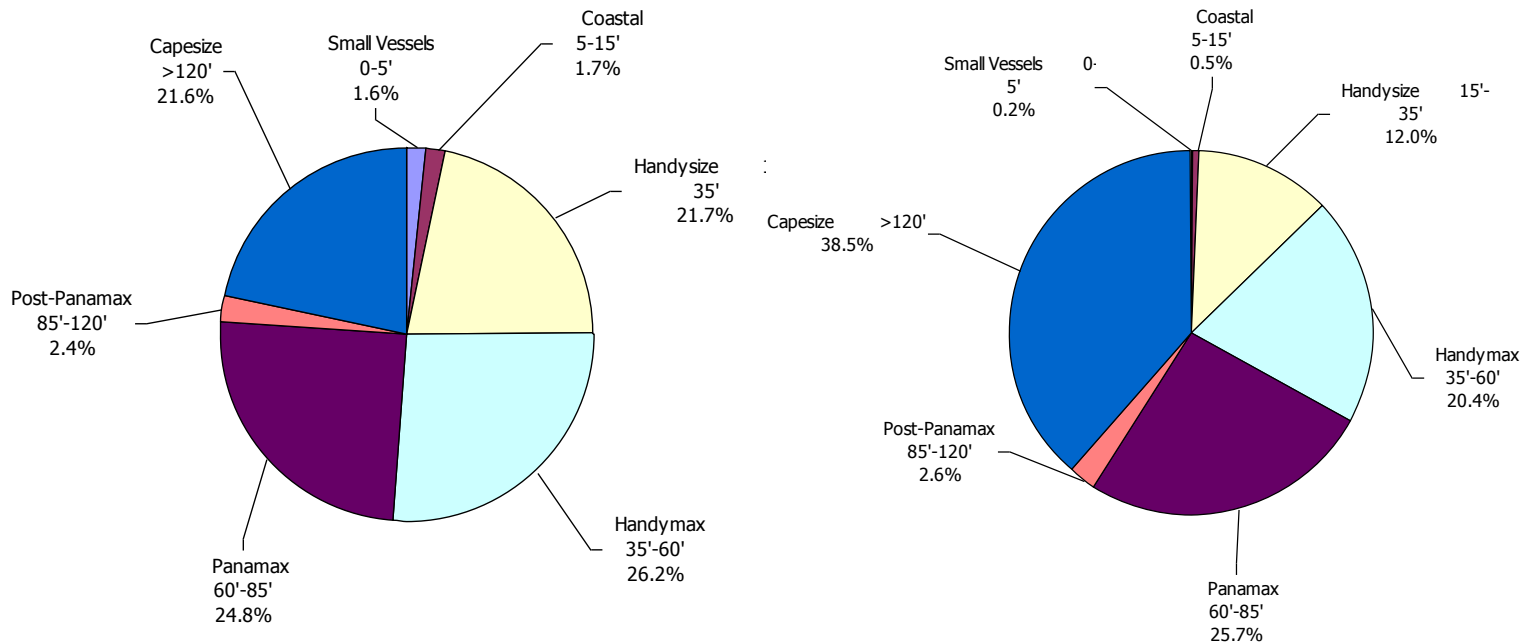
Αποτελεσματα-6



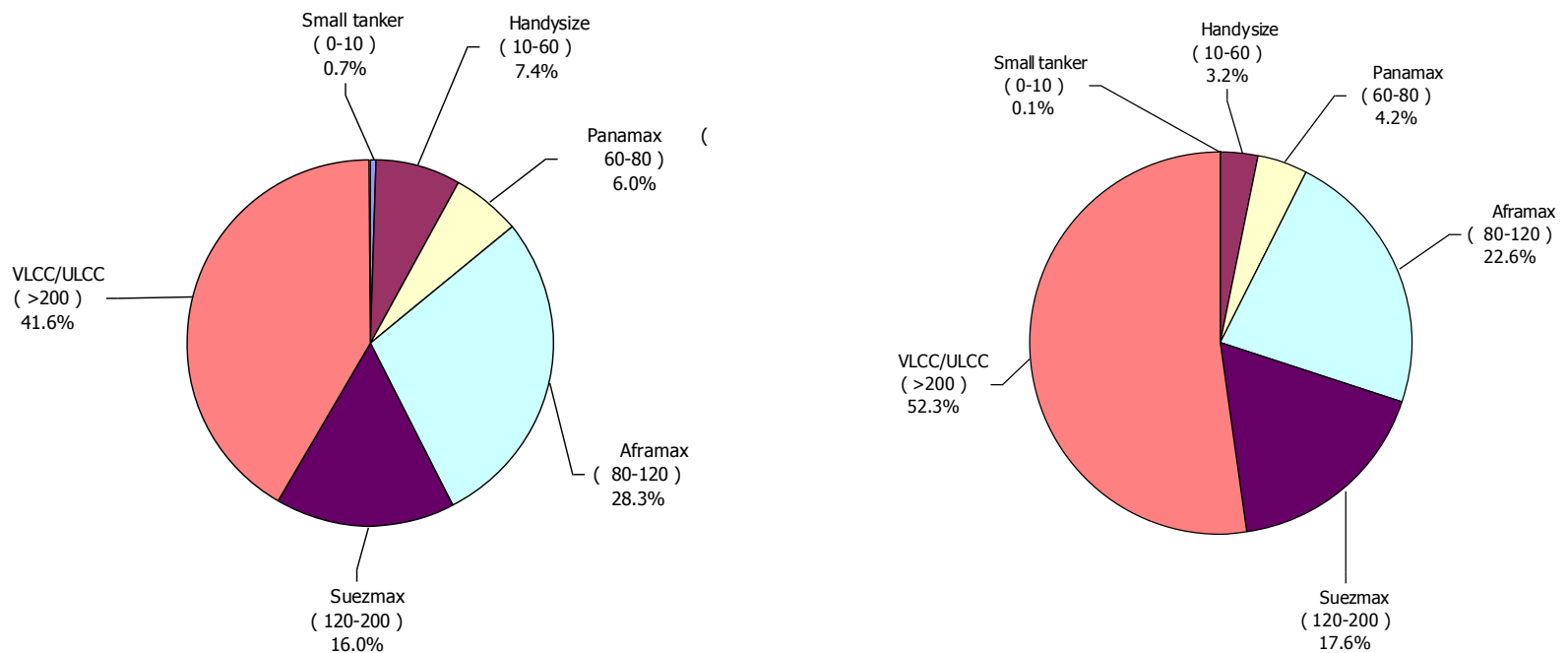
Αποτελεσματα-7



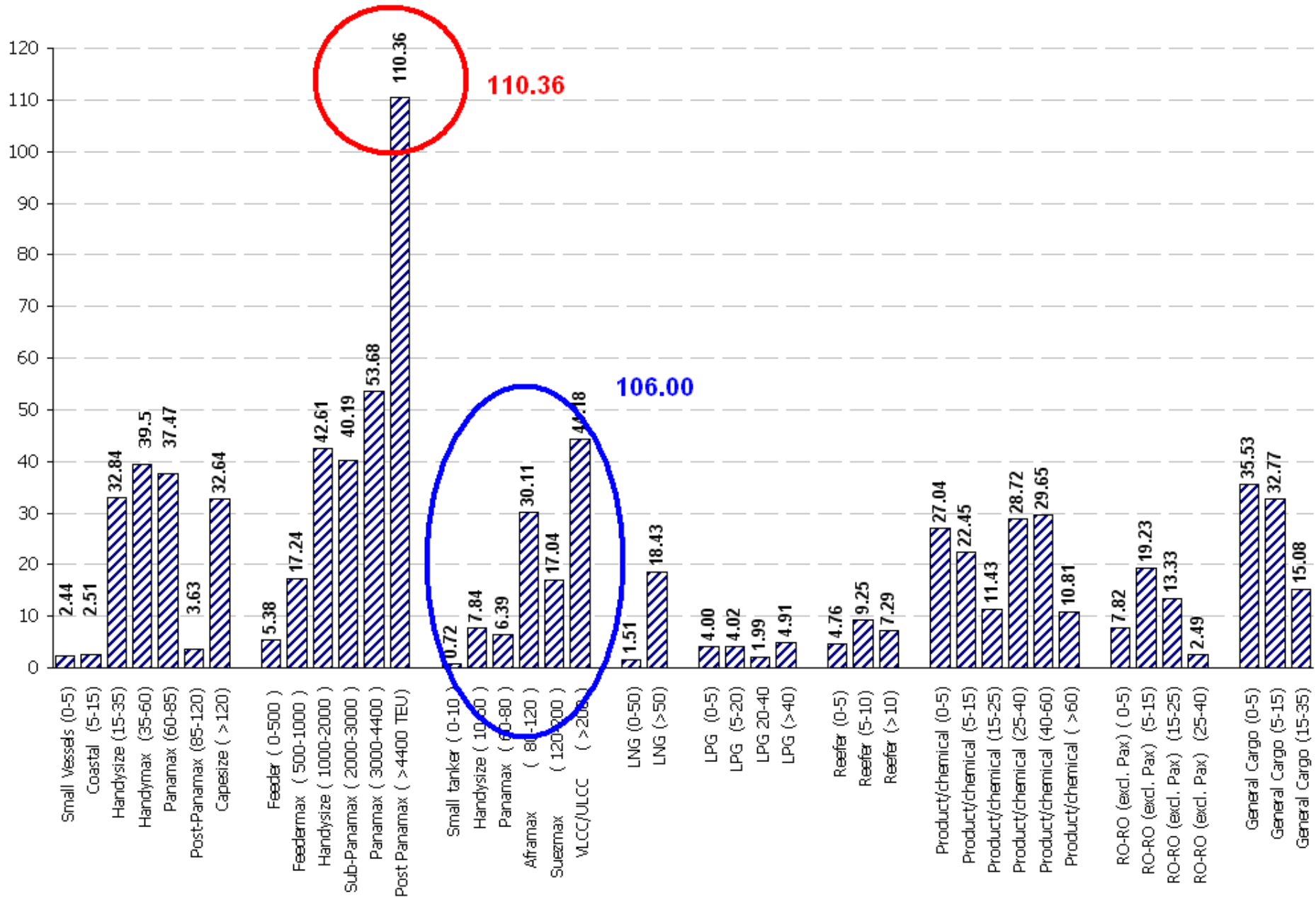
CO2 vs tonne-km (bulk carriers)



CO2 vs tonne-km (crude oil carriers)



CO2 emissions per vessel category (million tonnes)



Σύγκριση με άλλες μελέτες

Table 6: Comparison of Bunker Consumption Results of Various Studies

	Base year	Total (Mt)	Adjusted Total	2007 est (Mt)
Eyring et al., 2005	2001	280	277	361
Corbett et al. 2003	2001	289	254	339
Endresen et al, 2007	2000	195	210	282
IMO Expert Group	2007	369	369	369
IEA total marine sales	2005	214	214	234
EIA bunker	2004	225	225	260
Buhaug et al., 2008	2007	333	333	333
Psaraftis and Kontovas	2007	298	283	283

Σύγκριση συνέχεια

■ ΕΜΠ: 943 εκ. τόννοι CO₂ (2007)

Table 5: Consensus estimate 2007 CO₂ emissions [million tonnes CO₂] (Source: Buhaug et al (2008))

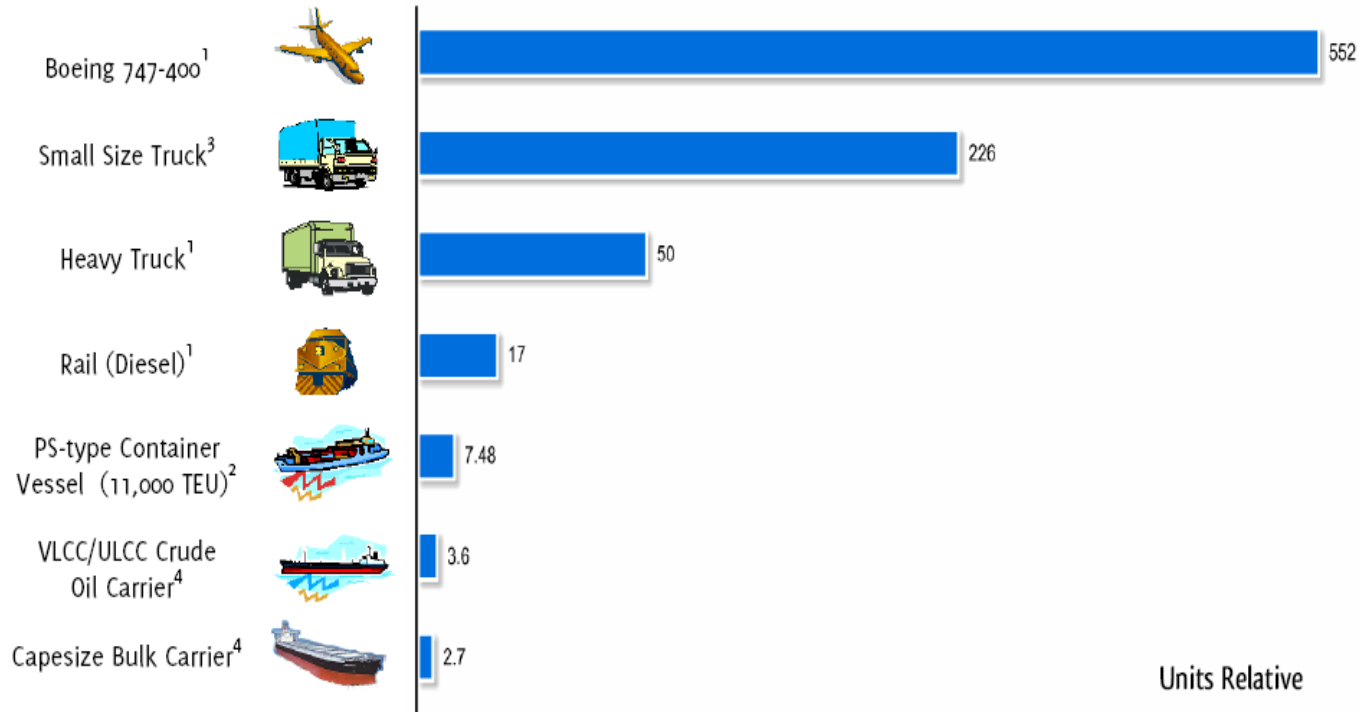
	Low bound	Consensus estimate	High bound	Consensus estimate % Global CO ₂ emissions
Total ship emissions ¹	854	1019	1224	3.3
International shipping ²	685	843	1039	2.7

¹ Activity based estimate including domestic shipping and fishing, but excluding military vessels.

² Calculated by subtracting domestic emissions estimated from fuel statistics from the activity based total excluding fishing vessels.

COMPARISON OF CO₂ EMISSIONS AMONG TRANSPORT MODES

(grams per tonne-kilometer)



Sources:

- 1 Swedish Network for Transport and the Environment (NTM)
- 2 Maersk Line
- 3 Man B&W Diesel
- 4 National Technical University of Athens (NTUA)



Produced by
NTUA Laboratory for Maritime Transport
www.martrans.org

Διλήμματα

- Μειώσεις στις εκπομπές μπορεί να έχουν παράπλευρες αλλά σημαντικές επιπτώσεις στην όλη εφοδιαστική αλυσίδα
- Μέτρα όπως μείωση της ταχύτητας η άλλα γενικά μπορούν να ενέχουν σημαντικό κόστος (περισσότερα πλοία για το ίδιο φορτίο, κόστος αποθεμάτων, κλπ).

Boomerang?

- Καθαρότερα καύσιμα σε Θειο μπορεί να μετατοπίσουν φορτία προς τις οδικές μεταφορές, λόγω κόστους
- Εκτός από απώλειες στο short-sea shipping, αυτό μπορεί να προκαλέσει περισσότερες εκπομπές GHG στην υπόλοιπη μεταφορική αλυσίδα!



Γενικό συμπέρασμα

- Εκπομπές CO₂: Δύσκολο θέμα για το οποίο σοβαρές αποφάσεις είναι αναγκαίες
- Όμως, διαστάσεις απόψεων μπορεί να καθυστερήσουν τη λήψη αποφάσεων στο εγγύς μέλλον



Περισσότερες λεπτομέρειες

WMU Journal of Maritime Affairs, (2009)



CO₂ Emission Statistics for the World Commercial Fleet*

Harilaos N. Psaraftis[†] and Christos A. Kontovas

Laboratory for Maritime Transport, National Technical University of Athens, Greece



επίσης

- www.martrans.org/emis/emis.htm

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΠΟΛΥ!

- hnpsar@mail.ntua.gr
- www.martrans.org

