

Αξιολόγηση Προτάσεων για τη Μείωση των Εκπομπών Οξειδίων Θείου στη Ναυτιλία



Μαρία-Αικατερίνη Κόντη

Επιβλέποντες :

Δημήτρης Λυρίδης, Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

Νοέμβριος 2023

Δομή Παρουσίασης

1. Εισαγωγή: Η Ατμοσφαιρική Ρύπανση και η συμβολή της Ναυτιλίας
2. Τα Καύσιμα στη Ναυτιλία
3. Πλυντρίδες – Scrubbers
4. Κανονισμοί Ρύθμισης των Αέριων Ρύπων
5. Επιβολή των Κανονισμών Ρύθμισης των Αέριων Ρύπων
6. Ανάλυση Θεωρητικών Σεναρίων – Παραδοχές
7. Σχολιασμός Αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα

Η Ατμοσφαιρική Ρύπανση και η συμβολή της Ναυτιλίας

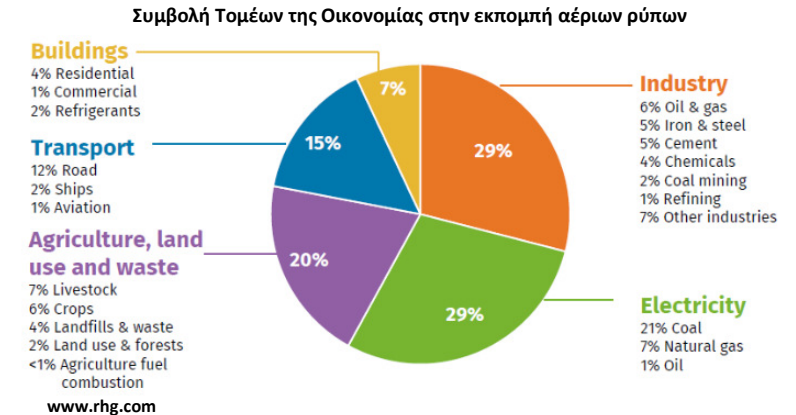
- Οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης πλέον επαληθεύουν και τις πιο δυσοίωνες προβλέψεις.
- Έντονη τάση αυστηροποίησης των κανονισμών σε όλους τους τομείς.
- Η συμβολή της εμπορικής ναυτιλίας στις παγκόσμιες εκπομπές ρύπων είναι περίπου 1%.
- Πρόσφατοι κανονισμοί στοχεύουν στη μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου (SO_x).



Υπερθέρμανση Πλανήτη (Sky News, news.sky.com)



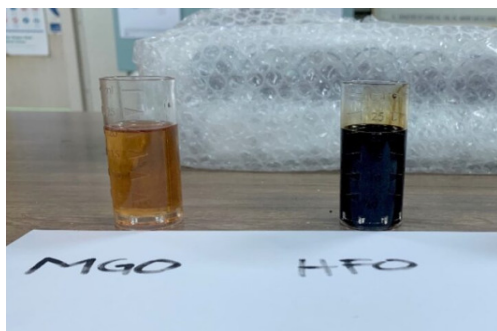
Όξινη Βροχή (Imperial College London, www.imperial.ac.uk)



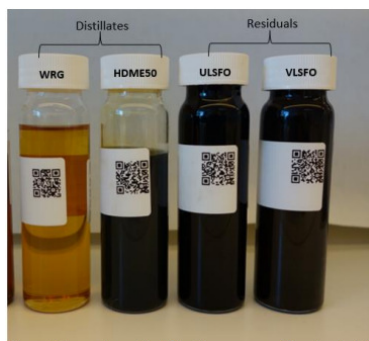
“Sulphur cap 0.50% m/m”
International Maritime Organization
(IMO 2020)

Τα Καύσιμα στη Ναυτιλία

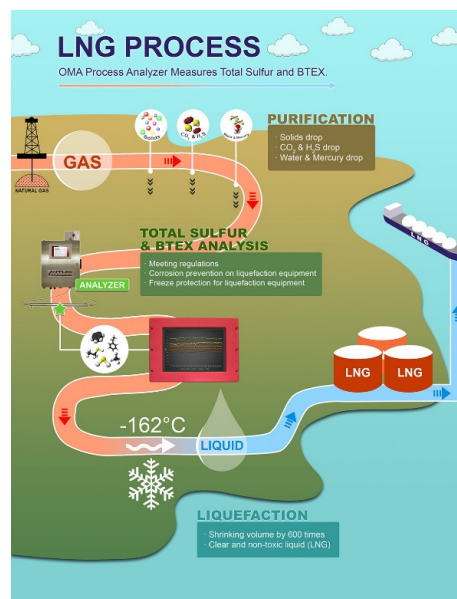
- **Βαρύ Μαζούτ (Heavy Fuel Oil, HFO) – 3,5% m/m**
- **Μαζούτ χαμηλό σε θείο (Very Low Sulphur Fuel Oil, VLSFO) – 0,5% m/m**
- **Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (Liquefied Natural Gas, LNG) $\approx$ 0,0% m/m**
- **Marine Gas Oil (MGO) – 0,1% m/m**



www.maritimepage.com



(Sørheim et al. 2020)



(Applied Analytics, Inc)

Εναλλακτικά Καύσιμα:

- Βιοκαύσιμα
- Υδρογόνο (Blue & Green Hydrogen)
- LPG
- Μεθανόλη

Τεχνολογίες

- Μπαταρίες
- Κυψέλες Καυσίμου
- Αιολική Δύναμη

**-Καθαρισμός (Πλύση)
Καυσαερίων με Scrubber**

Εθνικό
Μετσόβιο
Πολυτεχνείο



Scrubbers - Γενικά

- Τα καυσαέρια διοχετεύονται σε **θάλαμο** με διάφορα φίλτρα, όπου καθαρίζονται από ουσίες όπως οι **θειώδεις ενώσεις** προτού εξέλθουν.
- Χωρίζονται σε **υγρού και ξηρού τύπου**. Υπάρχουν και χερσαία scrubbers.
- Στα πλοία, υγρού τύπου Scrubbers τοποθετούνται κοντά στο φουγάρο.
- Τυπικά ζυγίζουν έως και **250 τόνους**, ενώ **απαιτείται 1 μήνας ναυπήγηση** για την εγκατάστασή τους.



www.shi.co.jp

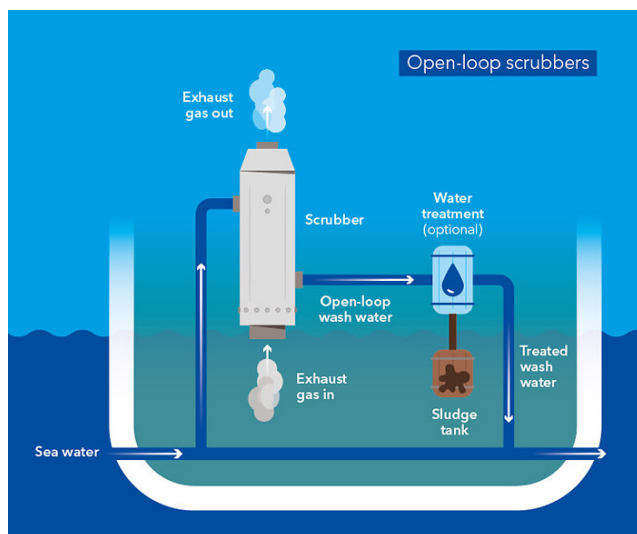


www.shi.co.jp

Scrubbers Υγρού Τύπου

Ανοιχτού κύκλου

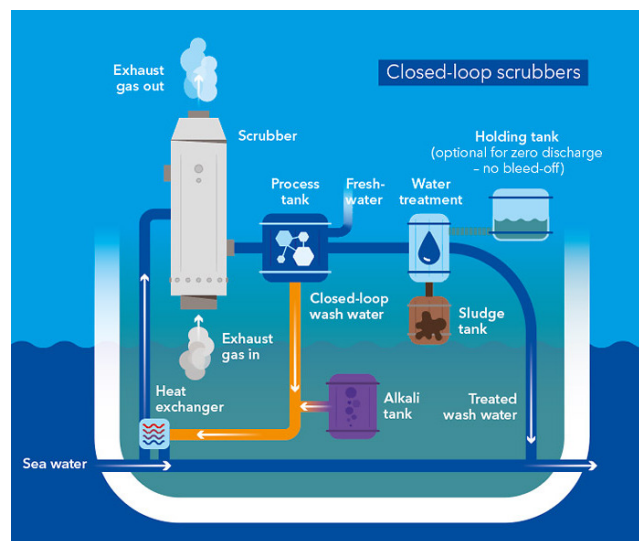
- Ψεκαστήρες και φίλτρα νερού συγκρατούν τα σωματίδια
- Προαιρετική επιλογή επεξεργασίας του νερού



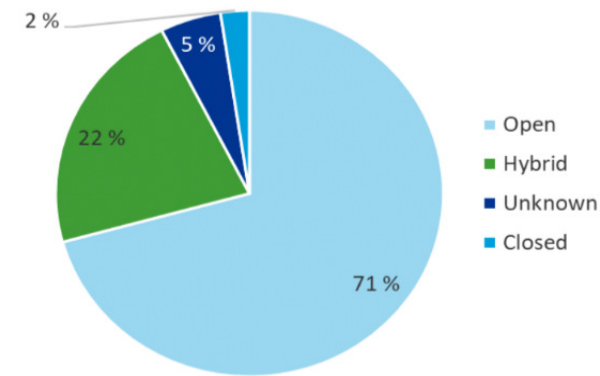
www.dnv.com

Κλειστού κύκλου

- Επαναχρησιμοποίηση νερού ώστε να κάνει πολλές πλήσεις
- Δυνατότητα ελέγχου της αλκαλικότητας του νερού



www.dnv.com



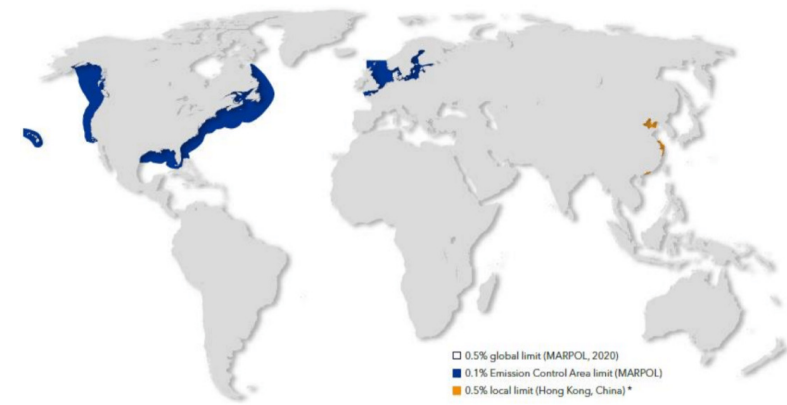
Τα Scrubbers έγιναν δημοφιλή στην εμπορική ναυτιλία μετά την επιβολή του κανονισμού IMO 2020 ως εναλλακτική συμμόρφωσης.

Εθνικό
Μετσόβιο
Πολυτεχνείο



Κανονισμοί Ρύθμισης των Αέριων Ρύπων

- **International Maritime Organization, IMO (est. 1948)**
Όργανο του ΟΗΕ, Ρυθμιστικά Πλαίσια
- **MARPOL 73/78**
Διεθνής Σύμβαση, Marine Pollution, Annex VI (1997) → αέρια ρύπανση
- **Sulphur Emission Control Area, SECA (2005)**
Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών Θείου, Β. Αμερική, Βαλτική Θάλασσα, Μεσόγειος
- **2020 Sulphur Cap**
Revised MARPOL Annex VI (2008), Επιβεβαίωση 2016, Επιβολή τον Ιανουάριο 2020



Date	Sulfur Limit in Fuel (% m/m)	
	SOx ECA	Global
2000	1.5%	4.5%
2010.07	1.0%	
2012		3.5%
2015	0.1%	
2020 ^a		0.5%



Φορείς Επιβολής Κανονισμών

- **Κράτος Λιμένα (Port State Control)**

Έλεγχος από αξιωματικό του λιμένα σε: Δελτία Παράδοσης Πετρελαίων (BDN), Καταγραφές αλλαγής καυσίμου στα ECA, επιτόπου έλεγχος καυσίμου, επιτόπου μέτρηση ρύπων

- **Νηογνώμονας**

Ανεξάρτητος φορέας, Κλάση, Επιθεωρητές, Εκδίδει τα απαραίτητα πιστοποιητικά, Βοηθητικός Ρόλος

- **Κράτος Σημαίας**

Εθνικότητα πλοίου, Συμπληρωματικοί κανονισμοί

Bunker Delivery Note

Australian Government
Australian Maritime Safety Authority

MARPOL Annex VI requires that the following information be included in the bunker delivery note provided to the receiving ship. There is no specific format for a bunker delivery note. Bunker suppliers may therefore use their own stationery provided that all the required information is included.

Name and IMO number of receiving ship: _____
Port: _____
Date of commencement of delivery: _____
Name, address and telephone number of marine fuel oil supplier: _____

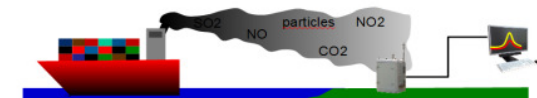
Product name(s)	Quantity (metric tons)	Density at 15°C (kg/m³) Fuel oil should be tested in accordance with ISO 3675	Sulphur content (% m/m) Fuel oil should be tested in accordance with ISO 8754

Declaration
I, the fuel oil supplier's representative hereby declare that the fuel oil supplied is in conformity with regulation 14(1) or (4)(a) and regulation 18(1) of MARPOL Annex VI.

Name: _____ Signature: _____ Date: _____



-  **In-situ measurement ("Sniffer")**
- Use of trace gas monitors (measurement 24/7)
 - SO₂, CO₂, NO_x (NO, NO₂) → fuel sulfur content from SO₂/CO₂
 - Dependent on wind



Εθνικό
Μετσόβιο
Πολυτεχνείο



Παρουσίαση των Σεναρίων

Τρείς Επιλογές Συμμόρφωσης με τον IMO 2020

1. Καύσιμο HFO με χρήση Scrubber

Εγκατάσταση Scrubber, Λειτουργία με HFO οι εξατμίσεις του οποίου καθαρίζονται από ρύπους.

2. Καθαρότερο Καύσιμο VLSFO + LSMGO

Λειτουργία με καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, σε συνδυασμό με MGO στις ECA.

3. Καύσιμο LNG

Μηχανολογική τροποποίηση του πλοίου ώστε να είναι συμβατό με LNG (αποθήκευση).

- ✓ Δύο Υπάρχοντα Πλοία Bulk Carriers
- ✓ Διαφορετικό Ταξίδι Μελέτης για κάθε Πλοίο (Ανεφοδιασμοί κτλ.)
- ✓ Χρόνος Μελέτης 1 έτος
- ✓ Κόστος Λειτουργίας

Πλοίο 1 - Ταξίδι Μελέτης 1 - Παραδοχές

Πλοίο 1

Bulk Carrier, 10 ετών, 36,000 MT, 11 knots, 14.5-16.5 mt/day

Houston – Cape Town

26 πλεύσιμες ημέρες (one way), 3 round trips το χρόνο
(176 πλεύσιμες ημέρες), ανεφοδιασμός στο Houston
(03/22-10/23), 12% σε ECA

Δαπάνη Εγκατάστασης Hybrid Scrubber

≈2 εκατομμύρια USD

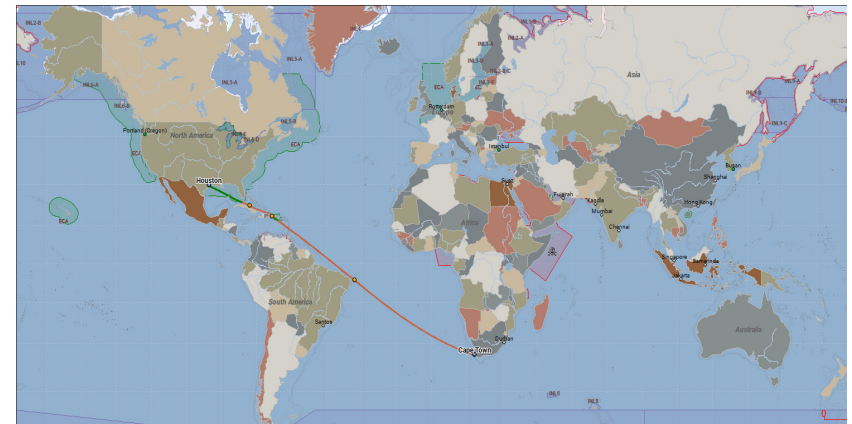
Off-hire για 30 ημέρες στο ναυπηγείο

Δαπάνη Τροποποίησης για LNG

≈1.5 εκατομμύρια USD

Off-hire για 60 ημέρες στο ναυπηγείο

Παραδοχή πενταετούς αποπληρωμής παγίων δαπανών



Πλοίο 2 - Ταξίδι Μελέτης 2 - Παραδοχές

Πλοίο 2

Bulk Carrier, 9 ετών, 81,900 MT, 12 knots, 21.5-22.5 mt/day

Recife – Rotterdam

15 πλεύσιμες ημέρες (one way), 6 round trips το χρόνο
(190 πλεύσιμες ημέρες), ανεφοδιασμός στο Rotterdam
(03/22-10/23), 10% σε ECA

Δαπάνη Εγκατάστασης Hybrid Scrubber

≈2,5 εκατομμύρια USD

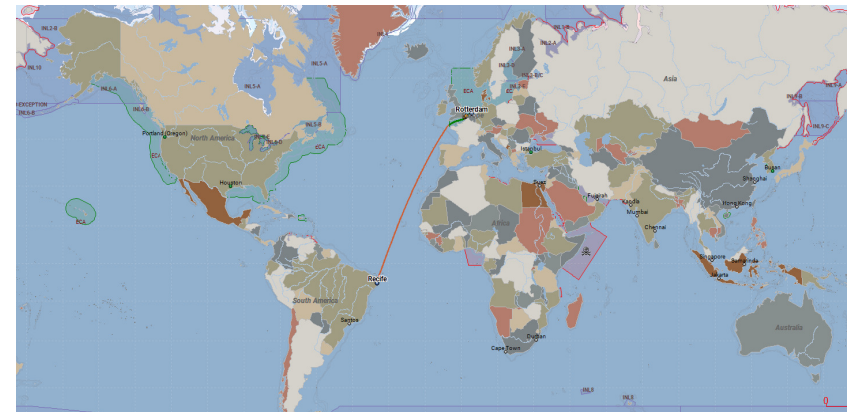
Off-hire για 30 ημέρες στο ναυπηγείο

Δαπάνη Τροποποίησης για LNG

≈2 εκατομμύρια USD

Off-hire για 60 ημέρες στο ναυπηγείο

Παραδοχή πενταετούς αποπληρωμής παγίων δαπανών

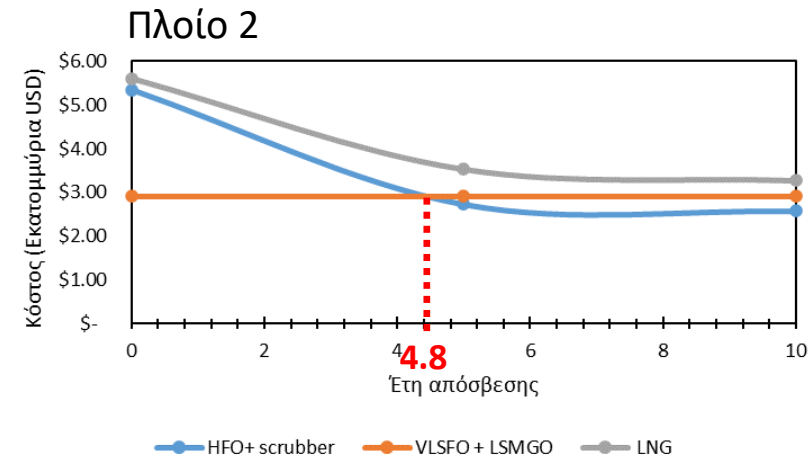
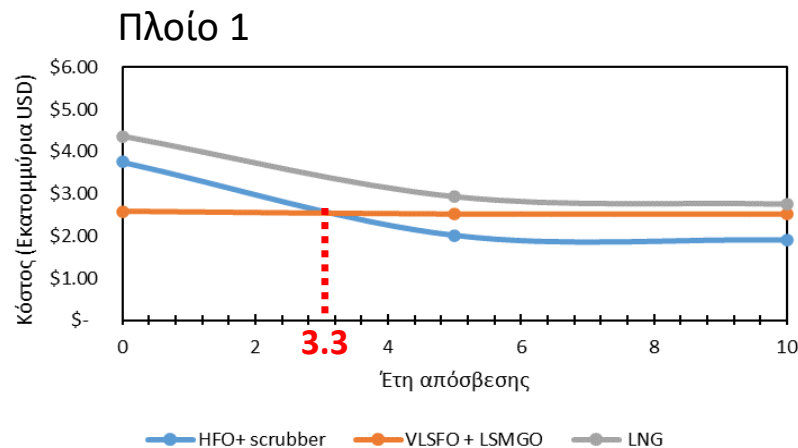


Αποτελέσματα για τα δύο πλοία με πενταετή απόσβεση

	HFO + Scrubber	VLSFO + LSMGO	LNG
Πλοίο 1	\$2,345,759,29	\$2,580,813.27	\$ 2,989,885.50
Πλοίο 2	\$2,879,121,24	\$2,909,138.72	\$ 3,653,154.60

- Η επιλογή **HFO + Scrubber** πιο οικονομική και για τα δύο Πλοία
- Η διαφορά με **VSLFO – LSMGO** μειώνεται στο Πλοίο 2.
- Η επιλογή **LNG** λιγότερο οικονομική κατά **25%** και για τα δύο Πλοία.
- Αυξημένα όλα τα κόστη για το Πλοίο 2.

Παραμετρική Διερεύνηση Αποπληρωμής



- Παραμετρική ανάλυση των σεναρίων για αποπληρωμή 0 και 10 έτη.
- Μέσος χρόνος αποπληρωμής Scrubber 4 έτη.
- Σενάριο LNG παραμένει πιο ακριβό.

Ερμηνεία Αποτελεσμάτων – Συσχέτιση με Σημερινή Αγορά

- **Παράμετροι που επηρεάζουν το πρόβλημα**

- Διαφορές ανάμεσα στις τιμές των καυσίμων (*DNV GL., 2018*)
- Το μέγεθος του πλοίου (ναύλα, κατανάλωση, δαπάνες τροποποίησης)
- Ο τύπος του Scrubber
- Το ταξίδι μελέτης (ECA, πετρελεύσεις)

«Assuming a price spread between HFO and compliant fuel greater than 100USD/ton there is a positive business case and short pay back time for most ship sizes»

- **Η πλειοψηφία των πλοιοκτητών έχει επιλέξει την επιλογή VLSFO (*Kyriakis, 2021*).**

- «Όρεξη» για επένδυση (διαθέσιμο κεφάλαιο, υπάρχων στόλος)
- Διαθεσιμότητα των καυσίμων (HFO, LNG)
- Τεχνικές δυσκολίες (Νέες τεχνολογίες)

Συνοπτική Σύγκριση Εναλλακτικών

HFO + Scrubber

- + Χαμηλό κόστος καυσίμου
- + Εμπειρία στη χρήση καυσίμου
- + Δίκτυο τροφοδοσίας
- + Μη απαίτηση αλλαγής καυσίμου στις ECA
- Κόστος εγκατάστασης Scrubber
- Απαίτηση σε χώρο
- Αυξημένη τεχνογνωσία
- Αύξηση σε κατανάλωση καυσίμου
- Τοπικοί περιορισμοί χρήσης

VLSFO + LSMGO

- + Καθαρότερο καύσιμο
- + Μη απαίτηση επένδυσης
- + Μη απαίτηση τεχνικής τροποποίησης
- + Δίκτυο τροφοδοσίας
- Περιορισμένη εμπειρία
- Ασυμβατότητα καυσίμων
- Ανάγκη χρήσης LSMGO στις ECA

LNG

- + Καθαρότερο καύσιμο
- Κόστος εγκατάστασης
- Απαίτηση τροποποίησης
- Αυξημένη τεχνογνωσία
- Απαίτηση σε χώρο
- Δίκτυο τροφοδοσίας
- Υψηλό κόστος καυσίμου

Εθνικό
Μετσόβιο
Πολυτεχνείο



Επίλογος – Προτάσεις για Έρευνα

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα:

- Αξιοποίηση Big Data Analysis & Cloud Computing.
- Διερεύνηση επιλογών συμμόρφωσης για νέα πλοία ή για άλλους τύπους πλοίων.
- Παραμετρική ανάλυση ως προς τις τιμές των καυσίμων.
- Πιο σφαιρική μελέτη με γνώμονα την καθολική μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

«Τροφή για σκέψη»:

- Η προστασία του περιβάλλοντος απαιτεί τολμηρές λύσεις, με λήψη ρίσκων από όλες τις μεριές.
- Δεδομένης της γενικότερης αστάθειας και αβεβαιότητας που επικρατεί τα τελευταία χρόνια, η υιοθέτηση τέτοιων λύσεων από την αγορά παρουσιάζει αυξημένες αντιστάσεις και καταφεύγουν σε ημίμετρα.
- Η περιβαλλοντική κρίση είναι ακόμα εδώ, και οι κανονισμοί θα συνεχίσουν να αυστηροποιούνται στο μέλλον.

Ευχαριστώ Πολύ!!