

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

«SCRUBBERS:ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ»

Νικόλαος Βάκος

Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών

του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των

απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού

Διπλώματος Ειδίκευσης στην Ναυτιλία

Πειραιάς

Οκτώβριος 2015

Δήλωση Αυθεντικότητας

«Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στην βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), της φύσης του υλικού, που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος, που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου».

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

«Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από τη ΓΣΕΣ του Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ναυτιλία.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- Τζαννάτος Ερνέστος-Σπυρίδων (Καθηγητής, Επιβλέπων)
- Παπαδημητρίου Ευστράτιος (Καθηγητής)
- Τσελεπίδης Αναστάσιος (Καθηγητής)

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.»

Πρόλογος

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης του μεταπτυχιακού προγράμματος στη Ναυτιλία του Πανεπιστημίου Πειραιά. Μέσα από την εργασία αυτή μου δόθηκε η δυνατότητα να εμπλουτίσω τις γνώσεις μου σε ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον, όσο και επίκαιρο θέμα για τη ναυτιλία. Παράλληλα μου δόθηκε η δυνατότητα να ικανοποιήσω το ερευνητικό μου ενδιαφέρον γύρω από το συγκεκριμένο τομέα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους ανεξαιρέτως τους καθηγητές του μεταπτυχιακού προγράμματος γιατί όλοι συνείσφεραν σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό στο να μάθω περισσότερα για τον κλάδο της ναυτιλίας και να αποκομίσω εμπειρίες που θα μου φανούν χρήσιμες στην προσωπική κι επαγγελματική μου εξέλιξη.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες αξίζουν στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Τζαννάτο για τις πολύτιμες συμβουλές και κατευθύνσεις που μου προσέφερε κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα άλλα δύο μέλη της εξεταστικής επιτροπής, κκ. Παπαδημητρίου και Τσελεπίδη πρωτίστως γιατί είχα τη χαρά να τους γνωρίσω καλύτερα κατά τη διάρκεια του προγράμματος και δευτερευόντως γιατί με έκαναν καλύτερο άνθρωπο και δευτερευόντως φοιτητή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και την κοπέλα μου για την υπομονή και τη στήριξη τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Οι νέοι αυστηρότεροι περιβαλλοντικοί κανονισμοί σχετικά με την επιτρεπόμενη περιεκτικότητα των καύσιμων σε θείο εντός ζωνών ECA δημιουργούν μια νέα πιεστική πραγματικότητα για τις ναυτιλιακές επιχειρήσεις. Προκειμένου να την αντιμετωπίσουν πρέπει να επιλέξουν ανάμεσα στη χρήση distillates ή συμβατικών καυσίμων με παράλληλη εγκατάσταση πλυντριδών (scrubbers). Το πολυσχιδές του θέματος απαιτεί την παρουσίαση του κάθε πιθανού τρόπου συμμόρφωσης στους κανονισμούς, ώστε να βοηθήσει τον αναγνώστη να κατανοήσει τις δυσκολίες του θέματος. Παράλληλα έγινε περίληψη όλης της διαθέσιμης βιβλιογραφίας για την περιβαλλοντική και οικονομική αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων. Πηγαίνοντας την ανάλυση παρακάτω, χρησιμοποιήθηκε ένα τελευταίας τεχνολογίας ultra large containership της Maersk και το δρομολόγιο που ενώνει τα δυο μεγαλύτερα λιμάνια Ευρώπης και Ασίας, για να γίνει οικονομική αξιολόγηση της εγκατάστασης scrubber. Εξετάζονται τρία πιθανά σενάρια σχετικά με το χρόνο έκθεσης σε ζώνη ECA και διαφορετικά προφίλ λειτουργίας. Επίσης, εξετάζεται ο ρόλος του χρόνου εγκατάστασης του scrubber στην οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης.

Λέξεις-κλειδιά: scrubbers, ECA, distillates, θείο, κανονισμοί

Abstract

The newly-introduced environmental regulations regarding the fuels' content in sulphur inside ECA zones creates a new reality for shipping companies. In order to face this reality, they have to choose between consuming distillate fuels or conventional fuels along with the installation of a scrubber. This multi-sectoral problem requires the presentation of the two available means of conformity, so the reader can fully comprehend the difficulties of the issue. In the meanwhile, the majority of the publicly available bibliography was reviewed, regarding the environmental and economic assessment. Moving forward, a sophisticated ultra-large containership, which trades in the busiest ports of Europe and Asia, was used for assessing the economics of scrubber installation. Three possible scenarios are examined concerning the exposure time in ECA zone and different operating profiles. Moreover, for the sake of economic assessment of scrubber installation, the timing of the installation is also examined.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	12
Κεφάλαιο Πρώτο – Ρυθμιστικό πλαίσιο	15
1.1 Αέριες εκπομπές ρύπων	15
1.1.1 IMO	15
1.1.2 Ευρωπαϊκή Ένωση	18
1.1.3 Ηνωμένες Πολιτείες	18
1.1.4 Καλιφόρνια	19
1.2 Ρυθμίσεις για την εγκατάσταση και λειτουργία scrubbers	20
1.2.1 Scheme A	22
1.2.2 Scheme B	23
1.3 Περιβαλλοντικά κριτήρια για τη λειτουργία scrubbers	24
1.3.1 Απορρίψεις νερού	25
1.3.2 Κριτήριο pH	25
1.3.3 Κριτήριο PAH's	26
1.3.4 Θολότητα	26
1.3.5 Νιτρικά άλατα	26
Κεφάλαιο Δεύτερο – Distillates (MGO/MDO)	28
2.1 Χαρακτηριστικά MGO/MDO	28
2.2 Προκλήσεις και προβλήματα κατά την εναλλαγή καυσίμου	31
2.3 Τροποποιήσεις στα συστήματα καυσίμου	33
2.3.1 Storage Tanks	34
2.3.2 Service Tanks	34
2.3.3 Training	34
2.4 Μελλοντική διαθεσιμότητα και τιμές distillates	35

Κεφάλαιο Τρίτο – Exhaust Gas Cleaning Systems (scrubbers)	42
3.1 Τύποι scrubbers.....	45
3.1.1 Open-loop scrubbers	45
3.1.2 Closed-loop scrubbers	47
3.1.3 Hybrid scrubbers	49
3.1.4 Dry scrubbers.....	50
3.2 Σύγκριση τεχνολογιών scrubbers.....	51
3.2.1 Λειτουργία σε freshwater	51
3.2.2 Λειτουργία με μηδενικές απορρίψεις νερού έκπλυσης	52
3.2.3 Βάρος.....	52
3.2.4 Κατανάλωση ενέργειας	52
3.2.5 Συμβατότητα με συστήματα SCR	52
3.2.6 Μείωση των PM	53
3.2.7 Εμφάνιση καπνού.....	53
3.2.8 Απόσβεση του θορύβου της μηχανής.....	53
3.3 Προκλήσεις από την εγκατάσταση scrubbers	53
3.4 Άλλοι λόγοι που αποθαρρύνουν την εγκατάσταση scrubbers.....	56
Κεφάλαιο Τέταρτο – Περιβαλλοντική Αξιολόγηση	58
4.1 Αέριες εκπομπές ρύπων	58
4.1.1 Εκπομπές Sox.....	58
4.1.2 Εκπομπές CO ₂	60
4.2 Απορρίψεις νερού	61
4.2.1 Ποιότητα νερού και συσχέτιση με Marine Strategy Framework.....	61
4.2.2 Η χρήση scrubbers σε λιμένες.....	65
Κεφάλαιο Πέμπτο – Οικονομική Αξιολόγηση	66

Κεφάλαιο Έκτο – Μεθοδολογία	79
6.1 Το πλοίο-υπόδειγμα.....	79
6.2 Το scrubber.....	82
6.3 Η διαδρομή	83
6.4 Τα σενάρια	84
6.5 Τα καύσιμα.....	85
6.6 Μέθοδοι Αξιολόγησης	85
Κεφάλαιο Έβδομο – Αποτελέσματα έρευνας.....	87
Συμπεράσματα έρευνας	94
Βιβλιογραφία	98
Παραρτήματα.....	104
1. Basecase scenario	104
2. Mediterranean ECA scenario	105
3. Pan-European ECA scenario	106
4. Basecase scenario Newbuild	107
5. Basecase scenario 5-years vessel	108
6. Basecase scenario 10-years vessel	109
7. Basecase scenario 15-years vessel	110
8. Basecase scenario (Double fuel prices).....	111

Κατάλογος Πινάκων και Διαγραμμάτων

Πίνακες

1. Οι ισχύουσες ζώνες ECA	16
2. Η ανώτατη επιτρεπτή περιεκτικότητα καυσίμων σε θείο ανά έτος	17
3. Οι απαιτήσεις του CARB σχετικά με την περιεκτικότητα καυσίμων	20
4. Αντιστοιχία SO ₂ / CO ₂ με την ισοδύναμη περιεκτικότητα σε θείο	21
5. Απαιτούμενα έγγραφα/πιστοποιητικά για τα Schemes A και B	24
6. Χαρακτηριστικά των distillates DMA και DMB Grade σύμφωνα με το ISO:8217 (2012)	30
7. Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MDO MGO στο Rotterdam	36
8. Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MDO MGO στη Σιγκαπούρη	36
9. Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MDO MGO στο Houston	37
10. Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MDO MGO στη Fujairah	37
11. Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MDO MGO στο Panama	38
12. Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MGO στο Γιβραλτάρ	38
13. Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MDO στη Philadelphia	39
14. Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MDO στο Fos	39
15. Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MDO στο Los Angeles	40
16. Μέγιστη περιεκτικότητα καυσίμου σε θείο ανά scrubber για την επίτευξη εκπομπών ισοδύναμων του 0,1%	59
17. Ποσοστά μείωσης αέριων ρύπων από scrubbers	60
18. Ποσοστά αύξησης εκπομπών CO ₂ ανά τύπο scrubber	61
19. Επιβλαβείς ουσίες στο νερό έκπλυσης του Ficaria Seaways και σύγκριση τους με τους δείκτες AA EQS και MAC EQS	63
20. Δεδομένα της έρευνας του Reynolds (2011)	66
21. Αποτελέσματα της σύγκρισης διαφορετικών δρομολογίων	67
22. Αποτελέσματα της σύγκρισης διαφορετικών τύπων scrubbers	68
23. Χαρακτηριστικά Maersk McKinney-Moeller	80
24. Στοιχεία κύριων μηχανών του Maersk McKinney-Moeller	81
25. Στοιχεία βοηθητικών μηχανών του Maersk McKinney-Moeller	82
26. Χαρακτηριστικά closed-loop scrubber έρευνας	83
27. Ανάλυση σεναρίων της έρευνας	85

28. Οικονομική Αξιολόγηση κατά το βασικό σενάριο	87
29. Οικονομική Αξιολόγηση κατά το σενάριο της Μεσογειακής ECA	88
30. Οικονομική Αξιολόγηση κατά το σενάριο της Πανευρωπαϊκής ECA	89
31 Καθαρή Παρούσα Αξία κι έτος εγκατάστασης scrubber	91
32. Καθαρή Παρούσα Αξία και τιμές καυσίμων	92
33. Σύγκριση Καθαρής Παρούσας Αξίας για διαφορετικές τιμές καυσίμων	93

Διαγράμματα

1 Οι εγκαταστάσεις scrubbers σε νέα και μεταχειρισμένα πλοία	43
2. Οι εγκαταστάσεις scrubbers ανά κατηγορία πλοίου	43
3. Οι εγκαταστάσεις scrubbers ανά τύπο	44
4. Τυπική λειτουργία ενός open-loop scrubber	46
5. Τυπική λειτουργία ενός closed-loop scrubber	48
6. Τυπική λειτουργία ενός hybrid scrubber	50
7. Σύγκριση των δύο εναλλακτικών συμμόρφωσης ως προς την NPV	70
8. Σύγκριση των δύο εναλλακτικών συμμόρφωσης ως προς το payback period ..	70
9. Σύγκριση των δύο εναλλακτικών συμμόρφωσης ως προς το payback period για διαφορετικούς χρόνους έκθεσης σε ECA	71
10. Σύγκριση των δύο εναλλακτικών συμμόρφωσης ως προς το Καθαρό Κέρδος (EANP)	73
11. Σύγκριση των δύο εναλλακτικών συμμόρφωσης ως προς το Καθαρό Όφελος (EANB)	73
12. Υπάρχοντα πλοία με μηχανή 4000KW	74
13. Νεότευκτα πλοία με μηχανή 4000KW	75
14. Υπάρχοντα πλοία με μηχανή 12000KW	76
15. Νεότευκτα πλοία με μηχανή 12000KW	76
16 Ετήσιες δαπάνες καυσίμου κατά το βασικό σενάριο	88
17. Ετήσιες δαπάνες καυσίμου κατά το σενάριο της Μεσογειακής ECA	89
18. Ετήσιες δαπάνες καυσίμου κατά το σενάριο της Πανευρωπαϊκής ECA	90
19. Καθαρή Παρούσα Αξία κι έτος εγκατάστασης scrubber	92

Εισαγωγή

Η διπλωματική αυτή εργασία προήλθε από τον έντονο προβληματισμό του συγγραφέα, αλλά και της πλειοψηφίας της ναυτιλιακής κοινότητας σχετικά με το αυστηρότερο ρυθμιστικό πλαίσιο που ισχύει από 1/1/2015, με βάση το οποίο καθορίζεται η χρήση καυσίμων με μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο σε 0.1% εντός των ζωνών ECA. Η ανάγκη συμμόρφωσης με τους νέους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και ο περιορισμένος αριθμός εναλλακτικών λύσεων που υπάρχουν διαθέσιμες στην αγορά, καθιστούν ακόμα πιο πιεστική και επείγουσα την επιλογή του τρόπου συμμόρφωσης με το μικρότερο δυνατό κόστος και τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση.

Οι εναλλακτικοί τρόποι συμμόρφωσης που ήταν άμεσα διαθέσιμοι την περίοδο εκπόνησης της εργασίας αυτής ήταν δύο: είτε η χρήση καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (βασικά MGO/MDO) εντός ζωνών ECA, είτε η κατανάλωση συμβατικών ναυτιλιακών καυσίμων (HFO) μαζί με την εγκατάσταση συστημάτων έκπλυσης καυσαερίων (scrubbers). Δεδομένου ότι η εργασία αυτή εκπονήθηκε μετά την εφαρμογή των νέων κανονισμών, κρίθηκε σκόπιμο από το συγγραφέα να συγκριθούν και αξιολογηθούν οι δυο λύσεις που μπορούν άμεσα να εφαρμοστούν από τις ναυτιλιακές εταιρίες. Για το λόγο αυτό δεν εξετάστηκε η λύση του υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) από τα πλοία.

Ένας ακόμη λόγος που προκάλεσε το ενδιαφέρον του συγγραφέα για τη μελέτη του συγκεκριμένου θέματος είναι ότι άπτεται τριών διαφορετικών ειδικοτήτων, καθώς περιλαμβάνει θέματα τεχνικού, οικονομικού και φυσικά περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος. Προκειμένου να γίνουν σαφή στον αναγνώστη τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε τρόπου συμμόρφωσης, αφιερώνεται σημαντικό μέρος της εργασίας στην ανάλυση τους.

Επιπλέον, γίνεται εκτενής αναφορά στην ευθεία σύγκριση των δυο στρατηγικών συμμόρφωσης τόσο ως προς την επίτευξη του περιβαλλοντικού στόχου (δηλαδή τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου σε σχεδόν μηδενικά επίπεδα), όσο και ως προς την οικονομική τους ελκυστικότητα. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκε και περιλήφθηκε το μεγαλύτερο μέρος της διαθέσιμης δημοσιευμένης βιβλιογραφίας.

Ωστόσο, θεωρήθηκε σκόπιμο να αξιολογηθεί από οικονομικής άποψης η επένδυση σε scrubbers για ένα πραγματικό πλοίο (το Maersk McKinney Moeller). Για το σκοπό

αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα πραγματικά δεδομένα του πλοίου, προσθέτοντας τον παράγοντα του ρεαλισμού στο μοντέλο της εργασίας. Ωστόσο, η έλλειψη διαθέσιμων στοιχείων για scrubbers τέτοιου μεγέθους μηχανής, οδήγησε σε ορισμένες παραδοχές από παλαιότερες δημοσιευμένες έρευνες. Το μέσο για την οικονομική αξιολόγηση είναι η ανάλυση σεναρίων (scenario analysis), όπου το επιλεγμένο πλοίο χρησιμοποιείται σε διαφορετικά προφίλ λειτουργίας (έκθεσης σε ζώνη ECA), επηρεάζοντας ανάλογα τα αποτελέσματα. Ακόμα, εξετάζεται ο ρόλος της ηλικίας του πλοίου και του χρόνου εγκατάστασης στην αξιολόγηση της επένδυσης. Για την αξιολόγηση της επένδυσης χρησιμοποιούνται τρία γνωστά επενδυτικά κριτήρια: η μέθοδος της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV), ο Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (IRR) και η περίοδος επανείσπραξης (payback period).

Η εργασία αυτή θεωρείται ότι επεκτείνει την υπάρχουσα δημοσιευμένη βιβλιογραφία, καθώς είναι η πρώτη του είδους της που αξιολογεί την εγκατάσταση scrubbers σε ultra large containership, ενώ εξετάζει και δυο σενάρια που δεν έχουν μελετηθεί σε άλλες έρευνες. Τέλος, η μελέτη αυτή έρχεται να επιβεβαιώσει τα αποτελέσματα παλαιότερων ερευνών σχετικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή του τρόπου συμμόρφωσης στους νέους κανονισμούς.

Η εργασία είναι δομημένη με τον εξής τρόπο:

- Στο Πρώτο Κεφάλαιο αναλύεται το ρυθμιστικό πλαίσιο και οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί, τόσο όσον αφορά τον περιορισμό των αέριων εκπομπών θείου, όσο και τη χρήση και λειτουργία των scrubbers
- Στο Δεύτερο Κεφάλαιο αναλύονται τα αποστάγματα (distillates) που χρησιμοποιούνται για την εναλλαγή καυσίμου, καθώς και οι απαραίτητες τροποποιήσεις στο πλοίο. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται για τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν, αλλά και οι εκτιμήσεις για τις μελλοντικές διακυμάνσεις των τιμών και τη διαθεσιμότητα τους
- Στο Τρίτο Κεφάλαιο αναλύονται τα χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων scrubbers καθώς και τροποποιήσεις στο πλοίο και προβλήματα που μπορεί να προκύψουν
- Στο Τέταρτο Κεφάλαιο γίνεται η περιβαλλοντική αξιολόγηση των δυο στρατηγικών συμμόρφωσης ως προς τις ατμοσφαιρικές εκπομπές και ως προς τις αποβολές του νερού έκπλυσης από τη χρήση των scrubbers

- Στο Πέμπτο Κεφάλαιο γίνεται η οικονομική αξιολόγηση των δυο στρατηγικών συμμόρφωσης από τη δημοσιευμένη βιβλιογραφία
- Στο Έκτο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η Μεθοδολογία και οι απαιτούμενες υποθέσεις για την πραγματοποίηση της έρευνας
- Στο Έβδομο Κεφάλαιο γίνεται η οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης σε scrubbers για καθένα από τα τρία σενάρια, αλλά και βάσει του χρόνου εγκατάστασης του συστήματος, καθώς και το πώς μεταβάλλεται η αξιολόγηση σε ενδεχόμενο διπλασιασμό των τιμών καυσίμων
- Στα Συμπεράσματα αναλύονται τα αποτελέσματα της ερευνητικής διαδικασίας και γίνεται σύνοψη της εργασίας, καθώς και προτάσεις για μελλοντική έρευνα
- Στη Βιβλιογραφία παρατίθενται οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας
- Στα Παραρτήματα παρουσιάζεται διεξοδικά τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν στο Έβδομο κεφάλαιο

Κεφάλαιο Πρώτο

Ρυθμιστικό πλαίσιο

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθεί το ρυθμιστικό πλαίσιο σχετικά με τις εκπομπές ρύπων Sox, καθώς και τις απαιτήσεις που επιβάλλονται από τους διεθνείς οργανισμούς σχετικά με την περιεκτικότητα σε θείο (S) των ναυτιλιακών καυσίμων και φυσικά η θέσπιση ζωνών ECA. Το ρυθμιστικό πλαίσιο θεσμοθετείται τόσο σε διεθνές επίπεδο (IMO), όσο και σε περιφερειακό (EU, USA) και τέλος σε τοπικό (California). Το δεύτερο μέρος του κεφαλαίου ασχολείται με τις ρυθμίσεις που αφορούν τα scrubbers, ως εναλλακτικό μέσο συμμόρφωσης στους νέους περιβαλλοντικούς κανονισμούς.

1.1 Αέριες Εκπομπές ρύπων

1.1.1 Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO)

Η προσοχή του διεθνούς ναυτιλιακού οργανισμού (IMO) στον περιορισμό των εκπομπών SOx ξεκινά το 1997, όταν υιοθετήθηκε το Παράρτημα VI (Annex VI) της συνθήκης MARPOL, το οποίο εν τέλει ίσχυσε από τις 19 Μαΐου 2005 (IMO, 2015b). Το Annex VI επέφερε μια σειρά από δραστικές αλλαγές στο ρυθμιστικό πλαίσιο για τις αέριες εκπομπές.

Πιο συγκεκριμένα, έθετε όρια στις εκπομπές οξειδίων του θείου (SOx) και αζώτου (NOx) και απαγόρευε την εκπομπή αερίων που έβλαπταν το στρώμα του όζοντος. Ωστόσο, η πιο δραστική αλλαγή που επέφερε το Παράρτημα ήταν η δημιουργία των ζωνών SECA's (Sulphur Emission Controlled Areas). Αυτό προέκυψε λόγω της περιβαλλοντικής ευαισθησίας των περιοχών αυτών, αλλά και του μεγάλου αριθμού πλοίων που αύξαναν τις επιπτώσεις των αέριων ρύπων στην ανθρώπινη υγεία. Η πρώτη τέτοια ζώνη που δημιουργήθηκε ήταν η περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας, ενώ το 2005 ορίστηκε ως ζώνη SECA και η Βόρεια Θάλασσα (IMO, 2015b). Με τη Resolution MEPC 190(60) νομοθετήθηκε η ECA Βόρειας Αμερικής που καλύπτει ακτές των ΗΠΑ και του Καναδά, με ισχύ από 1/8/2012. Ο IMO δημιούργησε ακόμα μια ζώνη ECA που καλύπτει την Καραϊβική, το Πουέρτο-Ρίκο και τις Παρθένες Νήσους, με ισχύ από 1/1/2014 (ABS, 2013). Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει τις ζώνες ECA που ισχύουν σήμερα.

Πίνακας 1

Emission Control Areas σε εφαρμογή			
Region	Date Adopted	Date Entry Into Force	In Effect From
Baltic Sea (SO _x)	26 Sept 1997	19 May 2005	19 May 2006
North Sea (SO _x)	22 Jul 2005	22 Nov 2006	22 Nov 2007
North American ECA (SO _x and PM)	26 Mar 2010	1 Aug 2011	1 Aug 2012
United States Caribbean Sea ECA (SO _x and PM)	26 Jul 2011	1 Jan 2013	1 Jan 2014

Source: IMO, 2015c

Επιπρόσθετα, το Annex VI περιελάμβανε το Regulation 14, το οποίο έθετε ένα ανώτατο όριο στην περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων σε παγκόσμιο επίπεδο στο 4,5%. Το ποσοστό αυτό εκφραζόταν ως ποσοστό του βάρους και ήταν ακόμα χαμηλότερο για τις περιοχές SECA, στα επίπεδα του 1,5% (IMO, 2015d). Επιπλέον, το Regulation 14 καθιστά υποχρεωτική την παρακολούθηση της περιεκτικότητας θείου στα καύσιμα σε συνάρτηση με τις οδηγίες που προκύπτουν από τις αποφάσεις του IMO (ABS, 2013).

Επιπλέον, το Regulation 14 του IMO προβλέπει τις διαδικασίες που θα πρέπει να ακολουθηθούν στην περίπτωση που επιλεγεί η εναλλαγή καυσίμου (fuel change-over) ως στρατηγική συμμόρφωσης στους κανονισμούς του οργανισμού. Έτσι, ορίζεται σαφώς ότι το πλοίο θα πρέπει να έχει ολοκληρώσει την εναλλαγή του HFO με συμβατό καύσιμο (συνήθως MGO) πριν την είσοδο στη ζώνη ECA. Αντίστοιχα, η εναλλαγή του MGO με HFO θα πρέπει να ξεκινήσει μετά την έξοδο από τη ζώνη ECA. Και στις δύο περιπτώσεις θα πρέπει να γίνεται καταγραφή των ποσοτήτων των συμβατών καυσίμων, καθώς και της ημέρας, ώρας και θέσης του πλοίου στο logbook του πλοίου (IMO, 2015d).

Τον Οκτώβριο του 2008 ο IMO αναθεώρησε το Παράρτημα VI της MARPOL με την MEPC 176(58) (IMO, 2015a). Βάσει της νέας απόφασης τα ανώτατα επιτρεπόμενα

όρια θείου στα καύσιμα μειώθηκαν στο 3,5% παγκοσμίως από 1/1/2012 ενώ για τις ζώνες ECA καθορίστηκε περιεκτικότητα σε 1% από 1/1/2010. Ωστόσο, ο IMO δεν έμεινε εκεί αλλά επέβαλλε από 1/1/2015 περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο στο 0.10% εντός ζωνών ECA και από 1/1/2020 σε 0,50% σε παγκόσμιο επίπεδο. Η επιβολή του τελευταίου ορίου όμως εξαρτάται από τα αποτελέσματα της μελέτης του IMO σχετικά με τη διαθεσιμότητα και επάρκεια των καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, και η οποία θα πρέπει να έχει ολοκληρωθεί μέχρι το 2018. Συνοπτικά, ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τα όρια σε θείο τόσο παγκοσμίως, όσο και εντός ζωνών ECA ανά έτος εφαρμογής (ABS, 2013).

Πίνακας 2: Η ανώτατη επιτρεπτή περιεκτικότητα καυσίμων σε θείο ανά έτος

Περιεκτικότητα σε θείο των ναυτιλιακών καυσίμων		
	GLOBAL	ECA
Initial limits	4.50%	1.50%
1 July 2010	4.50%	1.00%
1 Jan. 2012	3.50%	1.00%
1 Jan. 2015	3.50%	0.10%
1 Jan. 2020	0.50%	0.10%
Πηγή: ABS, 2013		

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η αναθεώρηση του Annex VI επαναπροσδιόρισε τον ορισμό των SECA σε ECA, ώστε να περιλαμβάνει όχι μόνο τη μείωση των SO_x, αλλά και των NO_x και των PM (Particulate Matter) (ABS, 2013).

1.1.2 Ευρωπαϊκή Ένωση (EU)

Η ΕΕ μέσω των Οδηγιών της Commission ευθυγραμμίστηκε με τις αποφάσεις του ΙΜΟ σχετικά με την περιεκτικότητα των ναυτιλιακών καυσίμων σε θείο, με απώτερο στόχο τη μείωση των εκπομπών SO_x. Οι Οδηγίες που νομοθέτησε ισχύουν για όλα τα πλοία, όλων των σημαιών, ακόμα και για πλοία που ξεκίνησαν το ταξίδι τους εκτός ΕΕ. Πιο συγκεκριμένα, η ΕΕ νομοθέτησε την Οδηγία 1999/32 EC, η οποία προβλέπει ότι η μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο δε θα πρέπει να ξεπερνά το 3,50%, με εξαίρεση καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε πλοία που έχουν εγκαταστήσει scrubbers. Αντίστοιχα, η Οδηγία ορίζει ότι η περιεκτικότητα των αποσταγμάτων (distillates) δε θα πρέπει να ξεπερνά το 0.1%. Αναφορικά με τις ζώνες ECA, προβλέπεται η χρήση καυσίμων με μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο 1% μέχρι τις 31/12/2014 και 0,1% από την 1/1/2015. Ακόμα, ορίζεται σαφώς η χρήση καυσίμων με περιεκτικότητα 0,1% για πλοία που εισέρχονται σε ευρωπαϊκούς λιμένες. Παρέχεται αρκετός χρόνος ώστε να ολοκληρωθεί η εναλλαγή καυσίμου μέχρι και την άφιξη του πλοίου στο λιμένα και μέχρι τον απόπλου του πλοίου από το λιμάνι αντίστοιχα (EU, 2012).

Η Οδηγία 1999/32 EC επικαιροποιήθηκε με τις νέες αποφάσεις του ΙΜΟ και αναθεωρήθηκε με την Οδηγία 2012/33 EC. Σε αυτή προβλέπεται η χρήση καυσίμου μέγιστης περιεκτικότητας σε θείο 0,5% από 1/1/2020 σε όλες τις περιοχές εκτός ECA, ανεξάρτητα από τα αποτελέσματα της μελέτης του ΙΜΟ για τη διαθεσιμότητα των καυσίμων (ABS, 2013). Τέλος, η Οδηγία προβλέπει ότι θα παρακολουθεί όλες τις διεθνείς εξελίξεις και τις αποφάσεις του ΙΜΟ, ώστε να κινείται στην ίδια κατεύθυνση με αυτές μελλοντικά (EU, 2012).

1.1.3 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (USA)

Οι ΗΠΑ υιοθέτησαν το Annex VI της MARPOL με το Title 40 του Κώδικα Ομοσπονδιακών Ρυθμίσεων (Code of Federal Regulations, CFR) Part 1043. Το συγκεκριμένο κομμάτι του Κώδικα έχει στόχο τη μείωση των εκπομπών SO_x, NO_x και των ΡΜ από τα πλοία. Η ισχύς του Κώδικα καλύπτει όλα τα πλοία που φέρουν τη σημαία των ΗΠΑ, καθώς και πλοία ξένης σημαίας που πλέουν εντός των υδάτων των ΗΠΑ ή της Αποκλειστικής Οικονομικής Ζώνης τους (ABS, 2013).

Μέσα από το CFR 40, Part 1043 οι ΗΠΑ αποδέχονται πλήρως τις αποφάσεις του IMO σχετικά με τον περιορισμό των SOx που περιγράφηκαν στην ενότητα 1.1.1. Αυτό ισχύει τόσο για τους χρονικούς περιορισμούς και τους χρόνους εφαρμογής των αποφάσεων, όσο και για τα ανώτατα όρια περιεκτικότητας σε θείο εντός κι εκτός ζωνών ECA (EPA, 2015).

1.1.4 California

Εκτός από τον Ομοσπονδιακό Κώδικα Ρυθμίσεων που αναλύθηκε ανωτέρω, η Πολιτεία της California μέσω του δικού της Ρυθμιστικού Φορέα California Air Resources Board (CARB) θέσπισε τη χρήση distillates σε απόσταση 24 ναυτικών μιλίων από τις ακτές της από τον Ιούλιο του 2009. Η χρήση αποσταγμάτων αφορά τόσο τις κύριες, όσο και τις βοηθητικές μηχανές του πλοίου. Επιτρέπονται ωστόσο δύο περιπτώσεις μη-συμμόρφωσης: i)όταν το πλοίο απλά περνά από την περιοχή και ii) σε επείγουσες συνθήκες όπου η συμμόρφωση θα έθετε το πλοίο ή/και τους επιβάτες σε κίνδυνο (Lloyds Register, 2015).

Μετά και την εφαρμογή του κανονισμού από τον Ιούλιο του 2009, το CARB προχωρά σε βαθμιαία μείωση της περιεκτικότητας των αποσταγμάτων σε θείο το 2012 και το 2014. Μάλιστα, η California καθιστά υποχρεωτική τη χρήση distillates με 0,1% περιεκτικότητα σε θείο από 1/1/2014, ένα χρόνο νωρίτερα δηλαδή από τον αντίστοιχο κανονισμό του IMO (Lloyds Register, 2015). Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τις απαιτήσεις του CARB για την περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο.

Πίνακας 3

Απαιτήσεις του CARB για τα καύσιμα		
Fuel Requirement	Effective Date	Percent Sulfur Content Limit
Phase I	July 2009	Marine Gas Oil (DMA) at or below 1.5% sulfur; or Marine Diesel Oil (DMB) at or below 0.5% sulfur
	August 2012	Marine Gas Oil (DMA) at or below 1.0% sulfur; or Marine Diesel Oil (DMB) at or below 0.5% sulfur
Phase II	January 2014	Marine Gas Oil (DMA) at or below 0.1% sulfur; or Marine Diesel Oil (DMB) at or below 0.1% sulfur

Source: ABS, 2013

1.2 Ρυθμίσεις για την εγκατάσταση και λειτουργία scrubbers

Η εφαρμογή των αυστηρότερων περιβαλλοντικών κανονισμών που αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα οδήγησε στην εφαρμογή των συστημάτων καθαρισμού καυσαερίων (exhaust gas systems, EGS) ή εν συντομία scrubbers, στα πλοία ως στρατηγική συμμόρφωσης με αυτούς. Αρχικά, η πρόβλεψη για τη χρήση scrubbers στα πλοία είχε ενταχθεί στο Regulation 14, σχετικά με το στόχο μείωσης SO_x. Ωστόσο, με την αναθεώρηση του Annex VI το 2008, η πρόβλεψη για scrubbers και

οι σχετικές απαιτήσεις μεταφέρθηκαν στο Regulation 4, όπου αναλύονται αντίστοιχες λύσεις για την επίτευξη ισοδύναμων αποτελεσμάτων.

Η έγκριση του συστήματος έκπλυσης καυσαερίων αποτελείται από δύο μέρη: πρώτον, από τη θεσπισμένη διαδικασία έγκρισης βάσει της MARPOL σχετικά με την περιβαλλοντική απόδοση και δεύτερον, από τον αρμόδιο νηογνώμονα με βάσει τους δικούς του κανόνες και διαδικασίες. Ωστόσο, μπορεί να υπάρχουν και απαιτήσεις και από το κράτος-σημαία σχετικά με την περιβαλλοντική απόδοση του συστήματος (ABS, 2013).

Περαιτέρω, ο IMO εξέδωσε οδηγίες σχετικά με το νέο αυτό τρόπο συμμόρφωσης, οι οποίες περιλαμβάνονται στο Resolution MEPC 184(59). Οι οδηγίες αυτές αναφέρουν και το λόγο (ratio) SO₂ προς CO₂ προκειμένου να βρεθεί η αντιστοιχία με τα απαιτούμενα όρια μείωσης των SO_x (ABS, 2013). Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει την αντιστοιχία του λόγου SO₂/ CO₂ για την επίτευξη ισοδύναμης μείωσης της περιεκτικότητας σε θείο.

Πίνακας 4

Αντιστοιχία SO₂ /CO₂ με την περιεκτικότητα καυσίμων σε θείο	
Fuel Oil Sulfur Content (%m/m)	Ratio Emission SO₂ (ppm)/CO₂ (%v/v)
4.5	195
3.5	151.7
1.5	65
1	43.3
0.5	21.7
0.1	4.3

Source: ABS, 2013

Επιπρόσθετα, οι οδηγίες του IMO μεριμνούν και για τις απορρίψεις του νερού έκπλυσης (που χρησιμοποιείται από τα scrubbers) στο υδάτινο περιβάλλον, ώστε να αποφευχθεί η πρόκληση ζημιάς σε αυτό. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται διάφορα

κριτήρια για τη μέτρηση των βλαβερών ουσιών που περιέχονται στο νερό έκπλυσης, τα οποία θα αναλυθούν σε επόμενη ενότητα.

Οι οδηγίες του IMO ορίζουν δύο πιθανά σχέδια για την εγκατάσταση και λειτουργία scrubbers στα πλοία (Lloyds Register, 2015):

- **Scheme A:** Βασίζεται στην πιστοποίηση του scrubber σχετικά με την αποδοτικότητα του στη μείωση SOx. Περιλαμβάνει επίσης συνεχή παρακολούθηση των λειτουργικών παραμέτρων του συστήματος, αλλά και καθημερινά spot checks της απόδοσης του.
- **Scheme B:** Δεν απαιτείται πιστοποίηση, αλλά συνεχής καταγραφή των εκπομπών από ένα έγκυρο σύστημα. Επίσης, απαιτούνται καθημερινά spot checks των λειτουργικών παραμέτρων του συστήματος.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι η ΕΕ βάσει της Οδηγίας 2012/33 EC προβλέπει τη χρήση εναλλακτικών μέσων συμμόρφωσης, όπως τα scrubbers. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η συνεχής παρακολούθηση των εκπομπών και η μείωση των SOx σε επίπεδα που θα επιτυγχάνονταν και με τη χρήση συμβατών καυσίμων (EU, 2012). Ως εκ τούτου επιτρέπεται η εγκατάσταση και η λειτουργία scrubbers στα πλοία αλλά μόνο υπό το Scheme B. Όσον αφορά τις ΗΠΑ, φαίνεται ότι θα προτιμηθεί κι εκεί το Scheme B, ενώ για την California δεν επιτρέπεται η χρήση scrubbers, παρά μόνο συμβατά με ECA καύσιμα, δηλαδή distillates (Lloyds Register, 2015).

Τα δυο σχέδια (Schemes A&B) θα αναλυθούν περαιτέρω στις επόμενες ενότητες.

1.2.1 Scheme A

Στην περίπτωση αυτή πιστοποιείται η απόδοση του scrubber πριν ξεκινήσει η επιχειρησιακή λειτουργία του. Ο κατασκευαστής θα πρέπει να έχει εγκεκριμένο EGC system – Technical Manual (ETM-A) από κάποιο Οργανισμό. Στην περίπτωση που τα υποσυστήματα και οι λειτουργίες του scrubber συμβαδίζουν με το ETM-A του κατασκευαστή, τότε δεν απαιτείται συνεχής καταμέτρηση των εκπομπών του πλοίου (Lloyds Register, 2015).

Ένα άλλο πιστοποιητικό που απαιτείται ειδικά για το Scheme A είναι το SOx Emissions Compliance Certificate (SECC). Αυτό πιστοποιεί ότι το scrubber επιτυγχάνει το στόχο μείωσης των εκπομπών SOx σε συνεχή χρήση και με βάση τις παραμέτρους του ETM-A. Ο λόγος SO₂/CO₂ καθορίζει το στόχο μείωσης, ώστε να επιτυγχάνεται το ισοδύναμο επίπεδο μείωσης SOx όπως με τα συμβατά καύσιμα (distillates) που περιγράφονται στο Regulation 14 του IMO (Lloyds Register, 2015).

Η διαδικασία πιστοποίησης λαμβάνει χώρα πριν ή μετά την εγκατάσταση του scrubber επί του πλοίου. Ο κατασκευαστής δοκιμάζει την απόδοση του scrubber σε χαμηλό, μεσαίο και υψηλό επίπεδο ροής καυσαερίων, με ένα ή περισσότερα καύσιμα και στέλνει τα αποτελέσματα των δοκιμών σε αρμόδιο Οργανισμό (Νηογνώμονας ή Flag State) προς έγκριση. Με τη σύμφωνη γνώμη του Οργανισμού χορηγείται το SECC. Δίνεται μάλιστα η δυνατότητα σε έναν κατασκευαστή να πιστοποιήσει μια ολόκληρη γκάμα scrubbers όταν αυτά παράγονται σε σειρά, έχουν παρόμοια σχεδίαση, αλλά διαφορετική χωρητικότητα (Lloyds Register, 2015).

Μετά την εγκατάσταση πρέπει να γίνει επιθεώρηση του συστήματος, ώστε να εξακριβωθεί ότι η εγκατάσταση έγινε με βάση το ETM-A και το SECC. Για ακόμα καλύτερη συμμόρφωση προτείνεται να γίνεται συνεχής καταγραφή των λειτουργικών παραμέτρων και καθημερινά spot checks. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν λάθη ή παραλείψεις κατά τον έλεγχο του Νηογνώμονα, επαναχορηγείται το International Air Pollution Prevention Certificate, ώστε να περιλαμβάνει την εγκατάσταση του scrubber (ABS, 2013).

Επιπλέον, το πλοίο θα πρέπει να διαθέτει ένα εγκεκριμένο Onboard Monitoring Manual (OMM) που θα καταγράφει πληροφορίες σχετικά με το χρόνο και τη θέση του πλοίου. Οι πληροφορίες αυτές θα πρέπει να μπορούν να αποθηκεύονται για τουλάχιστον 18 μήνες και να είναι διαθέσιμες σε πιθανούς ελέγχους συμμόρφωσης του πλοίου. Τέλος, επί του πλοίου θα πρέπει να βρίσκεται εγκεκριμένο EGC Record Book, όπου θα αναφέρονται όλες οι τροποποιήσεις, επισκευές και εργασίες συντήρησης του scrubber (Lloyds Register, 2015).

1.2.2 Scheme B

Στην περίπτωση του Scheme B δεν απαιτείται αρχική έγκριση της απόδοσης του scrubber για τη μείωση των SOx, όπως στο Scheme A. Ωστόσο, απαιτείται η ύπαρξη

ενός συστήματος παρακολούθησης των εκπομπών που να αποδεικνύει ότι επιτυγχάνεται ο στόχος του λόγου SO₂/ CO₂ . Ο λόγος αυτός θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος, αν όχι μικρότερος από αυτόν που ορίζεται από το Regulation 14 του Annex VI. Το σύστημα παρακολούθησης των εκπομπών θα πρέπει να είναι εγκεκριμένο από αρμόδιο Οργανισμό και ελεγμένο στην αρχική επιθεώρηση (κατά την εγκατάσταση), όσο και σε επόμενες (Lloyds Register, 2015).

Στο Scheme B θα πρέπει να υπάρχει ένα εγκεκριμένο EGC system – Technical Manual (ETM-B) κατ’ αντιστοιχία με το EGC system – Technical Manual (ETM-A) του Scheme A. Το ETM-B θα πρέπει να παρέχει πληροφορίες για τη μονάδα καύσης στην οποία τοποθετείται, λειτουργικές τιμές και όρια, καθώς και τι θα πρέπει να γίνεται όταν δεν επιτυγχάνεται ο λόγος SO₂/ CO₂ . Τέλος, και στο Scheme B απαιτείται η ύπαρξη ενός Onboard Monitoring Manual (OMM) με τις λειτουργίες που περιγράφηκαν ανωτέρω (Lloyds Register, 2015).

Συνολικά, ο πίνακας 5 παρουσιάζει τα απαιτούμενα έγγραφα για τα Schemes A και B.

Πίνακας 5: Απαιτούμενα έγγραφα/πιστοποιητικά για τα Schemes A και B

Document	Scheme	
	A	B
SOx Emissions Compliance Plan (SECP)	X	X
SOx Emissions Compliance Certificate (SECC)	X	
EGC system – Technical Manual for Scheme A (ETM-A)	X	
EGC system – Technical Manual for Scheme B (ETM-B)		X
Onboard Monitoring Manual (OMM)	X	X
EGC Record Book or Electronic Logging System	X	X
Source: Lloyds Register, 2015		

1.3 Περιβαλλοντικά κριτήρια για τη λειτουργία scrubbers

1.3.1 Απορρίψεις νερού (Water Discharges)

Οι οδηγίες του IMO σχετικά με τα scrubbers περιλαμβάνουν εκτός των υπολοίπων και τα κριτήρια που θα πρέπει να πληρούνται σχετικά με τις απορρίψεις του νερού έκπλυσης στο περιβάλλον, προκειμένου να αποφευχθεί ζημιά σε αυτό. Ανεξάρτητα από το Scheme λειτουργίας του scrubber, θα πρέπει να παρακολουθείται στενά η κατάσταση του νερού έκπλυσης σε σχέση με τα καταγεγραμμένα δεδομένα (χρόνος και θέση του πλοίου). Η κατάσταση του νερού έκπλυσης αξιολογείται με βάση τέσσερα κριτήρια (Lloyds Register, 2015):

- pH (ως μέτρο οξύτητας)
- Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (PAH's)
- Θολότητα (ως μέτρο των PM)
- Νιτρικά άλατα

Υπάρχει επίσης η πρόβλεψη για περισσότερα κριτήρια στην περίπτωση που το scrubber χρησιμοποιεί χημικές ουσίες για την έκπλυση (Lloyds Register, 2015). Τέλος, οι οδηγίες καθιστούν σαφές ότι τα υπολείμματα σε μορφή λάσπης (sludge) από την έκπλυση θα πρέπει να συλλέγεται και να αποθηκεύεται επί του πλοίου και να παραδίδεται σε κατάλληλες εγκαταστάσεις στους λιμένες. Οι οδηγίες ορίζουν ότι δε θα πρέπει να γίνεται καύση ή αποβολή της λάσπης στη θάλασσα για κανένα λόγο, αλλά και ότι οι Οργανισμοί θα πρέπει να φροντίσουν για την ύπαρξη και επάρκεια εγκαταστάσεων υποδοχής κι επεξεργασίας λυμάτων, σύμφωνα με το Regulation 17 του Annex VI του IMO (ABS, 2013).

1.3.2 Κριτήριο pH

Το νερό έκπλυσης που αποβάλλεται στη θάλασσα δε θα πρέπει να έχει τιμή pH χαμηλότερη από 6,5 , με εξαίρεση τις περιπτώσεις που το πλοίο κινείται ή κάνει ελιγμούς, οπότε η διαφορά του pH ανάμεσα στο σημείο εισόδου του νερού και το σημείο απόρριψης του νερού έκπλυσης μπορεί να είναι μέχρι και δύο μονάδες. Επίσης, επιτρέπεται η πρόσμιξη του νερού έκπλυσης με το νερό ψύξης (που επίσης προορίζεται για απόρριψη), προκειμένου να επιτευχθεί η απαραίτητη τιμή του pH.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται χημικές ουσίες για την έκπλυση, το νερό έκπλυσης θα πρέπει να εξετάζεται ακόμα πιο ενδελεχώς, βάσει της MEPC 169(57).

Εναλλακτικά, υπάρχει η δυνατότητα μέτρησης του pH του απορριπτόμενου νερού έκπλυσης του κατά την έναρξη λειτουργίας του scrubber. Η μέτρηση του pH λαμβάνει χώρα τέσσερα μέτρα από το σημείο εξόδου του νερού έκπλυσης από το πλοίο. Η τιμή-στόχος που θα πρέπει να επιτευχθεί είναι η ίδια (μεγαλύτερο ή ίσο του 6,5), η οποία και καταγράφεται από το ETM-A ή ETM-B (ανάλογα με το scheme λειτουργίας του scrubber). Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές του pH θα πρέπει να παρακολουθούνται συνεχώς (ABS, 2013).

1.3.3 Κριτήριο PAH's

Το νερό έκπλυσης θα πρέπει να παρακολουθείται στενά και για την περιεκτικότητα σε PAH's. Ανάλογα με το flow rate λειτουργίας του scrubber, ορίζεται και το αντίστοιχο όριο σε PAH_{phe} (ισοδύναμο σε phenanthrene), το οποίο δε θα πρέπει να ξεπερνά τη συγκέντρωση PAH στο σημείο εισόδου του θαλασσινού νερού. Όσον αφορά τη συγκέντρωση PAH στο σημείο εξόδου του νερού έκπλυσης, αυτή θα πρέπει να γίνεται μετά την επεξεργασία από το αντίστοιχο σύστημα, αλλά πριν την πρόσμιξη του νερού έκπλυσης με άλλα υγρά. Η συγκέντρωση PAH's θα πρέπει να ελέγχεται συνεχώς είτε με τη χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας, είτε με φθορισμό (ABS, 2013).

1.3.4 Θολότητα (Turbidity)

Η θολότητα του νερού έκπλυσης που απορρίπτεται στη θάλασσα δε θα πρέπει να ξεπερνά τα 25 FNU's ή εναλλακτικά τα 25 NTU's, σε σχέση με τη θολότητα του νερού στο σημείο εισόδου. Όπως και για τη μέτρηση των PAH's, η μέτρηση θα πρέπει να γίνεται μετά την επεξεργασία του νερού έκπλυσης, αλλά πριν την πρόσμιξη του με άλλα υγρά (ABS, 2013).

1.3.5 Νιτρικά άλατα

Οι οδηγίες του IMO απαιτούν όλα τα scrubbers να δοκιμάζονται ως προς την ύπαρξη νιτρικών αλάτων στο απορριπτόμενο νερό έκπλυσης. Σε περίπτωση που τα επίπεδα νιτρικών αλάτων ξεπερνούν το 80% των τυποποιημένων τιμών, αυτό θα πρέπει να καταγράφεται στο ETM-A ή το ETM-B. Επίσης, θα πρέπει να λαμβάνονται δείγματα

του αποβαλλόμενου νερού έκπλυσης κατά την επιθεώρηση ανανέωσης του scrubber και να εκδίδεται το σχετικό πιστοποιητικό. Το πιστοποιητικό αυτό θα εγγυάται ότι το σύστημα επεξεργασίας του νερού έκπλυσης από το scrubber αποτρέπει την αποβολή νιτρικών αλάτων, σύμφωνα με τα όρια που τίθενται από τον IMO. Τέλος, το πιστοποιητικό αυτό θα πρέπει να περιλαμβάνεται στο EGC Record Book (ABS, 2013).

Η έγκριση του συστήματος έκπλυσης καυσαερίων αποτελείται από δύο μέρη: πρώτον, από τη θεσπισμένη διαδικασία έγκρισης βάσει της MARPOL σχετικά με την περιβαλλοντική απόδοση και δεύτερον, από τον αρμόδιο νηογνώμονα με βάση τους δικούς του κανόνες και διαδικασίες. Ωστόσο, μπορεί να υπάρχουν και απαιτήσεις και από το κράτος-σημαία σχετικά με την περιβαλλοντική απόδοση του συστήματος (ABS, 2013).

Κεφάλαιο Δεύτερο

Distillates (MGO/MDO)

Η μια εναλλακτική επιλογή για τη συμμόρφωση με τους νέους αυστηρότερους περιβαλλοντικούς κανονισμούς που έχουν τεθεί σε ισχύ από 1/1/2015 είναι η χρήση αποσταγμάτων (distillates), δηλαδή MGO / MDO από τα πλοία που ταξιδεύουν εντός ζωνών ECA. Η εναλλαγή καυσίμου μπορεί να λαμβάνει χώρα λίγο πριν το πλοίο εισέλθει στη ζώνη και σε όλο το υπόλοιπο ταξίδι να χρησιμοποιεί HFO ή εναλλακτικά να καταναλώνει μόνο distillates καθ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού. Η δεύτερη επιλογή ωστόσο είναι οικονομικά ασύμφορη στην πράξη για τους πλοιοκτήτες εξαιτίας της σημαντικής διαφοράς μεταξύ των δυο τύπων καυσίμων. Επομένως είναι μια επιλογή που κανένας πλοιοκτήτης δε θα πραγματοποιούσε και γι' αυτό δεν εξετάζεται στα πλαίσια αυτής της εργασίας.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν τα βασικά χαρακτηριστικά των distillates, ώστε να γίνει πλήρης διαχωρισμός μεταξύ των δυο τύπων καυσίμων. Στη συνέχεια θα αναφερθούν οι βασικές προκλήσεις και οι δυσκολίες που προκύπτουν κατά την εναλλαγή καυσίμων πριν την είσοδο και μετά την έξοδο από τη ζώνη ECA. Επιπλέον, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν και οι απαραίτητες τροποποιήσεις που πρέπει να γίνουν στο πλοίο, ώστε αυτό να ταξιδεύει απροβλημάτιστα και με ασφάλεια. Στην τελευταία ενότητα αυτού του κεφαλαίου θα αναφερθούν οι δημοσιευμένες έρευνες που αναλύουν τη διαθεσιμότητα distillates για τα επόμενα χρόνια και φυσικά τις εκτιμήσεις για τις μελλοντικές διακυμάνσεις των τιμών τους.

2.1 Χαρακτηριστικά MGO/MDO

Τα αποστάγματα (distillates) είναι η κατηγορία καυσίμων με τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο. Αν και δεν υπάρχει κάποιος ακριβής ορισμός για αυτά, αποτελούνται κυρίως από το Marine Gas Oil (MGO) και το Marine Diesel Oil (MDO) και χαρακτηρίζονται από την έλλειψη προθέρμανσης για τη χρήση τους λόγω του μικρότερου ιξώδους (viscosity) σε σχέση με το Heavy Fuel Oil (HFO). Αποτελούν το μοναδικό συμβατό καύσιμο εντός ζωνών ECA λόγω της χαμηλότερης περιεκτικότητας σε θείο, ωστόσο συνοδεύονται από σημαντικά υψηλότερη τιμή

αγοράς. Σύμφωνα με το ISO:8217 του 2012, το MGO κατατάσσεται ως DMA και DMZ Grade, ενώ το MDO κατατάσσεται ως DMB Grade (Lloyds Register, 2015).

Ως DMA κατατάσσονται τα καύσιμα που δεν περιέχουν ίχνη residual oil και χρησιμοποιούνται σε μηχανές κατηγορίας 1 (<5 λίτρα ανά κύλινδρο). Στον αντίποδα, ως DMB κατατάσσονται τα καύσιμα που περιέχουν ίχνη residual oil και χρησιμοποιούνται σε μηχανές κατηγορίας 2 (5-30 λίτρα ανά κύλινδρο) και σε μηχανές κατηγορίας 3 (>30 λίτρα ανά κύλινδρο). Η «μόλυνση» με ίχνη residual oil προκαλείται συνήθως κατά τη διανομή με τα ίδια μέσα που διανέμεται και το residual fuel (Proteux Global Energy, 2015). Ο πίνακας 6 αναλύει τα πλήρη χαρακτηριστικά των distillates DMA και DMB Grade σύμφωνα με το ISO:8217 (2012):

Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά των distillates DMA και DMB Grade σύμφωνα με το ISO:8217 (2012)

Characteristics	Unit	Limit	Category ISO-F				
			DMX	DMA	DMZ	DMB	
Kinematic Viscosity at 40°C ^a	mm ² /s	max.	5,500	6,000	6,000	11,00	
		min.	1,400	2,000	3,000	2,000	
Density at 15 °C	kg/m ³	max.	-	890	890	900	
Cetane Index	-	min.	45	40	40	35	
Sulfur ^b	mass%	max.	1	1.5	1.5	2	
Flash Point	°C	min.	43	60	60	60	
Hydrogen sulfide ^c	mg/kg	max.	2	2	2	2	
Acid number	mg KOH/g	max.	0.5	0.5	0.5	0.5	
Total sediment by hot filtration	mass %	max.	-	-	-	0.10 ^e	
Oxidation stability	g/m ³	max.	25	25	25	25 ^f	
Carbon residue: micro method on the 10% volume distillation residue	mass%	max.	0.3	0.3	0.3	-	
Carbon residue: micro method	mass%	max.	-	-	-	0.3	
Cloud point	°C	max.	-16	-	-	-	
Pour point (upper) ^d	winter quality	°C	max.	-	-6	-6	0
	summer quality	°C	max.	-	0	0	6
Appearance	-	-	clear and bright ^j			^{e,f,g}	
Water	volume%	max.	-	-	-	0.30 ^e	
Ash	mass%	max.	0.01	0.01	0.01	0.01	
Lubricity, corrected wear scar diameter (wsd 1.4) at 60 °C ^h	µm	max.	520	520	520	520 ^g	
<p>a 1 mm²/s = 1 cSt.</p> <p>b Notwithstanding the limits given, the purchaser shall define the maximum sulfur content in accordance with relevant statutory limitations. See Annex C.</p> <p>c Due to reasons stated in Annex D, the implementation date for compliance with the limit shall be 1 July given for guidance. For distillate fuels the precision data are currently being developed.</p> <p>d Purchasers should ensure that this pour point is suitable for the equipment on board, especially if the ship operates in cold climates.</p> <p>e If the sample is not clear and bright, the total sediment by hot filtration and water tests shall be required, see 7.4 and 7.6.</p> <p>f If the sample is not clear and bright the test cannot be undertaken and hence the oxidation stability limit shall not apply.</p> <p>g If the sample is not clear and bright, the test cannot be undertaken and hence the lubricity limit shall not apply.</p> <p>h This requirement is applicable to fuels with a sulfur content below 500 mg/kg (0.050 mass %).</p> <p>j If the sample is dyed and not transparent, then the water limit and test method as given in 7.6 shall apply.</p>							
Source: Chevron Marine Products, 2015							

2.2 Προκλήσεις και προβλήματα κατά την εναλλαγή καυσίμου

Μετά την ανάλυση των γενικών χαρακτηριστικών των distillates, είναι χρήσιμο να αναλυθούν τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν κατά την εναλλαγή καυσίμων (fuel change-over). Τα προβλήματα αυτά μπορεί να προκύψουν λόγω των πολύ διαφορετικών χαρακτηριστικών των δυο τύπων καυσίμων. Πιο συγκεκριμένα, τα distillates σε σχέση με το HFO/IFO διαφέρουν στα εξής (DNV, 2014):

- Χρώμα (Colour)
- Πυκνότητα (Density)
- Θερμοκρασία (Temperature)
- Ιξώδες (Viscosity)
- Θερμιδική αξία (Calorific Value)
- Οξύτητα (Acidity)

Ως εκ τούτου, όταν αυτά τα τόσο διαφορετικά καύσιμα φτάσουν σε ένα συγκεκριμένο ποσοστό ανάμιξης, τότε γίνονται ασύμβατα μεταξύ τους, δημιουργώντας προβλήματα στη λειτουργία των μηχανών. Σημαντικό ρόλο σε αυτό παίζει και η περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο, καθώς επηρεάζει το ποσοστό ανάμιξης, όσο και τον απαιτούμενο χρόνο εναλλαγής καυσίμων. Αναλυτικότερα, οι ανωτέρω παράγοντες μπορεί να προκαλέσουν τα εξής προβλήματα (DNV, 2014):

A) Θερμοκρασία: Οι δυο τύποι καυσίμων λειτουργούν σε πολύ διαφορετικές θερμοκρασίες. Πιο συγκεκριμένα, η συνήθης θερμοκρασία λειτουργίας του HFO είναι περίπου 135° C ενώ του MGO είναι περίπου 35° C. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στη λειτουργία της μηχανής του πλοίου κατά τη διαδικασία της εναλλαγής καυσίμου, καθώς η απότομη πτώση της θερμοκρασίας (από το «θερμό» HFO στο «ψυχρό» MGO) μπορεί να προκαλέσει θερμικό σοκ (thermal shock). Το θερμικό σοκ μπορεί να προκαλέσει προβλήματα όπως καταστροφή των εμβόλων και των αντλιών της. Προκειμένου να αποφεύγονται τα θερμικά σοκ της μηχανής, οι περισσότεροι κατασκευαστές προτείνουν η αλλαγή θερμοκρασίας να γίνεται βαθμιαία (περίπου 2° C ανά λεπτό). Αυτή η βαθμιαία αλλαγή της θερμοκρασίας είναι δύσκολη αλλά εφικτή, μειώνοντας τη λειτουργία της μηχανής κατά τη διαδικασία της εναλλαγής και μειώνοντας τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δυο τύπων καυσίμων.

Ωστόσο, και στις δυο περιπτώσεις νέα προβλήματα μπορεί να προκύψουν. Αν η λειτουργία της μηχανής μειωθεί υπερβολικά, αυτό όχι μόνο μπορεί να επιμηκύνει το χρόνο που χρειάζεται για να γίνει η εναλλαγή, αλλά μπορεί επίσης να προκύψουν τεχνικά προβλήματα όπως απώλεια δύναμης και σβήσιμο της μηχανής (που υπό άσχημες καιρικές συνθήκες μπορεί να γίνουν επικίνδυνα για το πλοίο). Επίσης, η μείωση της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα σε distillates και HFO πρέπει να γίνεται με προσοχή, καθώς το ιξώδες του HFO αυξάνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του, ενώ αντίθετα το ιξώδες του MGO μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Σε κάθε περίπτωση, μπορεί να προκληθούν προβλήματα στον εξοπλισμό έγχυσης καυσίμου (DNV, 2014).

Β) Ιξώδες: Οι μηχανές που καταναλώνουν HFO απαιτούν το ιξώδες του καυσίμου να ανέρχεται σε 10-20 Cost. Προκειμένου το HFO να αποκτήσει το απαιτούμενο ιξώδες, θα πρέπει να θερμανθεί στους 135° C. Από την άλλη πλευρά, τα distillates έχουν σημαντικά χαμηλότερο ιξώδες (περίπου 2-11 Cost) και δεν απαιτούν προθέρμανση(DNV, 2014).

Το υπερβολικά χαμηλό ιξώδες μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στη λειτουργία των αντλιών καυσίμου, ακόμα και καταστροφή τους. Επίσης, μπορεί να προκαλέσει διαρροή καυσίμου από τις αντλίες (DNV, 2014). Σε κάθε περίπτωση προτείνεται ο εντατικός έλεγχος του συστήματος καυσίμου (όπως των αντλιών και των βαλβίδων) ώστε να επιβεβαιώνεται η απροβλημάτιστη λειτουργία του κατά τη χρήση καυσίμων με χαμηλότερο ιξώδες. Τέλος, θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν η λειτουργία σε υψηλότερη θερμοκρασία (άνω των 40° C), λόγω της αντίστροφης σχέσης θερμοκρασίας και ιξώδους (Lloyds Register, 2015).

Γ) Ολισθηρότητα (Lubricity): Τα distillates έχουν χαμηλότερη ολισθηρότητα σε σχέση με το HFO. Η χρήση καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο μπορεί να προκαλέσουν ελλιπή λίπανση στα κινητά μέρη της μηχανής (όπως τα έμβολα). Η αιτία είναι ότι το θείο στα καύσιμα λειτουργεί ως ένας επιπρόσθετος παράγοντας λίπανσης. Παρόμοια προβλήματα έχουν αναφερθεί και στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας, όπου επίσης μειώθηκε η περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο (DNV, 2014).

Δ) Ασυμβατότητα Καυσίμων (Incompatibility): Η προσμιξη των δυο τύπων καυσίμων μπορεί να προκαλέσει προβλήματα λόγω της ασυμβατότητας τους. Όταν η

πρόσμιξη περιλαμβάνει την πρόσθεση distillates σε HFO, δημιουργούνται ασφαλτένια (asphaltenes) τα οποία κατακάθονται ως λάσπη (sludge). Αυτή η λάσπη μπορεί να προκαλέσει μπλοκάρισμα στα φίλτρα (DNV, 2014) ή ακόμα και προβλήματα στις διαδικασίες καύσης (Lloyds Register, 2015). Γι' αυτό η DNV προτείνει να γίνονται δοκιμές των διαφόρων τύπων καυσίμων πριν τη λειτουργική χρησιμοποίησή τους (DNV, 2014).

E) Ανάφλεξη (Flashpoint): Ο IMO έχει καθορίσει τη χρήση καυσίμων με σημείο ανάφλεξης άνω των 60° C, καθώς σε χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτήν ελλοχεύει ο κίνδυνος έκρηξης. Παρ' όλα αυτά ορισμένα distillates έχουν flashpoint χαμηλότερο των 60° C, θέτοντας σε κίνδυνο την ασφάλεια του πλοίου. Γι' αυτό η DNV προτείνει να ακολουθούνται οι οδηγίες του κράτους-σημαίας και του εκάστοτε νηογνώμονα, καθώς και να παρακολουθείται το Bunker Delivery Note, όπου αναφέρονται τα χαρακτηριστικά των καυσίμων που έχουν παραδοθεί στο πλοίο (DNV, 2014).

ΣΤ) Οξύτητα και Λίπανση Κυλίνδρων: Τα κυλινδρέλαια χρησιμοποιούνται ως μέσο εξουδετέρωσης των θεικών οξέων που προέρχονται από τα καύσιμα. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται distillates (με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο) η παραγωγή διαβρωτικών οξέων μειώνεται ανάλογα. Η υπερβάλλουσα αλκαλικότητα από τα κυλινδρέλαια σε αυτήν την περίπτωση έχει αρνητική επίδραση στη λειτουργία της μηχανής. Γι' αυτό στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται distillates, η DNV προτείνει τη ρύθμιση της αλκαλικότητας των λιπαντικών αναλογικά, ώστε να αποφευχθούν ζημιές στη μηχανή (DNV, 2014).

Όπως φαίνεται λοιπόν, η χρήση των distillates ως καύσιμο στις ζώνες ECA, φέρνει νέες προκλήσεις και προβλήματα. Τα προβλήματα αυτά δεν είναι αξεπέραστα, θα πρέπει όμως να ληφθούν υπ' όψιν προκειμένου να αποφευχθούν ζημιές στο μηχανολογικό εξοπλισμό.

2.3 Τροποποιήσεις στα συστήματα καυσίμου

Οι τροποποιήσεις στο σύστημα καυσίμων είναι απαραίτητες, ώστε το πλοίο να είναι σε θέση να καταναλώσει distillates ως βασικό καύσιμο στις ζώνες ECA και να αποφευχθούν πολλά από τα προβλήματα που αναλύσαμε στην προηγούμενη ενότητα.

Η DNV, ένας από τους γνωστότερους και πιο αξιόπιστους νηογνώμονες, προτείνει τροποποιήσεις στους εξής τομείς: i) storage tanks, ii) service tanks και iii) training (DNV, 2014).

2.3.1 Storage tanks

Αναλόγως του χρόνου που εκτιμάται ότι θα δαπανήσει ένα πλοίο εντός μιας ζώνης ECA, θα πρέπει να υπάρχει η πρόβλεψη για την τροφοδοσία με την απαραίτητη ποσότητα distillates (υποθέτοντας ότι αυτός είναι ο επιλεγμένος τρόπος συμμόρφωσης). Ένας άλλος κίνδυνος που ελλοχεύει είναι η «μόλυνση» του distillate με ίχνη HFO. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν αποθηκεύεται MGO/MDO σε δεξαμενές όπου παλαιότερα είχε αποθηκευθεί HFO και συνήθως υπήρξε πλημμυλής ή καθόλου καθαρισμός της δεξαμενής. Σε μια τέτοια περίπτωση, το καύσιμο που τελικά καταναλώνεται θα έχει περιεκτικότητα σε θείο υψηλότερη από 0,1% και άρα δε θα συμμορφώνεται με τους διεθνείς κανονισμούς. Μια άλλη πιθανή περίπτωση είναι η ύπαρξη δεξαμενών που χωρίζονται σε υπό-δεξαμενές που περιέχουν από τη μια πλευρά HFO και από την άλλη MGO/MDO. Τότε, κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη κατάλληλης μόνωσης, ώστε να μην προθερμαίνονται τα distillates μαζί με το HFO.

2.3.2 Service tanks

Τα Service tanks θα πρέπει να έχουν επιχειρησιακή χωρητικότητα για οκτώ ώρες κανονικής λειτουργίας. Και σε αυτήν περίπτωση είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός μεταξύ των δεξαμενών, τόσο όσον αφορά την αποφυγή «μόλυνσης», όσο και για την αποφυγή προθέρμανσης των distillates που μπορεί να προκαλέσει πυρκαγιά ή την παροχή καυσίμου με πολύ χαμηλό ιξώδες στη μηχανή.

2.3.3 Training

Σε αυτόν τον τομέα, η DNV προτείνει τη δημιουργία διαδικασιών εναλλαγής καυσίμων από την πλευρά της εταιρίας, καθώς και την ύπαρξη των αντίστοιχων εγχειριδίων επί του πλοίου. Παράλληλα, επισημαίνει την αναγκαιότητα επαρκούς εκπαίδευσης του πληρώματος, ώστε να εξοικειωμένο με τους κινδύνους που ελλοχεύουν και τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν κατά τη διαδικασία της εναλλαγής. Οι διαδικασίες εναλλαγής καυσίμων θα πρέπει να είναι τυποποιημένες και να συμπεριλαμβάνονται στο Safety Management System (SMS) του πλοίου. Τέλος, προτείνεται η πραγματοποίηση θαλασσιών δοκίμων σε πραγματικές συνθήκες

λειτουργίας, ώστε να εγγυάται η απροβλημάτιστη λειτουργία των μηχανών που καταναλώνουν distillates και ειδικά η δυνατότητα πραγματοποίησης ελιγμών (Lloyds Register, 2015).

2.4 Μελλοντική Διαθεσιμότητα και τιμές των αποσταγμάτων

Η απάντηση στο δίλημμα distillates ή scrubbers δεν είναι εύκολη και απαιτεί την ανάλυση πολλών παραγόντων, μιας και στις δυο περιπτώσεις το οικονομικό κόστος είναι μεγάλο και τα περιθώρια λάθους πολύ μικρά. Δυο παράγοντες που θα κρίνουν την επιλογή του τρόπου συμμόρφωσης με τους αυστηρότερους περιβαλλοντικούς κανονισμούς είναι η μελλοντική διαθεσιμότητα των distillates και φυσικά η τιμή τους.

Όσον αφορά τη διαθεσιμότητα των distillates, αναφερόμαστε στην ύπαρξη ή μη επαρκούς ποσότητας καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες των πλοίων που πλέουν εντός ζωνών ECA. Η συγκεκριμένη ανησυχία υπάρχει κι εντός του IMO, ο οποίος θα εκδώσει μελέτη μέχρι το τέλος του 2018 για την ύπαρξη επαρκών ποσοτήτων distillates που θα επιτρέπει τη συμμόρφωση με τους κανόνες του. Η μελέτη αυτή θα κρίνει σε μεγάλο βαθμό και το έτος εφαρμογής του παγκοσμίου ανωτάτου επιτρεπομένου επιπέδου θείου στα καύσιμα (global sulphur cap), το οποίο μπορεί να είναι το 2020 ή να παραταθεί μέχρι το 2025.

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τον οργανισμό CONCAWE το 2009, εκτιμήθηκε ότι θα απαιτηθούν περί τα \$50 δις τα επόμενα χρόνια, ώστε να γίνουν οι απαραίτητες επενδύσεις από τα διυλιστήρια που θα τους επιτρέψουν να παράγουν τις απαιτούμενες ποσότητες distillates για τις ανάγκες της βιομηχανίας και της αυτοκινητοβιομηχανίας (CONCAWE, 2009). Επιπρόσθετα, θα απαιτηθούν άλλα \$17,5 δις για τις αυξανόμενες ανάγκες της ναυτιλίας (Lloyds Register, 2015). Αλλά και σε άλλη έρευνα του 2012 από τη συμβουλευτική εταιρία Robin Meech-Marine and Energy Consulting Ltd, εκτιμήθηκε ότι υπάρχουν επαρκείς ποσότητες distillates για χρήση εντός ζωνών ECA από το 2015 μέχρι το 2025, με την προϋπόθεση να μην ανακηρυχτούν νέες ECA στο μεσοδιάστημα. Ωστόσο, με την εφαρμογή του 0,5%

global sulphur cap το 2025, οι ποσότητες distillates δεν επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών (ABS, 2013).

Σε κάθε περίπτωση, η επάρκεια σε distillates είναι ένας πονοκέφαλος για τη ναυτιλιακή βιομηχανία, αλλά και για τον IMO. Τα αποτελέσματα της μελέτης του IMO που θα ολοκληρωθεί το 2018, θα καθορίσουν σε μεγάλο βαθμό τόσο το χρόνο εφαρμογής των νέων κανονισμών (global sulphur cap), όσο και τη διεύθυνση των εναλλακτικών μεθόδων συμμόρφωσης (scrubbers).

Ένα άλλο ακανθώδες ζήτημα σχετικά με τα distillates είναι η τιμή τους και η διαφορά της σε σχέση με αυτήν του HFO/IFO. Διαχρονικά υπάρχει μια σημαντική διαφορά τιμής ανάμεσα στους δυο τύπους καυσίμων εξαιτίας του υψηλότερου κόστους παραγωγής των διωλιστηρίων. Οι πίνακες 7-15 παρουσιάζουν τις ετήσιες τιμές HFO, IFO, MDO MGO σε διάφορα μεγάλα λιμάνια.

Πίνακας 7: Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MDO MGO στο Rotterdam

Year	10164	10534	10995	10736
	380cst bunker prices, Rotterdam	180cst bunker prices, Rotterdam	MDO bunker prices, Rotterdam	MGO bunker prices, Rotterdam
	\$/Tonne	\$/Tonne	\$/Tonne	\$/Tonne
2005	233.98	253.30	458.42	506.78
2006	293.04	313.94	524.06	573.57
2007	345.06	364.82	571.27	627.62
2008	471.91	508.46	850.73	918.39
2009	353.81	373.45	490.59	528.86
2010	450.23	467.89	667.10	682.73
2011	617.94	640.59	939.61	944.50
2012	639.64	666.42	953.85	955.33
2013	594.80	624.64	910.53	903.78
2014	532.14	563.75	822.81	816.61
2015 (until 30/6/2015)	306.01	341.32	541.39	539.78

Source: Clarkson's Shipping Intelligence Network (2015)

Πίνακας 8: Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MDO MGO στη Σιγκαπούρη

Year	10362	10614	11148	10975
	380cst bunker prices, Singapore	180cst bunker prices, Singapore	MDO bunker prices, Singapore	MGO bunker prices, Singapore
	\$/Tonne	\$/Tonne	\$/Tonne	\$/Tonne
2005	261.90	273.45	481.42	485.93
2006	313.18	322.18	580.55	573.99
2007	372.82	382.62	621.84	634.20
2008	505.62	524.94	907.00	913.65
2009	371.87	381.23	517.86	529.23
2010	464.14	472.17	664.15	668.90
2011	646.94	657.82	932.89	940.85
2012	664.06	678.40	949.92	958.27
2013	615.93	635.99	921.93	927.26
2014	559.68	576.13	855.09	856.67
2015 (until 30/6/2015)	340.58	359.30	571.04	556.10

Source: Clarkson's Shipping Intelligence Network (2015)

Πίνακας 9: Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MDO MGO στο Houston

Year	10340	10598	11143	530292
	380cst bunker prices, Houston	180cst bunker prices, Houston	MDO bunker prices, Houston	MGO Houston \$ / tonne
	\$/Tonne	\$/Tonne	\$/Tonne	\$/Tonne
2005	248.27	267.66	508.51	
2006	303.01	318.26	562.27	
2007	351.78	366.35	608.64	
2008	496.83	536.38	933.19	
2009	360.73	373.55	525.00	
2010	449.33	467.73	683.18	
2011	625.68	658.05	969.74	
2012	646.58	683.39	995.92	1028.83
2013	602.66	661.50	993.83	997.35
2014	545.54	622.74	934.48	935.08
2015 (until 30/6/2015)	319.43	406.80	631.88	611.63

Source: Clarkson's Shipping Intelligence Network (2015)

Πίνακας 10: Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MDO MGO στη Fujairah

Year	10442	10621	11166	10977
	380cst bunker prices, Fujairah	180cst bunker prices, Fujairah	MDO bunker prices, Fujairah	MGO bunker prices, Fujairah
	\$/Tonne	\$/Tonne	\$/Tonne	\$/Tonne
2005	256.59	269.34	500.07	506.48
2006	310.88	322.77	631.78	618.81
2007	373.75	386.10	664.75	670.33
2008	509.35	533.66	1037.70	1019.19
2009	372.78	389.78	657.02	595.39
2010	468.17	483.36	712.92	716.54
2011	652.93	684.85	1017.77	1022.09
2012	668.51	692.03	1046.60	1037.49
2013	616.79	660.22	1004.33	1001.85
2014	561.76	604.84	965.66	960.39
2015 (until 30/6/2015)	342.00	365.21	763.26	751.47

Source: Clarkson's Shipping Intelligence Network (2015)

Πίνακας 11: Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MDO MGO στο Panama

Year	10196	10560	11112	10876
	380cst bunker prices, Panama	180cst bunker prices, Panama	MDO bunker prices, Panama	MGO bunker prices, Panama
	\$/Tonne	\$/Tonne	\$/Tonne	\$/Tonne
2005	262.85	296.23	610.93	611.42
2006	319.74	343.65	666.05	673.99
2007	367.44	394.78	690.14	684.78
2008	521.62	579.04	1092.66	1083.36
2009	381.63	404.30	617.38	625.68
2010	473.24	501.05	744.64	745.66
2011	648.83	683.35	1024.04	1015.41
2012	667.33	711.69	1063.11	1060.54
2013	618.18	676.89	1033.05	1028.84
2014	559.69	658.13	990.62	986.65
2015 (until 30/6/2015)	331.49	403.68	653.32	642.13

Source: Clarkson's Shipping Intelligence Network (2015)

Πίνακας 12: Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MGO στο Γιβραλτάρ

Year	530264	530268	530272
	380cst bunker prices, Gibraltar \$ / tonne	180cst bunker prices, Gibraltar \$ / tonne	MGO bunker prices, Gibraltar \$ / tonne
	\$/Tonne	\$/Tonne	\$/Tonne
2005			
2006			
2007			
2008	505.27	533.91	985.03
2009	370.21	387.13	569.60
2010	463.77	486.16	722.20
2011	641.62	675.53	992.88
2012	663.87	700.17	1008.38
2013	621.62	653.54	971.57
2014	557.14	587.67	890.42
2015 (until 30/6/2015)	327.61	356.09	586.48

Source: Clarkson's Shipping Intelligence Network (2015)

Πίνακας 13: Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MDO στη Philadelphia

Year	10468	10647	11172
	380cst bunker prices, Philadelphia	180cst bunker prices, Philadelphia	MDO bunker prices, Philadelphia
	\$/Tonne	\$/Tonne	\$/Tonne
2005	266.24	297.43	576.49
2006	318.37	345.46	649.19
2007	369.72	393.55	686.10
2008	503.66	565.32	955.12
2009	368.67	392.34	576.01
2010	467.41	485.69	697.49
2011	647.21	674.68	988.08
2012	659.50	693.03	1001.80
2013	615.56	656.80	1002.14
2014	576.41	633.24	950.31
2015 (until 30/6/2015)	347.56	445.26	566.00

Source: Clarkson's Shipping Intelligence Network (2015)

Πίνακας 14: Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MDO στο Fos

Year	10475	10652	11176
	380cst bunker prices, Fos	180cst bunker prices, Fos	MDO bunker prices, Fos
	\$/Tonne	\$/Tonne	\$/Tonne
2005	243.90	282.09	540.77
2006	308.68	349.08	621.20
2007	361.21	408.02	588.81
2008	490.56	530.78	875.00
2009	394.15	447.35	682.92
2010	484.00	517.66	703.55
2011	632.28	648.72	978.20
2012	660.79	678.26	997.31
2013	621.90	653.99	960.95
2014	555.60	586.23	885.88
2015 (until 30/6/2015)	327.48	355.96	589.00

Source: Clarkson's Shipping Intelligence Network (2015)

Πίνακας 15: Οι ετήσιες τιμές HFO, IFO, MDO στο Los Angeles

Year	10190	10553	11059
	380cst bunker prices, Los Angeles	180cst bunker prices, Los Angeles	MDO bunker prices, Los Angeles
	\$/Tonne	\$/Tonne	\$/Tonne
2005	263.32	288.70	574.39
2006	320.96	338.29	651.58
2007	381.66	397.91	709.30
2008	524.54	557.48	951.53
2009	375.12	401.98	565.05
2010	468.83	495.88	721.40
2011	655.87	687.65	982.43
2012	681.37	729.35	1048.38
2013	631.43	689.25	1031.94
2014	568.31	637.29	939.17
2015 (until 30/6/2015)	327.78	388.94	633.67

Source: Clarkson's Shipping Intelligence Network (2015)

Η στροφή των πλοιοκτητών στο MGO ως μέσο συμμόρφωσης στους νέους κανονισμούς αναμένεται ότι θα αυξήσει την τιμή του MGO τα επόμενα χρόνια λόγω αυξημένης ζήτησης. Αυτό θα οδηγήσει τη διαφορά τιμών (price differential) ανάμεσα

στους δυο τύπους καυσίμων προς τα πάνω, υποθέτοντας ότι η τιμή του HFO θα παραμείνει περίπου στα ίδια επίπεδα.

Οι εκτιμήσεις αναφέρουν ότι η ζήτηση για MGO θα αυξηθεί κατά 50 εκατομμύρια τόνους στο 2015, το οποίο με βάση ιστορικά στοιχεία θα οδηγήσει σε αύξηση των τιμών κατά 20% περίπου (Bunkerworld, 2014a). Μια αύξηση τέτοιου μεγέθους θα αυξήσει περαιτέρω το «χάσμα» τιμών μεταξύ MGO και HFO. Οι τιμές του τελευταίου αναμένεται να μειωθούν λόγω μειωμένης ζήτησης, αν και σημαντικό ρόλο θα παίξει και η διεξόδυση των scrubbers στη ναυτιλία που ίσως κρατήσει «ζεστό» το ενδιαφέρον για HFO (Jalkanen et al, 2013). Η τιμή του MGO μπορεί να παραμείνει υψηλή και από την απροθυμία των διυλιστηρίων να πραγματοποιήσουν τις απαιτούμενες επενδύσεις που θα αυξήσουν την παραγωγή distillates (Avis & Birch, 2009), απόλυτα λογικό αν ισχύουν τα ποσά που αναφέρει η έρευνα της CONCAWE.

Αν ισχύουν οι εκτιμήσεις που αναφέρθηκαν, τότε οι λειτουργικές δαπάνες (OPEX) των πλοιοκτητών θα αυξηθούν σημαντικά, ειδικά αν λάβουμε υπόψη ότι τα καύσιμα αντιστοιχούν περίπου στο 50% των OPEX (Bunkerworld, 2014b) ή μεταξύ 40%-60% των OPEX (Green4Sea, 2014a). Μια τέτοια εξέλιξη θα έχει ιδιαίτερες συνέπειες. Η αύξηση του κόστους καυσίμων θα μετακυλιστεί στους φορτωτές κι εν τέλει στους καταναλωτές. Η Maersk για παράδειγμα εκτιμά ότι θα καταναλώνει περίπου 650.000 τόνους MGO ετησίως, αυξάνοντας το ετήσιο κόστος καυσίμων κατά \$250 εκατομμύρια (Bunkerworld, 2014b). Ως αντίμετρο, η Maersk ανακοίνωσε ότι θα αυξήσει τους επίναυλους καυσίμων κατά \$50-\$150 ανά δύο TEU, ανάλογα με το χρόνο που θα περνά το φορτίο σε ζώνες ECA. Κάτι αντίστοιχο ανακοίνωσε και η CMA CGM (Green4Sea, 2014b), όσο και η Intertanko (Green4Sea, 2014a), προκειμένου να αναχαιτιστεί το αυξημένο κόστος καυσίμων. Επιπλέον, θα επηρεαστεί σημαντικά το voyage planning των εταιριών, προκειμένου τα πλοία τους να αποφύγουν να πλεύσουν εντός ζώνης ECA ή τουλάχιστον να δαπανήσουν το μικρότερο δυνατό χρόνο σε αυτές (Skuld, 2014). Τέλος, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι μπορεί οι φορτωτές να επιλέξουν τα χερσαία μέσα μεταφοράς (modal shift) όπου είναι εφικτό, ώστε να μειώσουν το κόστος των φορτίων τους και να παραμείνουν ανταγωνιστικοί (EMSA, 2010).

Σε κάθε περίπτωση, το κόστος των distillates και η διαφορά του με το HFO είναι δύσκολο να προβλεφθεί με ακρίβεια. Αυτό που είναι βέβαιο είναι ότι θα αυξηθούν

σημαντικά τα OPEX των ναυτιλιακών εταιριών αν επιλέξουν το MGO ως μέσο συμμόρφωσης με τους κανόνες του IMO. Αυτό κάνει ακόμα πιο σοβαρό το δίλημμα των εταιριών για το ποια είναι η καλύτερη επιλογή για αυτές (distillates ή scrubbers), χωρίς ωστόσο να υπάρχει κάποιος χρυσός κανόνας.

Κεφάλαιο Τρίτο

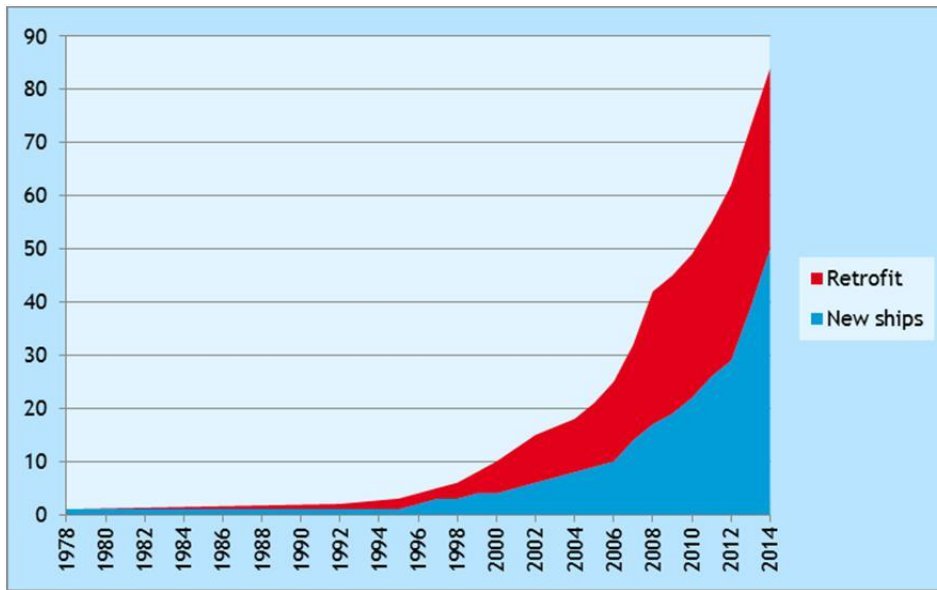
Exhaust Gas Cleaning Systems (Scrubbers)

Το scrubber (ή πλυντρίδα ο ελληνικός όρος) είναι μια συσκευή η οποία τοποθετείται στο πλοίο κι επεξεργάζεται τα καυσαέρια πριν την εκπομπή τους στην ατμόσφαιρα. Η επεξεργασία ή έκπλυση (scrubbing) γίνεται με διάφορα μέσα , ανάλογα με τον τύπο του scrubber που έχει εγκατασταθεί στο πλοίο. Το τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι η εκπομπή καυσαερίων με σχεδόν μηδενικό ποσοστό SOx και σημαντική μείωση των PM (ABS, 2013).

Η επεξεργασία των καυσαερίων χρησιμοποιεί την ιδιότητα των SOx ότι είναι διαλυτά στο νερό. Με αυτόν τον τρόπο, χρησιμοποιείται η φυσική αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού και τα SOx μετατρέπονται σε θειικό νάτριο (sodium sulfate) που είναι το φυσικό άλας στις θάλασσες. Ωστόσο, συγκεκριμένοι τύποι scrubbers χρησιμοποιούν χημικές ουσίες, υποκαθιστώντας την αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού, για να πετύχουν το ίδιο αποτέλεσμα, δηλαδή τη διάλυση των SOx. Οι closed-loop scrubbers χρησιμοποιούν το υδροξείδιο του νατρίου (sodium hydroxide) και οι dry scrubbers χρησιμοποιούν το υδροξείδιο του ασβεστίου (calcium hydroxide). Σε όλες τις περιπτώσεις επιτυγχάνεται η έκπλυση των SOx πριν την εκπομπή τους στην ατμόσφαιρα. Επιπρόσθετα, ένα ποσοστό των PM «παγιδεύεται» στο νερό έκπλυσης, αυξάνοντας την περιβαλλοντική αποτελεσματικότητα των scrubbers (ABS, 2013).

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα που ακολουθεί, ο αριθμός των εγκατεστημένων scrubbers αυξάνεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Οι αιτίες εντοπίζονται κυρίως στο διαρκώς αυστηρότερο περιβαλλοντικό ρυθμιστικό πλαίσιο, αλλά και την ωρίμανση της συγκεκριμένης τεχνολογίας από τις αυξανόμενες εγκαταστάσεις.

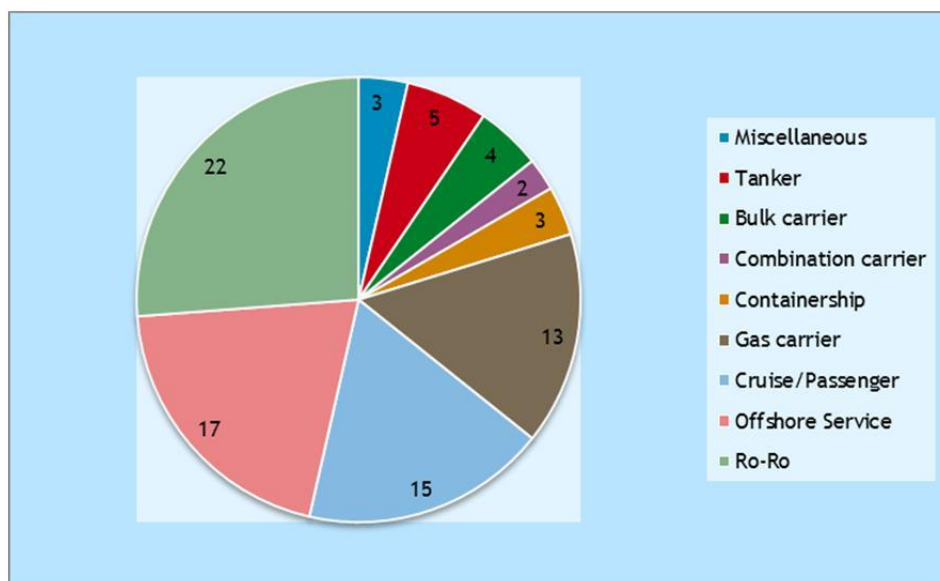
Διάγραμμα 1: Οι εγκαταστάσεις scrubbers σε νέα και μεταχειρισμένα πλοία



Πηγή: Delft, 2015

Όσον αφορά τους τύπους των πλοίων που εγκαθίστανται scrubbers, οι περισσότερες εγκαταστάσεις αφορούν πλοία Ro-Ro, offshore service, gas carriers, κρουαζιερόπλοια και επιβατηγά. Τα αποτελέσματα της έρευνας είναι πλήρως αναμενόμενα, καθώς αυτοί οι τύποι πλοίων «ξοδεύουν» περισσότερο χρόνο μέσα σε ζώνες ECA (Delft, 2015).

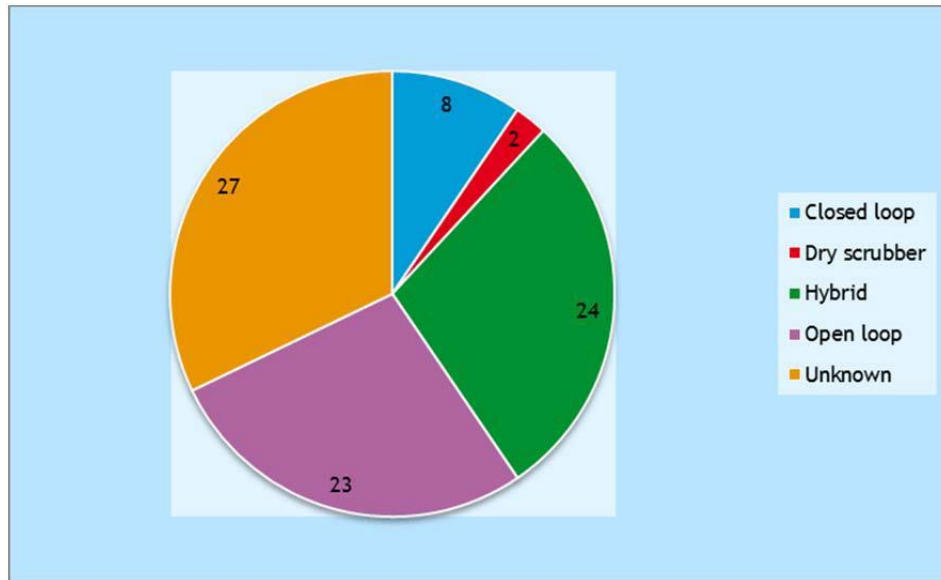
Διάγραμμα 2: Οι εγκαταστάσεις scrubbers ανά κατηγορία πλοίου



Πηγή: Delft, 2015

Τέλος, όσον αφορά το ερώτημα ποιοι είναι οι κυρίαρχοι τύποι scrubbers στην αγορά, το επόμενο διάγραμμα δείχνει ότι οι hybrid και οι open-loop scrubbers έχουν τη μεγαλύτερη διείσδυση στην αγορά. Πιο συγκεκριμένα, μέσα στο 2014 εγκαταστάθηκαν 14 hybrid scrubbers, 11 open-loop scrubbers και μόλις δύο closed-loop scrubbers (Delft, 2015).

Διάγραμμα 3: Οι εγκαταστάσεις scrubbers ανά τύπο



Πηγή: Delft, 2015

Οι τύποι των scrubbers που βρίσκουν ναυτιλιακή εφαρμογή αυτήν τη στιγμή είναι οι εξής τέσσερις:

- Open-loop (ή Seawater) scrubbers
- Closed-loop (ή Freshwater) scrubbers
- Hybrid scrubbers
- Dry scrubbers

Η λειτουργία και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε τύπου αναλύονται στις επόμενες ενότητες.

3.1 Τύποι Scrubbers

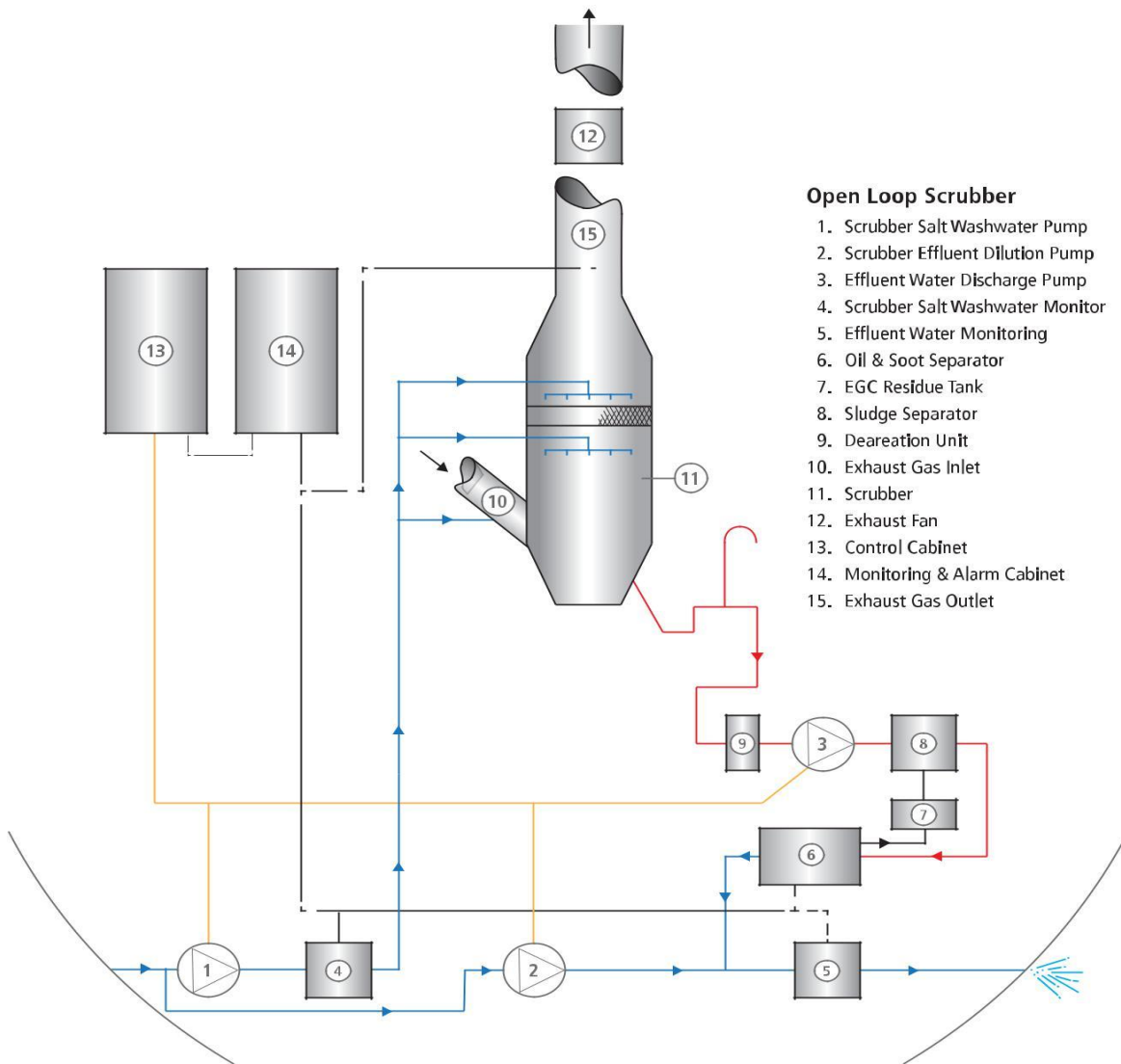
3.1.1 Open-loop (Seawater) Scrubbers

Οι Open-loop scrubbers χρησιμοποιούν το θαλασσινό νερό ως μέσο έκπλυσης των καυσαερίων. Η διαδικασία του scrubbing λαμβάνει χώρα στο scrubber tower, όπου το μίγμα των καυσαερίων περνά μέσα από ένα διαχωριστή νερού. Ο διαχωριστής αυτός απομακρύνει τα σωματίδια του νερού από τα αέρια. Το μίγμα νερού που προκύπτει από τη διαδικασία της έκπλυσης καταλήγει στον πάτο του scrubber. Το νερό έκπλυσης υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία, είτε μέσω διαχωριστή, είτε μέσω φυγοκέντρισης, ώστε να απομακρυνθούν τα υπολείμματα της διαδικασίας. Τα υπολείμματα (residues) αυτά, που είναι σε μορφή λάσπης (sludge) συνήθως περιέχουν βαρέα μέταλλα, ΡΜ κλπ και αποθηκεύονται σε ειδική δεξαμενή επί του πλοίου. Με βάση τους κανόνες του ΙΜΟ, απαγορεύεται η καύση ή η απόρριψη τους στο περιβάλλον, αλλά πρέπει να φυλάσσονται επί του πλοίου και να παραδίδονται σε ειδικές μονάδες επεξεργασίας υπολειμμάτων στους λιμένες.

Το νερό έκπλυσης, εφ' όσον καθαριστεί από τα υπολείμματα, μπορεί να απορριφθεί στο υδάτινο περιβάλλον. Με βάση τους κανόνες του ΙΜΟ για τις απορρίψεις νερού (water discharges), το νερό έκπλυσης μπορεί να διαλυθεί με το νερό που χρησιμοποιείται για ψύξη προκειμένου να μειωθεί το pH του, πριν απορριφθεί στη θάλασσα (ABS, 2013).

Το διάγραμμα 4 που ακολουθεί παρουσιάζει τη λειτουργία ενός τυπικού Open-loop scrubber.

Διάγραμμα 4: Τυπική δομή και λειτουργία ενός open-loop scrubber



Πηγή: ABS, 2013

Όσον αφορά την αποτελεσματικότητα των open-loop scrubbers, αυτή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αλκαλικότητα του νερού στην περιοχή λειτουργίας. Αυτός ο παράγοντας αποκλείει τη χρήση των open-loop scrubbers σε περιοχές ποταμών ή λιμνών, όπου η αλκαλικότητα είναι εξ' ορισμού χαμηλή. Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται η χρήση distillates ως μέσο συμμόρφωσης στους κανονισμούς του IMO (ABS, 2013). Επομένως ο πλοιοκτήτης θα πρέπει να λάβει υπ' όψιν του το προφίλ λειτουργίας του πλοίου του, πριν επιλέξει την εγκατάσταση του συγκεκριμένου τύπου scrubber.

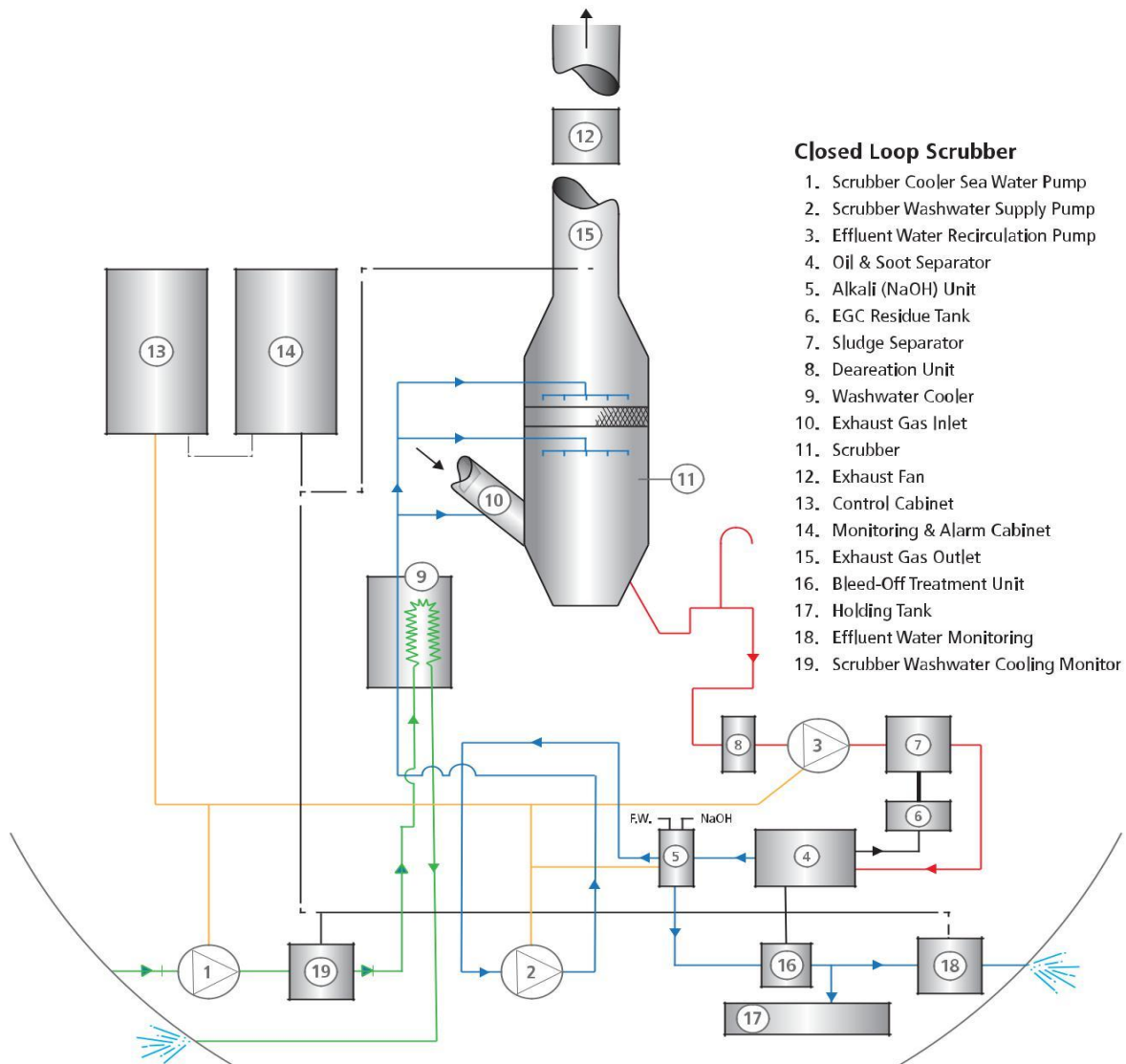
Τα πλεονεκτήματα των open-loop scrubbers περιλαμβάνουν την απλότητα στη χρήση σε σχέση με τους άλλους τύπους. Επίσης, δεν απαιτείται η χρήση χημικών ή άλλων μέσων για τη διαδικασία της έκπλυσης. Από την άλλη πλευρά, η αποτελεσματικότητα του εξαρτάται από την αλκαλικότητα της περιοχής λειτουργίας. Έτσι, περιορίζεται η χρήση τους σε ποτάμια και λίμνες και απαιτείται η χρήση distillates (Reynolds, 2011).

3.1.2 Closed-loop (Freshwater) Scrubbers

Ένα closed-loop scrubber βασίζεται στις ίδιες αρχές λειτουργίας με ένα open-loop scrubber, με δύο βασικές διαφορές. Πρώτον, η λειτουργία αυτού του τύπου βασίζεται στη χρήση χημικών πρόσθετων –συνήθως καυστικής σόδας (caustic soda)- για την έκπλυση των καυσαερίων. Δεύτερον, το νερό έκπλυσης, αφού υποστεί επεξεργασία, ξαναχρησιμοποιείται μέσα στο σύστημα με την πρόσθεση της απαραίτητης δοσολογίας χημικού πρόσθετου. Αυτό μειώνει σε μεγάλο βαθμό την ποσότητα του νερού έκπλυσης που απορρίπτεται πίσω στο περιβάλλον (ABS, 2013). Το επόμενο διάγραμμα παρουσιάζει την τυπική λειτουργία ενός closed-loop scrubber

Ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει για την καυστική σόδα (sodium hydroxide) που χρησιμοποιείται ως πρόσθετο στη διαδικασία της έκπλυσης. Ο λόγος είναι ότι διαβρώνει το αλουμίνιο και άλλα υλικά, επομένως απαιτούνται σημαντικές αλλαγές στα υλικά των σωληνώσεων και των δεξαμενών του πλοίου. Επίσης απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στη χρήση του πρόσθετου από το πλήρωμα του πλοίου. Λόγω του υψηλού pH(14), μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα και σοβαρές βλάβες στα μάτια και το αναπνευστικό σύστημα. Ως εκ τούτου, κρίνεται απαραίτητη η χρήση προστατευτικού εξοπλισμού από το πλήρωμα. Τέλος, η δοσολογία είναι συνήθως 15lt/MWh της μηχανής του πλοίου και συνήθως παραδίδεται στο πλοίο με βυτιοφόρο σε θερμοκρασία 40° C (Lloyds Register, 2015).

Διάγραμμα 5: Τυπική δομή και λειτουργία ενός closed-loop scrubber



Πηγή: ABS, 2013

Τα πλεονεκτήματα των closed-loop scrubbers περιλαμβάνουν τη δυνατότητα λειτουργίας ανεξάρτητα από την αλκαλικότητα της περιοχής. Επίσης, έχουν μειωμένες απορρίψεις νερού έκπλυσης στο υδάτινο περιβάλλον, κάτι που επιτρέπει τη συμμόρφωση σε περιοχές που ισχύουν οι αντίστοιχοι περιορισμοί (Reynolds, 2011).

Από την άλλη πλευρά, είναι πιο σύνθετο σύστημα σε σχέση με τα open-loop scrubbers, καθώς περιλαμβάνει περισσότερα υπο-συστήματα. Επίσης, απαιτεί την προμήθεια καυστικής σόδας, κάτι που αυξάνει σημαντικά το λειτουργικό κόστος του

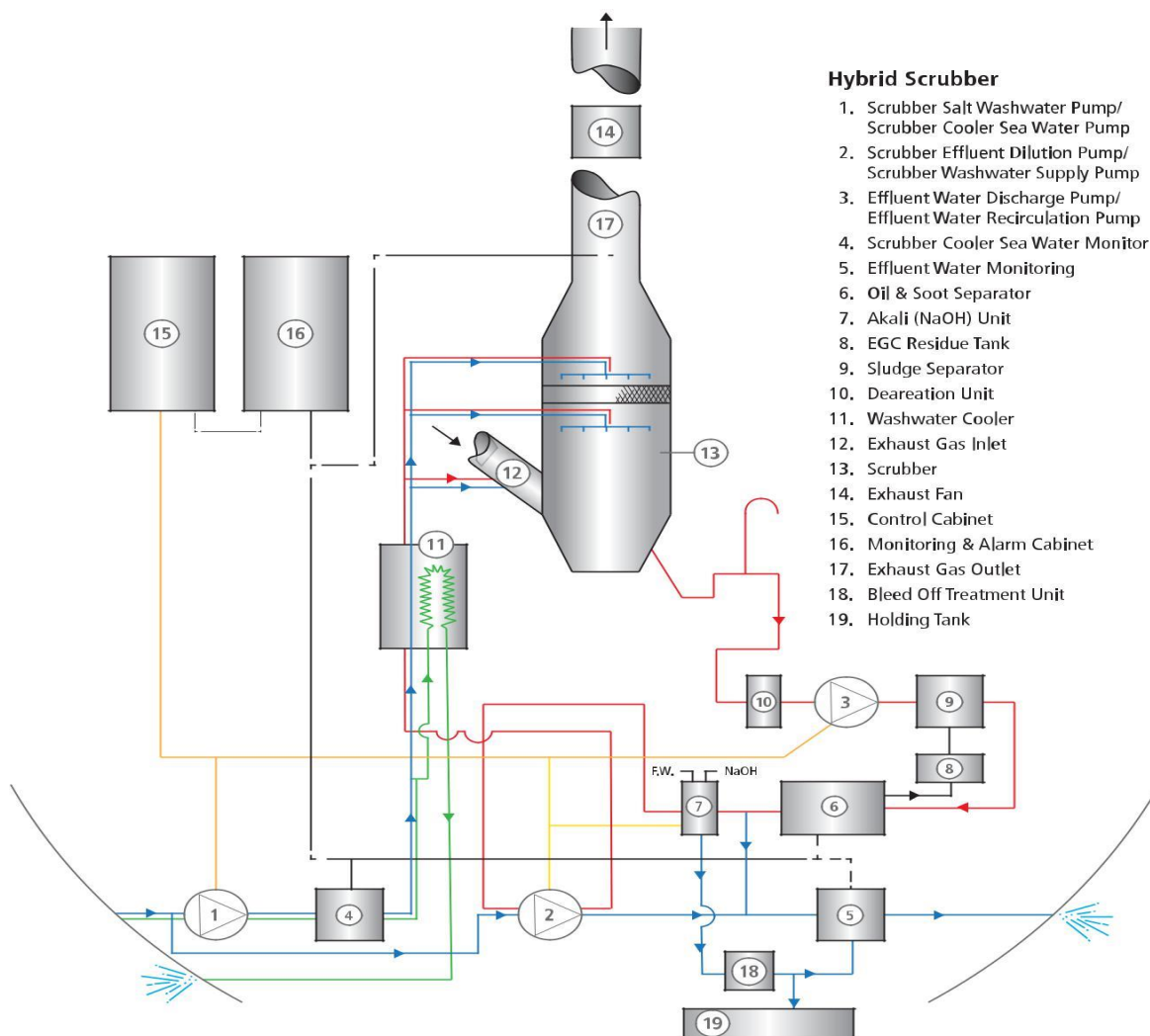
συγκεκριμένου τύπου, αλλά και απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή από το πλήρωμα, λόγω των κινδύνων που ελλοχεύουν από τη χρήση των πρόσθετων (Reynolds, 2011).

3.1.3 Hybrid Scrubbers

Οι Hybrid scrubbers συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των open-loop και των closed-loop scrubbers για την έκπλυση των καυσαερίων. Στην ουσία πρόκειται για το ίδιο σύστημα με πριν, με τις απαραίτητες μετατροπές που επιτρέπουν την εναλλαγή από τον έναν τρόπο λειτουργίας στον άλλον. Η εναλλαγή από open-loop mode σε closed-loop mode γίνεται μέσω της διαφορετικής λειτουργίας της αντλίας κυκλοφορίας από seawater σε freshwater (που περιέχει χημικά πρόσθετα). Η δεύτερη μετατροπή αφορά τη μη-απόρριψη του νερού έκπλυσης αλλά τη συγκέντρωσή του σε κατάλληλη δεξαμενή (circulating tank) και την επανακυκλοφορία του στο σύστημα (ABS, 2013). Το διάγραμμα που ακολουθεί την τυπική λειτουργία ενός hybrid scrubber.

Αν και συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των open-loop και των closed-loop scrubbers, το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των hybrid scrubbers, είναι η ευελιξία που προσφέρουν για λειτουργία ανεξάρτητα της αλκαλικότητας των υδάτων της περιοχής. Έτσι όταν το πλοίο βρίσκεται σε θαλάσσιο περιβάλλον με υψηλή αλκαλικότητα, τότε λειτουργεί σε open-loop mode, χωρίς να γίνεται χρήση χημικών πρόσθετων. Αντίθετα, σε περιοχές με μειωμένη αλκαλικότητα λειτουργεί σε closed-loop mode με τα αντίστοιχα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα όμως των hybrid scrubbers είναι το αυξημένο κόστος σε σχέση με τα open-loop και τα closed-loop scrubbers (Lloyds Register, 2015).

Διάγραμμα 6: Τυπική δομή και λειτουργία ενός hybrid scrubber



Πηγή: ABS, 2013

3.1.4 Dry Scrubbers

Τα dry scrubbers εφαρμόζονται ευρέως στις χερσαίες βιομηχανίες πριν ξεκινήσει η εφαρμογή τους και στα πλοία. Η διαδικασία της έκπλυσης περιλαμβάνει την έκθεση των καυσαερίων σε υδροξείδια του ασβεστίου (calcium hydroxide) τα οποία παραδίδονται στο πλοίο σε μορφή pellets (ABS, 2013). Τα pellets αυτά τροφοδοτούνται μέσω ενός μίαντα μεταφοράς σε έναν ξηρό αντιδραστήρα (absorber) μέσα από τον οποίο περνούν τα καυσαέρια. Από τη χημική αντίδραση που δημιουργείται ανάμεσα στα SO_x και τα pellets, προκύπτουν παραπροϊόντα όπως γύψος (gypsum) και νερό. Ο γύψος είναι ακίνδυνο υλικό, το οποίο αποθηκεύεται επί του πλοίου και στη συνέχεια εκφορτώνεται σε κατάλληλες εγκαταστάσεις στους λιμένες (Reynolds, 2011).

Ωστόσο ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην αποθήκευση και χρήση του calcium hydroxide. Αν και θεωρείται λιγότερο επικίνδυνο υλικό από την καυστική σόδα που χρησιμοποιείται στα closed-loop scrubbers, μπορεί επίσης να προκαλέσει ζημιές στα μάτια και το δέρμα, ενώ πρέπει να αποφεύγεται και η εισπνοή της σκόνης του (Lloyds Register, 2015).

Στα πλεονεκτήματα των dry scrubbers περιλαμβάνεται ότι δεν υπάρχει η ανάγκη για συστήματα επεξεργασίας του νερού έκπλυσης και ότι δεν υπάρχουν απορρίψεις νερού στο θαλάσσιο περιβάλλον. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για περιοχές που υπάρχουν οι αντίστοιχοι περιορισμοί για τις απορρίψεις νερού έκπλυσης στη θάλασσα (Lloyds Register, 2015). Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι μπορούν να συνδυαστούν με συστήματα SCR για τη μείωση των εκπομπών NOx. Αυτό συμβαίνει γιατί τα καυσαέρια δεν έρχονται σε επαφή με το νερό κι επομένως δεν ψύχονται. Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι ιδανικές για τη συνδυαστική χρήση με SCR που συνήθως απαιτούν θερμοκρασίες άνω των 350° C για να λειτουργήσουν σωστά (ABS, 2013).

Τα μειονεκτήματα των dry scrubbers περιλαμβάνουν την ανάγκη επαρκούς χώρου επί του πλοίου για την αποθήκευση των pellets calcium hydroxide, όσο και του γύψου ως αποτέλεσμα της διαδικασίας έκλυσης. Ο πλοιοκτήτης θα πρέπει, εκτός των άλλων, να φροντίσει για την τροφοδοσία και απομάκρυνση τόσο των pellets, όσο και του γύψου αντίστοιχα. Όλα αυτά δημιουργούν σημαντικό κόστος φυσικά (Lloyds Register, 2015).

3.2 Σύγκριση Τεχνολογιών Scrubbers

3.2.1 Λειτουργία σε freshwater

Όπως ειπώθηκε προηγουμένως, η αλκαλικότητα του υδάτινου περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργεί το scrubber, είναι σημαντικός παράγοντας μόνο για τα open-loop scrubbers. Η λειτουργία τους σε freshwater όπως αυτά των ποταμών και λιμνών είναι αδύνατη και απαιτείται η χρήση distillates. Αντίθετα, τα closed-loop και τα dry scrubbers δεν επηρεάζονται από την αλκαλικότητα του περιβάλλοντος, γιατί βασίζονται στη χρήση χημικών πρόσθετων (Lloyds Register, 2015).

3.2.2 Λειτουργία με μηδενικές απορρίψεις νερού έκπλυσης

Τα open-loop scrubbers απαιτούν συνεχείς απορρίψεις του νερού έκπλυσης κατά τη διαδικασία της έκπλυσης. Αντίθετα, τα closed-loop (και τα hybrid scrubbers όταν λειτουργούν σε closed-loop mode) μπορούν να αποθηκεύσουν το νερό έκπλυσης για κάποιο χρονικό διάστημα σε ειδικές δεξαμενές επί του πλοίου και να λειτουργούν με μηδενικές απορρίψεις. Τα dry scrubbers δεν έχουν καθόλου απορρίψεις νερού (Lloyds Register, 2015).

3.2.3 Βάρος

Τα dry scrubbers είναι κατά πολύ βαρύτερα από τα αντίστοιχα wet scrubbers (open/closed scrubbers). Το βάρος ενός dry scrubber μπορεί να φτάνει και τους 200 τόνους, σε σχέση με τα wet scrubbers που ζυγίζουν περίπου 30-55 τόνους. Επιπλέον, στα dry scrubbers το μεγαλύτερο μέρος του βάρους εδράζεται στο υψηλότερο μέρος του πλοίου, σε σχέση με τα wet scrubbers, όπου τα περισσότερα μέρη του συστήματος βρίσκονται χαμηλότερα. Ως εκ τούτου, μπορεί να προκύψουν ζητήματα σχετικά με την ευστάθεια του πλοίου (Lloyds Register, 2015).

3.2.4 Κατανάλωση Ενέργειας

Τα open-loop scrubbers απαιτούν μεγαλύτερες αντλίες σε σχέση με τα closed-loop scrubbers. Ο λόγος είναι ότι η αλκαλικότητα του θαλασσινού νερού είναι χαμηλότερη από αυτήν του νερού που έχει προστεθεί καυστική σόδα. Έτσι, απαιτείται συνεχής ροή θαλασσινού νερού και άρα μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας. Όσον αφορά τα dry scrubbers, η ενεργειακή απαίτηση εξαρτάται κυρίως από τον μίαντα μεταφοράς των pellets στο σύστημα έκπλυσης (absorber). Ως εκ τούτου, οι απαιτήσεις σε ενέργεια είναι χαμηλότερες σε σχέση με αυτές των wet scrubbers (Lloyds Register, 2015).

3.2.5 Συμβατότητα με συστήματα SCR

Τα wet scrubbers ψύχουν τα καυσαέρια και ως εκ τούτου δεν μπορούν να συνδυαστούν με συστήματα SCR για τη μείωση των εκπομπών NOx. Σε διαφορετική περίπτωση απαιτείται η εγκατάσταση reheater που θα αυξάνει τη θερμοκρασία των καυσαερίων στο απαραίτητο επίπεδο λειτουργίας των SCR. Στον αντίποδα, τα dry

scrubbers δεν ψύχουν τα καυσαέρια και έτσι μπορούν να συνδυαστούν με SCR συστήματα (Lloyds Register, 2015).

3.2.6 Μείωση των PM

Οι κατασκευαστές των διαφόρων τύπων scrubbers υποστηρίζουν ότι τα συστήματα τους επιτυγχάνουν μειώσεις των PM κατά 70-90%. Ωστόσο, καθώς κάθε κατασκευαστής χρησιμοποιεί διαφορετική μέθοδο μέτρησης, καθίσταται δύσκολη η σύγκριση των αποτελεσμάτων τους (Lloyds Register, 2015).

3.2.7 Εμφάνιση καπνού

Παρ' ότι όλα τα scrubbers ανεξαρτήτως κατηγορίας μειώνουν το black carbon και τη στάχτη (ash) από το φουγάρο του πλοίου, τα wet scrubbers αυξάνουν τους υδρατμούς στα καυσαέρια που βγαίνουν από το φουγάρο του πλοίου. Οι υδρατμοί εμφανίζουν το φαινόμενο του λευκού καπνού, το οποίο μπορεί να αντίκειται σε «smoke controls» ορισμένων περιοχών γιατί μειώνει την ορατότητα. Οι κατασκευαστές των scrubbers μπορούν να παρέχουν εξοπλισμό που καταπολεμά το φαινόμενο του λευκού καπνού, ωστόσο πωλείται ξεχωριστά ανεβάζοντας το κόστος της εγκατάστασης (Lloyds Register, 2015).

3.2.8 Απόσβεση του θορύβου της μηχανής

Συνήθως τα scrubbers εγκαθίστανται στο σημείο που βρίσκεται ο κατασιγαστής (silencer) της μηχανής, το οποίο οδηγεί σε αύξηση του θορύβου από τη λειτουργία της μηχανής. Για τα wet scrubbers, η απόσβεση του θορύβου εξαρτάται από τη λειτουργία ή όχι του scrubber. Η απόσβεση του θορύβου είναι ιδιαίτερα σημαντική για κρουαζιερόπλοια και RoPax πλοία και γι' αυτό πολλοί operators επιζητούν το συνδυασμό των scrubbers με κάποιο silencer (Lloyds Register, 2015).

3.3 Προκλήσεις από την εγκατάσταση Scrubbers

Η εγκατάσταση των scrubbers συνοδεύεται από μια σειρά προκλήσεων που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν ώστε να αποφευχθούν δυσάρεστες καταστάσεις και δυσλειτουργίες κατά τη χρήση. Οι συνήθεις προκλήσεις που αναφέρονται από τους νηογνώμονες είναι οι εξής:

- **Διαστάσεις:** καθώς οι scrubbers είναι μεγάλες κατασκευές, απαιτείται η ύπαρξη των κατάλληλων χώρων επί του πλοίου για την εγκατάστασή τους. Οι απαιτήσεις για διαθέσιμο χώρο είναι ακόμα μεγαλύτερες για τα dry scrubbers καθώς πρέπει να εξοικονομηθεί επαρκής χώρος τόσο για τα pellets, όσο και για το γύψο ως παραπροϊόν της έκπλυσης (ABS, 2013).
- **Ευστάθεια του πλοίου:** Η εγκατάσταση ενός scrubber προσθέτει σημαντικό βάρος πάνω στο πλοίο, το οποίο μπορεί να επηρεάσει το lightship displacement (LTD). Αν η διαφορά στο LTD ξεπερνά το 2% σε σχέση με το LTD πριν την εγκατάσταση του scrubber, τότε προτείνεται η εκτέλεση δοκιμών σχετικά με την ευστάθεια του πλοίου. Επιπλέον, οποιεσδήποτε αλλαγές στους υπολογισμούς της ευστάθειας θα πρέπει να καταγράφονται στο Stability Booklet επί του πλοίου (ABS, 2013).
- **Επιλογή κατάλληλων υλικών:** Τα χαμηλότερα τμήματα ενός scrubber εκτίθενται σε οξέα και χλωριούχα, καθώς και σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Απαιτείται λοιπόν να γίνεται επιλογή υλικών που να αντέχουν σε αυτές τις συνθήκες. Συνήθως επιλέγεται κράμα νικελίου ή διπλό ανοξείδωτο ατσάλι ως υλικό κατασκευής. Αντίθετα, στα υψηλότερα σημεία του scrubber επικρατούν ηπιότερες συνθήκες και γι' αυτό επιλέγονται λιγότερο ανθεκτικά υλικά (ABS, 2013). Το ίδιο ισχύει και για τις σωληνώσεις, όπου συνήθως επιλέγεται glass reinforced epoxy (GRE) ως υλικό κατασκευής (Lloyds Register, 2015).
- **Backpressure:** Τα scrubbers μπορεί να επηρεάσουν δυσμενώς τη λειτουργία της μηχανής του πλοίου, αν προκαλούν υπερβολικό backpressure. Ο κατασκευαστής θα πρέπει να θέτει τα όρια backpressure, τα οποία θα πρέπει να περιλαμβάνονται στο Technical File και δε θα πρέπει να ξεπερνώνται ποτέ. Σε αυτήν την κατεύθυνση βοηθά και η εγκατάσταση fans που μειώνουν την πίεση στο scrubber και αποτρέπουν την εμφάνιση backpressure στη μηχανή (ABS, 2013).
- **Πλημμύριση Scrubber:** Υπάρχει περίπτωση πλημμύρισης στο scrubber αν σταματήσουν ή βουλώσουν οι αντλίες που μεταφέρουν το νερό έκπλυσης. Σε ένα τέτοιο ενδεχόμενο μπορεί να προκληθεί ζημιά στη μηχανή ή στο boiler. Η εγκατάσταση αυτοματοποιημένων συστημάτων και συναγερμών αποτρέπει σε μεγάλο βαθμό τέτοιου είδους περιστατικά (ABS, 2013).

- **Exhaust Gas Bypass:** Σε περιπτώσεις που δεν απαιτείται η χρήση scrubber, δηλαδή εκτός ζωνών ECA, θα πρέπει να υπάρχει κάποιου είδους bypass που θα επιτρέπει στα καυσαέρια να εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα χωρίς έκπλυση. Κάτι τέτοιο εξοικονομεί σημαντικά ποσά ενέργειας στο πλοίο από τη μη-χρήση του scrubber. Ωστόσο, πρόβλημα μπορεί να προκύψει στα wet scrubbers που δεν έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν αφήνοντας τα καυσαέρια να περνούν χωρίς έκπλυση. Ο λόγος είναι ότι δεν έχουν κατασκευαστεί από επαρκώς ανθεκτικά υλικά στις υψηλότερες θερμοκρασίες των καυσαερίων, Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η πρόβλεψη για την ύπαρξη κατάλληλα κατασκευασμένων σωληνώσεων που θα επιτρέπουν το bypass (ABS, 2013).
- **Ηλεκτρικά συστήματα και Αυτοματισμοί:** Η εγκατάσταση scrubbers δημιουργεί όπως ειπώθηκε νωρίτερα υψηλές ενεργειακές ανάγκες. Οι ανάγκες αυτές σχετίζονται στους μεν wet scrubbers με τις αντλίες του νερού έκπλυσης, στους δε dry scrubbers με τη μεταφορά pellets και γύψου από και προς το scrubber αντίστοιχα. Γι' αυτό ενδεχομένως να απαιτηθεί η εγκατάσταση περισσότερων γεννητριών στο πλοίο. Επίσης, απαιτείται η εγκατάσταση control panels που θα ελέγχουν τη λειτουργία του scrubber στο μηχανοστάσιο και η ενοποίηση τους με τα κεντρικά συστήματα συναγερμών και παρακολούθησης του πλοίου. Επιπλέον, αυτοματοποιημένα συστήματα απαιτούνται για την παρακολούθηση και καταγραφή των επίπεδων καυσαερίων και των απορρίψεων νερού έκπλυσης στο περιβάλλον (ABS, 2013).
- **Εκπαίδευση πληρώματος και φόρτος εργασίας:** Είναι μείζονος σημασίας η ύπαρξη και παροχή του κατάλληλου προστατευτικού εξοπλισμού στο πλήρωμα κατά τη χρήση επικινδύνων χημικών υλικών όπως η καυστική σόδα. Εξίσου σημαντική είναι και η ενημέρωση του πληρώματος σχετικά με τη λειτουργία του scrubber και τους κινδύνους που ελλοχεύουν. Τέλος, το πλήρωμα πρέπει να είναι εξοικειωμένο με τις διαδικασίες συντήρησης του scrubber, αλλά και αυτές που θα πρέπει να ακολουθηθούν σε περίπτωση βλάβης (Lloyds Register, 2015).

3.4 Άλλοι λόγοι που αποθαρρύνουν την εγκατάσταση Scrubbers

Εκτός από τις προκλήσεις και τις τεχνολογικές δυσκολίες που υπάρχουν στην εφαρμογή των scrubbers στα πλοία, οι Bloor et al (2013) αναφέρουν μια σειρά από λόγους, οι οποίοι μπορεί να ανακόψουν τη διάδοση τους στη ναυτιλιακή αγορά. Πιο συγκεκριμένα, οι συγγραφείς αναφέρουν μια σειρά από λόγους μη-τεχνολογικής φύσεως, που αποθαρρύνουν την εφαρμογή των scrubbers στη ναυτιλία.

- Κανένα κίνητρο/πλεονέκτημα δε δίνεται σε αυτούς που πρωτοεφαρμόζουν scrubbers στα πλοία τους. Οι operators που επέλεξαν την εγκατάσταση scrubbers πριν το 2015 (οπότε και έγιναν πιο αυστηροί οι κανονισμοί) έχουν το μειονέκτημα τόσο του χαμένου χρόνου στις γιάρδες (για την εγκατάσταση των συστημάτων), όσο και των χαμένων ναύλων για όσο βρίσκονταν εκτός αγοράς. Επίσης, αν ο IMO παρατείνει το global sulphur cap από το 2020 στο 2025 και χωρίς τον απαιτούμενο χρόνο εντός ECA, οι πραγματικά κερδισμένοι φαίνεται να είναι αυτοί που δε βιάστηκαν να επενδύσουν. Το μόνο πλεονέκτημα που φαίνεται να έχουν αυτοί που τελικά επένδυσαν είναι ότι (ίσως) πρόλαβαν το συνωστισμό στις γιάρδες που θα επικρατήσει μελλοντικά.
- Αβεβαιότητα ρυθμιστικού πλαισίου: Η αβεβαιότητα αυτή αφορά το ποτέ θα εφαρμοστεί το global sulphur cap όπως αναφέρθηκε νωρίτερα (το 2020 ή το 2025), καθώς ο χρόνος αποτελεί σημαντική παράμετρο για το αν είναι οικονομικά βιώσιμη ή όχι η επένδυση. Σημαντικό ρόλο στην καθυστέρηση της εφαρμογής του global sulphur cap μπορούν να παίξουν τα διάφορα ναυτιλιακά lobbies και ομάδες συμφερόντων. Επιπρόσθετα, οι ερευνητές τονίζουν ότι υπάρχουν διαφορετικά κέντρα αποφάσεων σε διεθνές, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο. Αυτό σημαίνει ότι ακόμα και αν ένα πλοίο συμμορφώνεται με τους κανόνες του IMO, εξακολουθεί να κινδυνεύει από την παραβίαση αβέβαιων εθνικών ή περιφερειακών κανονισμών. Αυτό βρίσκει ιδιαίτερη εφαρμογή στις απορρίψεις νερού έκπλυσης, και παρ' ότι δεν υπάρχει κάποιος ρητός κανονισμός εν ενεργεία, είναι πολύ πιθανό να θεσπιστεί στο εγγύς μέλλον.
- Ο λάθος τύπος scrubber: Αβεβαιότητα υπάρχει και για το ποιος από τους τέσσερις τύπους scrubber που περιγράφηκαν προηγουμένως θα κυριαρχήσει

στην αγορά και θα αποδειχτεί ιδανικός για συμμόρφωση σε τωρινούς και μελλοντικούς κανονισμούς. Δεδομένου ότι απαιτείται ένα υψηλό ποσό αρχικής επένδυσης και τα πλοία ως assets έχουν ορίζοντα 20ετίας και πλέον, η απόφαση για επένδυση και σε ποιον τύπο μόνο εύκολη δεν είναι.

- Χρηματοδότηση: Εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι οι πηγές χρηματοδότησης για επένδυση σε scrubbers. Δεδομένης της κυκλικότητας του ναυτιλιακού κλάδου, της πτώσης των ναύλων τα τελευταία έτη και της συρρίκνωσης της τραπεζικής χρηματοδότησης, αποθαρρύνεται αισθητά ο πλοιοκτήτης να επενδύσει σε scrubbers.
- Βραχυπρόθεσμος ορίζοντας: Από οικονομικής και λογιστικής σκοπιάς, μπορεί η διοίκηση να αποφασίσει να διακρατήσει τα κέρδη και να μην επενδύσει σε scrubbers. Με αυτόν τον τρόπο θα κερδίσει την εύνοια και την εμπιστοσύνη των μέτοχων της εταιρίας.
- Μελλοντική διαθεσιμότητα HFO: Η επένδυση σε scrubbers στοχεύει εκτός των άλλων στη συνέχιση της χρήσης του «φθηνού» HFO σε σχέση με το «ακριβό» MGO. Ωστόσο, οι τεχνολογικές μεταβολές στα διυλιστήρια οδηγούν στη μείωση της παραγόμενης ποσότητας HFO, καθώς αυτό είναι υποπροϊόν της διύλισης. Υπό αυτό το πρίσμα, ενδέχεται η διαθεσιμότητα του HFO να φθίνει τα επόμενα χρόνια, καθιστώντας την επένδυση σε scrubbers αχρείαστη και οικονομικά μη-βιώσιμη.
- Δομή του ναυτιλιακού κλάδου: Τέλος, πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν η ιδιαίτερη δομή του κλάδου. Η μορφή ναύλωσης του πλοίου καθορίζει και το ποιος πληρώνει το κόστος των καυσίμων- στη χρονοναύλωση ο charterer, σε voyage charter ο πλοιοκτήτης. Αν ένα πλοίο είναι χρονοναυλωμένο για μικρές ή μεγάλες περιόδους, τότε ο πλοιοκτήτης επωφελείται ελάχιστα από το μειωμένο κόστος καυσίμων (εκτός ίσως από τη βελτιωμένη ελκυστικότητα του πλοίου στους charterers). Αυτό από μόνο του είναι ικανό αντικίνητρο για την επένδυση σε scrubbers (Bloor et al. 2013).

Κεφάλαιο Τέταρτο

Περιβαλλοντική αξιολόγηση

Η ουσία όλων των περιβαλλοντικών κανονισμών που αναλύθηκαν ανωτέρω είναι η μείωση των εκπομπών SO_x. Ως εκ τούτου είναι πολύ σημαντική η περιβαλλοντική αξιολόγηση των στρατηγικών συμμόρφωσης ως προς την αποτελεσματικότητα τους. Τα κριτήρια που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση είναι αφ' ενός η μείωση των αέριων εκπομπών, αφ' ετέρου οι επιδράσεις στο υδάτινο περιβάλλον από την απόρριψη του νερού έκπλυσης των καυσαερίων. Με βάση όσα έχουν ειπωθεί μέχρι τώρα είναι προφανές ότι το δεύτερο κριτήριο αφορά την εφαρμογή των scrubbers και κυρίως τους open-loop και τους hybrid scrubbers. Η ανάλυση που θα ακολουθήσει, συνοψίζει τα αποτελέσματα των δημοσιευμένων επιστημονικών μελετών σχετικά και με τα δυο αυτά κριτήρια.

4.1 Αέριες εκπομπές ρύπων

4.1.1 Εκπομπές SO_x

Το πρώτο και βασικότερο κριτήριο αξιολόγησης κι επιλογής –από περιβαλλοντική σκοπιά- των δυο στρατηγικών συμμόρφωσης είναι η ικανότητα τους να μειώσουν τα SO_x που εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Είναι ήδη γνωστό ότι με τη χρήση του MGO (με περιεκτικότητα σε θείο 0,1%) επιτυγχάνεται μείωση των εκπομπών στο αντίστοιχο ποσοστό. Επομένως το πραγματικό ερώτημα που τίθεται είναι αν τα scrubbers μπορούν να πετύχουν τουλάχιστον την ίδια μείωση ως ισοδύναμες λύσεις.

Οι Jiang et al (2014) χρησιμοποίησαν ένα containership μεταφορικής ικανότητας 5.000 TEU, που εκτελούσε ταξίδια ανάμεσα στο Rotterdam και το Gothenburg. Η απόσταση ανάμεσα τους είναι περίπου 1.000 ναυτικά μίλια και υπέθεσαν ότι το πλοίο-υπόδειγμα εκτέλεσε 52 κυκλικά ταξίδια το χρόνο. Σύμφωνα με την έρευνα αυτή, η χρήση ενός open-loop scrubber πέτυχε μείωση των SO_x κατά 98% και των PM κατά 55%. Αντίστοιχα, με τη χρήση MGO επετεύχθη μείωση των SO_x κατά 90% και των PM κατά 38% (Jiang et al, 2014). Επομένως, η χρήση scrubber είχε ανώτερα περιβαλλοντικά αποτελέσματα σε σχέση με τη χρήση MGO.

Σε μια άλλη έρευνα, οι Brynolf et al (2014) χρησιμοποίησαν ως βασική υπόθεση την κατανάλωση HFO από ένα πλοίο Ro-Ro που εκτελεί δρομολόγια στη Βόρεια Ευρώπη. Οι εναλλακτικές υποθέσεις ήταν η χρήση MGO ως μέσο συμμόρφωσης ή η χρήση ενός open-loop scrubber μαζί με καύση HFO περιεκτικότητας σε θείο 2,7%. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν μείωση των εκπομπών SO_x κατά 96% συγκριτικά με τη χρήση MGO που πέτυχε μείωση κατά 90% (Brynolf et al, 2014).

Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών επιβεβαιώνουν παλαιότερη έρευνα (COWI, 2012) όπου υποστήριζε μειώσεις των SO_x μεταξύ 90% και 99%. Μάλιστα, το ποσοστό αυτό είναι σταθερό ανεξάρτητα από τον τύπο του scrubber που επιλέγεται, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 16:

Πίνακας 16

Scrubber type	Maximum % sulphur in fuel achieving air emissions equivalent to 0.1% sulphur in fuel
Switchable	3 - 3.5
Seawater	3.5
Freshwater	3.5 - 5
Dry	4.5

Πηγή: COWI, 2012

Η ικανότητα των scrubbers να μειώνουν τις εκπομπές SO_x σε επίπεδα παρόμοια ή και ανώτερα του MGO επιβεβαιώνεται και από την πλέον πρόσφατη έρευνα (Delft, 2015). Όπως δείχνει ο πίνακας 17, τα scrubbers επιτυγχάνουν μείωση των SO_x άνω του 90% και των PM μεταξύ 60% και 90%, ενώ η αποτελεσματικότητά τους στη μείωση των NO_x είναι πολύ χαμηλή.

Πίνακας 17: Ποσοστά μείωσης αέριων ρύπων από scrubbers

Pollutant	Reduction
SO _x	>90%
PM	60-90%
NO _x	<10%

Source: Delft, 2015

4.1.2 Εκπομπές CO₂

Και οι τέσσερις έρευνες που προαναφέρθηκαν κατέδειξαν μια «παρενέργεια» από τη χρήση των scrubbers, που φαίνεται να μην έχει ληφθεί τόσο πολύ υπ' όψιν από την παγκόσμια κοινότητα και αφορά τη μικρή αύξηση στις εκπομπές CO₂. Η αύξηση αυτή προκύπτει από τις αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις από τη χρήση των scrubbers.

Οι Brynolf et al (2014) χρησιμοποίησαν την αξιολόγηση κύκλου ζωής (life cycle assessment) ώστε να βρουν την επίδραση κάθε τρόπου συμμόρφωσης στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Από την έρευνα πρόεκυψε ότι η χρήση MGO έχει ελαφρώς μικρότερο αντίκτυπο στην κλιματική αλλαγή σε σχέση με το συνδυασμό HFO και scrubber. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουν και οι Jiang et al (2014), οι οποίοι υποστηρίζουν ότι η χρήση των scrubbers οδηγεί σε μικρή αύξηση των εκπομπών CO₂, ενώ η χρήση MGO οδηγεί σε μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 3%.

Η αύξηση των εκπομπών CO₂ διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τον τύπο του scrubber που θα επιλεγεί τελικά, όπως καταλήγει η έρευνα των Ma et al (2012). Όπως φαίνεται, οι closed loop scrubbers έχουν μικρότερη αύξηση των εκπομπών CO₂, ακολουθούμενοι από τους open-loop και τους dry scrubbers.

Πίνακας 18: Ποσοστά αύξησης εκπομπών CO₂ ανά τύπο scrubber

Scenario	WtW GHG emissions
HFO	Baseline
Seawater scrubber	4.0-4.9
Freshwater scrubber	2.5-2.9
Dry scrubber	4.9-5.5
50% conversion to MGO	6.5
100% conversion to MGO	15.8

Source: Delft, 2015 citing Ma et. al, 2012

Φυσικά, δεν πρέπει να παραγνωρίζουμε ότι η αυξημένη παραγωγή MGO που θα απαιτηθεί λόγω μεγαλύτερης ζήτησης και προτίμησης από τις ναυτιλιακές εταιρίες, οδηγεί και αυτή σε αύξηση των εκπομπών CO₂. Η αύξηση αυτή κυμαίνεται από 1-2% ως και 10% (Delft, 2015). Δεδομένων των εντατικών προσπαθειών της διεθνούς κοινότητας για τη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου, είναι μείζονος σημασίας να ληφθεί υπ' όψιν και αυτή η παράμετρος σε μελλοντικές αλλαγές των περιβαλλοντικών κανονισμών σε παγκόσμιο, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο.

4.2 Απορρίψεις νερού (water discharges)

Οι απορρίψεις νερού έκπλυσης από πλοία που χρησιμοποιούν scrubbers μπορούν να υποβαθμίσουν το θαλάσσιο περιβάλλον. Οι Οδηγίες του IMO (MEPC 184(59)) έθεσαν τα κριτήρια βάσει των οποίων θα αξιολογείται η επίδραση του νερού έκπλυσης στο υδάτινο περιβάλλον. Οι Hasselov et al (2013) υποστηρίζουν ότι οι απορρίψεις του νερού έκπλυσης στη θάλασσα, μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην οξύνιση των ωκεανών. Όσον αφορά τα νιτρικά άλατα, η περιεκτικότητα του νερού έκπλυσης σε άζωτο είναι χαμηλή και σημαντικά χαμηλότερη από τις απαιτήσεις των Οδηγιών του IMO. Τέλος, οι μετρήσεις έχουν δείξει ότι η περιεκτικότητα του νερού έκπλυσης σε PAH's είναι εντός των ορίων που έχουν τεθεί από τον IMO (Delft, 2015).

4.2.1 Ποιότητα νερού και συσχέτιση με τη Marine Strategy Framework Directive

Η Ευρωπαϊκή Ένωση για να προστατέψει τα υδάτινα οικοσυστήματα από τις δυσμενείς επιδράσεις των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, δημιούργησε τα

Environmental Quality Standards (EQS) που περιλαμβάνονται στη Water Framework Directive 2013. Τα EQS ορίζονται από τα ακόλουθα κριτήρια:

- Μέση Ετήσια Συγκέντρωση (Annual Average Concentration, AA EQS): Το κριτήριο αυτό στοχεύει να προστατέψει τους θαλάσσιους οργανισμούς μακροπρόθεσμα (COWI, 2012)
- Μέγιστη Επιτρεπόμενη Συγκέντρωση (Maximum Acceptable Concentration, MAC EQS) στοχεύει στην αντιμετώπιση βίαιων και ραγδαίων αλλαγών που σημειώνονται σε μικρό χρονικό διάστημα (λιγότερο από μια φορά το μήνα) κι έχουν μικρή διάρκεια (λιγότερο από 24 ώρες) (COWI, 2012). Σε κάθε περίπτωση τα MAC EQS δε θα πρέπει να ξεπερνώνται ποτέ (Delft, 2015).

Η πιο ενδελεχής μελέτη σχετικά με την επίδραση του νερού έκπλυσης στο υδάτινο περιβάλλον σε συνάρτηση με τα δυο κριτήρια που περιγράφηκαν πριν, διεξήχθη από το Δανέζικο Υπουργείο Περιβάλλοντος (COWI, 2012). Αρχικά μελετήθηκαν και καταγράφηκαν οι ουσίες που περιέχονταν στο νερό έκπλυσης του πλοίου Ficatia Seaways. Το πλοίο αυτό θεωρήθηκε ιδανικό τόσο γιατί ήταν αντιπροσωπευτικό των πλοίων που ταξίδευαν στη ζώνη ECA της Βαλτικής από πλευράς μεγέθους, όσο και γιατί ήταν εξοπλισμένο με hybrid scrubber. Το τελευταίο έδινε τη δυνατότητα στους μελετητές να καταγράψουν τις επιβλαβείς ουσίες που περιέχονταν στο νερό έκπλυσης όταν το scrubber σε open-loop mode και σε closed-loop mode. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αντιπαρατεθήκαν με τους δείκτες AA EQS και MAC EQS τόσο της ΕΕ, όσο και της Δανίας. Ο πίνακας 19 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της έρευνας.

Πίνακας 19: Επιβλαβείς ουσίες στο νερό έκπλυσης του Ficaria Seaways και σύγκριση τους με τους δείκτες AA EQS και MAC EQS

Name	SW-washwater Flow-through, HFO 2.2% S with particles* (µg/L)		FW-washwater 2 h circ., HFO 2.2% S without particles (µg/L)	EU EQS / Danish EQS Marine environment (µg/L)**	
	High load	Low load	High load	AA-EQS ¹	MAC-EQS ¹
Sulphur (mg/L)	900	900	9000	-	-
Arsenic (As)	<1.0	1.8	9.8	- / 0.11	- / 1.1
Lead (Pb)	21	3.6	3.8	7.2 / 0.34	na / 2.8
Cadmium (Cd)	<0.20	<0.20	0.094	0.2	0.45 - 1.5
Copper (Cu)	260	150	860	- / 1.0	- / 2
Mercury (Hg)	0.086	0.092	<0.050	0.05	0.07
Nickel (Ni)	43	20	3100	20 / 0.23	- / 6.8
Vanadium (V)	180	81	14000	- / 4.1	- / 57.8
Zinc (Zn)	450	150	420	- / 7.8	- / 8.4
Benzene - C10	<2.0	<2.0	16	8 ²	50 ²
C10 - C25	55	52	4400	-	-
C25 - C35	58	88	6600	-	-
Sum, benzene-C35	110	140	11000	-	-
ΣPAH	0.96	1.1	3.8	-	-
Naphthalene	0.48	0.51	0.32	1.2	na

Πηγή: COWI, 2012

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα, το νερό έκπλυσης περιέχει επιβλαβείς ουσίες που ξεπερνούν κατά πολύ τα όρια της ΕΕ και της Δανίας. Παρ' όλα αυτά, η Κοινοτική Οδηγία δεν απαιτεί οπωσδήποτε συμμόρφωση με το EQS στο σημείο απόρριψης του

νερού έκπλυσης, αλλά στα όρια μιας ζώνης μίξης (mixing zone) λαμβάνοντας υπ' όψιν τις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν (COWI, 2012).

Η έρευνα βασίστηκε στα αποτελέσματα του Ficaria για τη δημιουργία τριών σεναρίων και των επιπτώσεων τους. Τα σενάρια που μελετήθηκαν είναι:

- i. “All ships”: όλα τα πλοία θα εξοπλιστούν με scrubbers από 1/1/2015 ως μέσο συμμόρφωσης στους κανονισμούς
- ii. “One ship”: ένα πλοίο θα εξοπλιστεί με scrubber για να μελετηθεί η μεμονωμένη του επίδραση τοπικά
- iii. “No scrubbers”: κανένα πλοίο δεν εξοπλίζεται με scrubbers και χρησιμοποιούνται distillates ως μέσο συμμόρφωσης στους κανονισμούς

Οι περιοχές που επελέγησαν προς μελέτη ήταν το Kattegat και το Aarhus. Και οι δυο περιοχές χαρακτηρίζονται από έντονη κίνηση πλοίων αλλά διαφέρουν ως προς τα χαρακτηριστικά τους: το Kattegat είναι μια ανοιχτή θάλασσα, ενώ το Aarhus είναι πιο κλειστή και ρηχή περιοχή (COWI, 2012).

Στο πρώτο σενάριο (All ships), η περιεκτικότητα σε θείο του νερού έκπλυσης που απορρίπτεται έχει μικρή επίδραση στο buffering capacity της θάλασσας. Το επίπεδο pH δεν επηρεάζεται σημαντικά από την περιοχή μελέτης. Αντίστοιχα, οι επιβλαβείς ουσίες που περιέχονται στο νερό έκπλυσης είναι δυο-τρεις τάξεις μεγέθους χαμηλότερα από τους δείκτες EQS. Μοναδικές εξαιρέσεις αποτελούν τα επίπεδα χαλκού (copper) και νικελίου (nickel) που ξεπερνούν τους δείκτες, ωστόσο οι ερευνητές θεωρούν ότι οι υψηλότερες τιμές οφείλονται σε μόλυνση του δείγματος (COWI, 2012).

Στο δεύτερο σενάριο (One ship) η συγκέντρωση θείου είναι χαμηλότερη από το buffering capacity της θάλασσας τόσο στο Kattegat όσο και γενικότερα στη θάλασσα της Βαλτικής και θεωρείται αμελητέα. Ακόμα και αν το πλοίο-υπόδειγμα είχε το διπλάσιο μέγεθος μηχανής, οι συγκεντρώσεις θείου θα ήταν και πάλι χαμηλότερες από την αλκαλικότητα της θάλασσας. Επιπλέον, τα επίπεδα συγκέντρωσης επιβλαβών ουσιών είναι πολλές φορές χαμηλότερα από τους δείκτες EQS της ΕΕ και της Δανίας (COWI, 2012). Ως εκ τούτου, οι δυσμενείς επιπτώσεις σε τοπικό επίπεδο από το νερό έκπλυσης των scrubbers είναι περιορισμένες και σε ασφαλή επίπεδα.

Τέλος, στο τρίτο σενάριο (“no scrubbers”) εκτιμάται η απόρριψη περίπου 360 τόνων θείου, πολύ χαμηλότερη από την ετήσια απόρριψη 12.670 τόνων κατά το πρώτο σενάριο, επομένως οι επιπτώσεις είναι αμελητέες. Το ίδιο ισχύει και για τις επιβλαβείς ουσίες, με εξαίρεση το νικέλιο και το βανάδιο (vanadium) που η συγκεντρώνση τους σχετίζεται με την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο. Σε σύγκριση με το πρώτο σενάριο που οι επιπτώσεις προκύπτουν τοπικά (λόγω της απόρριψης του νερού έκπλυσης του scrubber), στο τρίτο σενάριο οι συγκεντρώσεις προκύπτουν σε ευρύτερο επίπεδο λόγω των ατμοσφαιρικών εκπομπών. Σε κάθε περίπτωση, η χρήση distillates αντί για scrubbers οδηγεί σε χαμηλότερες απορρίψεις θείου, νικελίου και βανადίου συγκριτικά με το ακραίο σενάριο της καθολικής χρήσης scrubbers (COWI, 2012).

4.2.2 Η χρήση scrubbers στους λιμένες

Τα λιμάνια ως κλειστές περιοχές είναι περισσότερο ευάλωτα στη ρύπανση σε σχέση με τις ανοιχτές θάλασσες. Είναι αναμενόμενο λοιπόν ότι οι επιδράσεις του νερού έκπλυσης των scrubbers θα είναι μεγαλύτερες στους λιμένες παρά στις ανοιχτές θάλασσες (Delft, 2015).

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, το θεσμικό πλαίσιο για την απόρριψη του νερού έκπλυσης από scrubbers βρίσκεται ακόμα υπό συζήτηση. Ωστόσο, κάποιες χώρες έχουν θέσει όρια συγκεντρώσεων επιβλαβών ουσιών σε συνάρτηση με το Water Framework Directive ή και ακόμα χαμηλότερα. Για παράδειγμα, η Γερμανία έχει απαγορεύσει την απόρριψη νερού έκπλυσης σε ποταμούς και κλειστές περιοχές, όπως το κανάλι του Κίελου. Επίσης, το Βέλγιο έχει απαγορεύσει τις απορρίψεις σε απόσταση τριών ναυτικών μιλίων από τις ακτές του (Delft, 2015).

Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται περισσότερη έρευνα σχετικά με τις επιπτώσεις του νερού έκπλυσης στο υδάτινο περιβάλλον. Οι μέχρι τώρα έρευνες είναι περιορισμένες σε αριθμό και απαιτείται η επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων τους και από άλλους ερευνητές. Αυτό ισχύει ακόμα περισσότερο για τους λιμένες και τις παράκτιες περιοχές, όπου και οι επιπτώσεις είναι μεγαλύτερες και διακρίνεται ένα έλλειμμα ερευνητικών μελετών (Delft, 2015). Τέλος, οι έρευνες αυτές θα πρέπει να επιταχυνθούν λαμβάνοντας υπ’ όψιν τη μαζική υιοθέτηση scrubbers από όλο και περισσότερα πλοία στο εγγύς μέλλον ως συνέπεια των νέων κανονισμών.

Κεφάλαιο Πέμπτο

Οικονομική αξιολόγηση

Μετά την περιβαλλοντική αξιολόγηση των δυο στρατηγικών επιλογών συμμόρφωσης, θα αναφερθούν οι επιστημονικές μελέτες που εξετάζουν αν καθεμία επιλογή είναι οικονομικά συμφέρουσα και βιώσιμη. Η σύγκριση αφορά τόσο την πλευρά του κόστους κάθε επιλογής, αλλά και την περίοδο επανείσπραξης (payback period) που απαιτείται ώστε να καλυφθεί το αρχικό κόστος της επένδυσης.

Η πρώτη έρευνα που μελέτησε αν αξίζει ή όχι η επένδυση σε scrubbers ως μέσο συμμόρφωσης ενόψει των επερχόμενων περιβαλλοντικών κανονισμών δημοσιεύεται το 2011 (Reynolds, 2011). Στο βασικό στάδιο ανάλυσης χρησιμοποιούνται τρεις διαφορετικές διαδρομές από διαφορετικά μεγέθη πλοίων που περνούν διαφορετικό χρόνο σε ζώνες ECA. Και τα τρία πλοία εφοδιάζονται με ένα open-loop scrubber για τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς. Τα χαρακτηριστικά των 3 πλοίων περιγράφονται στον πίνακα 20:

Πίνακας 20: Δεδομένα της έρευνας του Reynolds (2011)

Vessel	Capacity	Trip Duration (Days)	Speed (Knots)	Annual Fuel Consumption (mt)	Consumption in ECA (mt)
1	4,000 (TEU)	25	23	35,000	6,200
2	2,000 (TEU)	7	20	19,000	9,600
3	60,000 (DWT)	8	14.5	11,000	11,000

Source: Reynolds, 2011

Και οι τρεις επενδύσεις έχουν χρονικό ορίζοντα δέκα έτη, με την επένδυση να ξεκινά το 2014. Η διαφορά στη τιμή ανάμεσα στο HFO και τα distillates είναι σταθερή στα \$255/mt και για τα τρία πλοία. Διαφοροποίηση υπάρχει στο αρχικό κόστος επένδυσης που κυμαίνεται στα \$5,260,000 για το πλοίο 1, στα \$5,060,000 για το πλοίο 2 και \$3,960,000 για το πλοίο 3. Τα αποτελέσματα της έρευνας παρουσιάζονται στον πίνακα 21:

Πίνακας 21: Αποτελέσματα της σύγκρισης διαφορετικών δρομολογίων

	Ship/Route Pair	Containership Transpacific	Containership Alaska to Puget Sound	Tankship US West Coast
	Scrubber Type	Open Loop	Open Loop	Open Loop
VARIABLES " CONTROLLED				
<u>Investment Terms</u>				
Life Cycle	(# of Years)	10	10	10
Analysis Date (Today)	(Year)	2011	2011	2011
Scrubber Installation Date	(Year)	2014	2014	2014
Discount Rate	(%)	10.0%	10.0%	10.0%
<u>Capital Expense for Scrubber</u>				
Equipment (Today)	(USD/One Time)	\$5,260,000	\$5,060,000	\$3,960,000
Engineering/Design	(% Equip Cost)	7.0%	7.0%	7.0%
Training/Documents	(% Equip Cost)	2.0%	2.0%	2.0%
Install/Commission	(% Equip Cost)	50.0%	50.0%	50.0%
<u>Operating Expense " Annual</u>				
ECA Fuel Consumption	(MT/Annual)	6,212	9,636	10,840
Chemical Consumption	(% of Fuel Cost)	0.0%	0.0%	0.0%
Scrubber Parasitic Loads	(% of Fuel Cost)	2.0%	2.0%	2.0%
Distillate Calorie Correction	(% of Fuel Cost)	4.0%	4.0%	4.0%
HFO Process and Heating	(% of Fuel Cost)	0.8%	0.8%	0.8%
Operating Engineer (Today)	(USD/Annual)	\$292,000	\$292,000	\$292,000
Operating Engineer	(% of Position)	50.0%	50.0%	50.0%
M&R Equipment	(% Equip Cost/Annual)	4.0%	4.0%	4.0%
Variables " Uncertain				
Fuel Differential (Today)	(USD/MT)	\$255.50	\$255.50	\$255.50
Fuel/Chemical Escalation Rate	(% " Annual for Op Period)	8.0%	8.0%	8.0%
Personnel Inflation Rate	(% " Annual for Op Period)	3.0%	3.0%	3.0%
Equipment Inflation Rate	(% " Annual for Op Period)	3.3%	3.3%	3.3%
Analysis Results " Overview (Nearest \$1,000)				
Capital Cost	(USD " Year Zero Dollars)	(9,219,000)	(8,868,000)	(6,941,000)
Expenses " Year One	(USD " Year One Dollars)	(551,000)	(623,000)	(601,000)
Fuel Savings " Year One	(USD " Year One Dollars)	2,159,000	3,350,000	3,768,000
Net Present Value	(USD " 2011 Dollars)	4,851,000	14,562,000	20,110,000
Internal Rate of Return	(%)	20%	36%	53%

Πηγή: Reynolds, 2011

Όπως φαίνεται και στις τρεις περιπτώσεις, οι αντίστοιχες επενδύσεις παράγουν θετική παρούσα αξία (NPV), ενώ και οι εσωτερικοί συντελεστές απόδοσης (IRR) κυμαίνονται από 20% έως 53% (Reynolds, 2011). Επιπλέον, συμπεραίνεται ότι όσο μικρότερο το αρχικό κόστος εξοπλισμού, τόσο μεγαλύτερη η NPV και ο IRR, διατηρώντας την περίοδο της επένδυσης σταθερή στα δέκα έτη. Το άλλο

συμπέρασμα που γίνεται εύκολα αντιληπτό είναι ότι όσο μεγαλύτερη η κατανάλωση καυσίμου στη ζώνη ECA, τόσο μεγαλύτερη η NPV και ο IRR. Αυτό είναι απόλυτα λογικό, καθώς όσο αυξάνεται ο χρόνος παραμονής στην ECA και η κατανάλωση του ακριβότερου συμβατού καυσίμου (MGO), τόσο περισσότερο συμφέρει τη ναυτιλιακή εταιρία να επενδύσει σε scrubbers.

Στο δεύτερο μέρος της ίδιας έρευνας επιλέγεται το πλοίο 1 (δρομολόγιο Transpacific) και μελετώνται οι επενδύσεις στους τέσσερις διαφορετικούς τύπους scrubbers που αναλύθηκαν στο τρίτο κεφάλαιο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 22:

Πίνακας 22: Αποτελέσματα της σύγκρισης διαφορετικών τύπων scrubbers

	Ship/Route Pair	Containership Alaska to Puget Sound	Containership Alaska to Puget Sound	Containership Alaska to Puget Sound	Containership Alaska to Puget Sound
	Scrubber Type	Open Loop	Closed Loop	Hybrid	Dry
Sensitivity Analysis	Scrubber Types	Open Loop	Closed Loop	Hybrid	Dry
VARIABLES " CONTROLLED					
<u>Investment Terms</u>					
Life Cycle	(# of Years)	10	10	10	10
Analysis Date (Today)	(Year)	2011	2011	2011	2011
Scrubber Installation Date	(Year)	2014	2014	2014	2014
Discount Rate	(%)	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%
<u>Capital Expense for Scrubber</u>					
Equipment (Today)	(USD/One Time)	\$5,060,000	\$6,180,000	\$5,424,000	\$5,120,000
Engineering/Design	(% Equip Cost)	7.0%	9.0%	9.0%	11.0%
Training/Documents	(% Equip Cost)	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%
Install/Commission	(% Equip Cost)	50.0%	65.0%	75.0%	85.0%
<u>Operating Expense " Annual</u>					
ECA Fuel Consumption	(MT/Annual)	9,636	9,636	9,636	9,636
Chemical Consumption	(% of Fuel Cost)	0.0%	3.0%	1.5%	3.0%
Scrubber Parasitic Loads	(% of Fuel Cost)	2.0%	1.0%	1.5%	1.0%
Distillate Calorie Correction	(% of Fuel Cost)	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%
HFO Process and Heating	(% of Fuel Cost)	0.8%	0.8%	0.8%	0.8%
Operating Engineer (Today)	(USD/Annual)	\$292,000	\$292,000	\$292,000	\$292,000
Operating Engineer	(% of Position)	50.0%	65.0%	65.0%	65.0%
M&R Equipment	(% Equip Cost/Annual)	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%
Variables " Uncertain					
Fuel Differential (Today)	(USD/MT)	\$255.50	\$255.50	\$255.50	\$255.50
Fuel/Chemical Escalation Rate	(% " Annual for Op Period)	8.0%	8.0%	8.0%	8.0%
Personnel Inflation Rate	(% " Annual for Op Period)	3.0%	3.0%	3.0%	3.0%
Equipment Inflation Rate	(% " Annual for Op Period)	3.3%	3.3%	3.3%	3.3%
Analysis Results " Overview (Nearest \$1,000)					
Capital Cost	(USD " Year Zero Dollars)	(8,868,000)	(11,990,000)	(11,121,000)	(11,175,000)
Expenses " Year One	(USD " Year One Dollars)	(623,000)	(790,000)	(722,000)	(742,000)
Fuel Savings " Year One	(USD " Year One Dollars)	3,350,000	3,350,000	3,350,000	3,350,000
Net Present Value	(USD " Present Dollars)	14,562,000	10,185,000	11,574,000	11,336,000
Internal Rate of Return	(%)	36%	25%	28%	27%

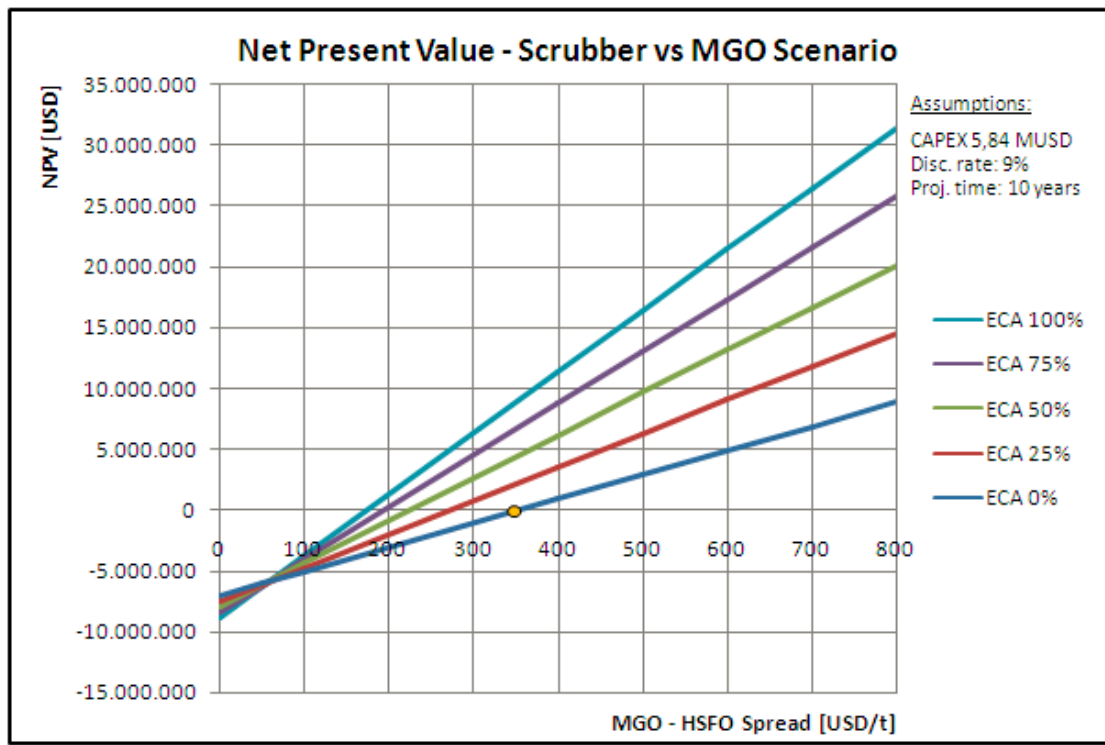
Πηγή: Reynolds, 2011

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα, και οι τέσσερις επενδύσεις στους αντίστοιχους scrubbers παράγουν θετική NPV και IRR που κυμαίνονται μεταξύ 25% και 36%. Ο open-loop scrubber ξεχωρίζει από τους υπόλοιπους τύπους λόγω των χαμηλότερων κεφαλαιακών και λειτουργικών δαπανών. Οι άλλοι τρεις τύποι υστερούν λόγω των χημικών πρόσθετων που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία τους και ανεβάζουν το λειτουργικό κόστος και δευτερευόντως, λόγω των απαιτούμενων διαρρυθμίσεων επί του πλοίου (Reynolds, 2011).

Τέλος, οι συγγραφείς αναφέρουν πως αν η διαφορά τιμής HFO και distillates αυξηθεί τα επόμενα χρόνια (όπως αναμένεται να συμβεί λόγω υψηλότερης ζήτησης και περιορισμένης διαθεσιμότητας distillates), τότε οι προκύπτουσες NPV και IRR θα είναι ακόμα μεγαλύτερες. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουν ακόμα και με την επιβολή του global sulphur cap είτε το 2020, είτε το 2025 (Reynolds, 2011).

Η πρώτη έρευνα που συνέκρινε απευθείας τις δυο επιλογές δημοσιεύτηκε το 2012 (Greenship, 2012). Αντικείμενο της έρευνας ήταν το tanker “Nord Butterfly”, χωρητικότητας 38,500 dwt με υπηρεσιακή ταχύτητα 14 κόμβων. Η περίοδος επένδυσης ορίστηκε στα δέκα ετη και ο discount factor στο 9%. Η τιμή του HFO ορίστηκε στα \$650/τόνο και η διαφορά τιμής HFO και MGO κυμαίνεται από \$100 έως \$800/τόνο. Τα δυο βασικά σενάρια που εξετάστηκαν ήταν η χρήση MGO εντός ECA ή η εγκατάσταση scrubber και χρήση HFO. Τέλος υποτίθεται ότι το global sulphur cap ξεκινά το 2020. Τα διαγράμματα 7-9 που ακολουθούν παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της έρευνας:

Διάγραμμα 7: Σύγκριση των δύο εναλλακτικών συμμόρφωσης ως προς την NPV



Πηγή: Greenship, 2012

Διάγραμμα 8: Σύγκριση των δύο εναλλακτικών συμμόρφωσης ως προς το payback period



Πηγή: Greenship, 2012

Διάγραμμα 9: Σύγκριση των δύο εναλλακτικών συμμόρφωσης ως προς το payback period για διαφορετικούς χρόνους έκθεσης σε ECA



Πηγή: Greenship, 2012

Τα συμπεράσματα της έρευνας ήταν εξαιρετικά ενδιαφέροντα. Χρησιμοποιώντας ως επενδυτικά κριτήρια την NPV και το payback period, επιβεβαιώθηκε η «ευαισθησία» της καθαρής παρούσας αξίας στο χρόνο λειτουργίας εντός ECA που είχε δείξει η προηγούμενη μελέτη. Πιο συγκεκριμένα, το payback period κυμαίνεται από τρία έτη (με 100% λειτουργία εντός ECA) έως οκτώ έτη (με 25% λειτουργία εντός ECA). Ο κάθε πλοιοκτήτης θα προβεί στην αντίστοιχη επένδυση ανάλογα με το χρόνο επανείσπραξης που ζητά (Greenship, 2012).

Επιπλέον, η μελέτη αυτή επιβεβαιώνει τη διαφορά τιμής HFO και MGO ως έναν κρίσιμο παράγοντα πραγματοποίησης της επένδυσης σε scrubber, όπως είχε δείξει και η μελέτη του Reynolds (2011). Όταν το spread μεταξύ HFO και MGO μειώνεται, τότε αυξάνεται το payback period αντίστοιχα. Ενδιαφέρον προκαλεί το γεγονός ότι ο χρόνος επανείσπραξης δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη μεταβολή της τιμής του HFO σε απόλυτους όρους (άσχετα δηλαδή από την τιμή του MGO) (Greenship, 2012).

Επιπρόσθετα, οι χρόνοι επανείσπραξης δεν επηρεάζονται σημαντικά από το χρόνο εφαρμογής του global sulphur cap. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί το πλοίο να

ταξιδεύει το 75% του χρόνου του σε ζώνη ECA. Σε διαφορετική περίπτωση, ο χρόνος επανείσπραξης αυξάνεται αν το global sulphur cap εφαρμοστεί το 2025. Τέλος, ο παράγοντας των κεφαλαιακών απαιτήσεων (CAPEX) δε φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά το χρόνο επανείσπραξης (Greenship, 2012).

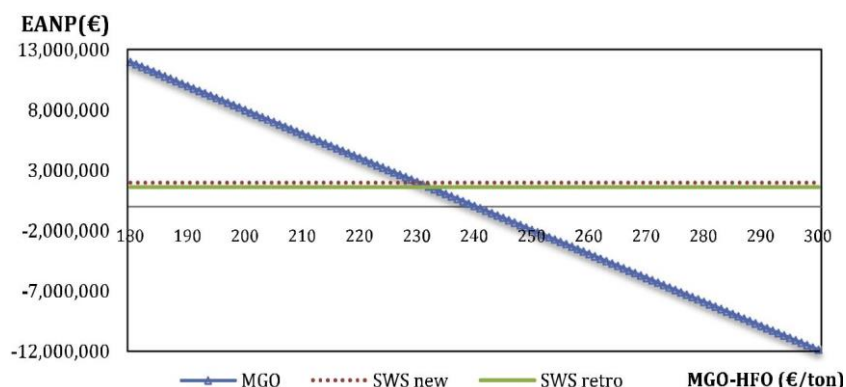
Σε διαφορετικά συμπεράσματα καταλήγουν οι Yang et al (2012) σχετικά με την επιλογή μεταξύ distillates και scrubbers. Η μελέτη τους κατέδειξε ως καλύτερη λύση συμμόρφωσης τη χρήση MGO εντός ECA. Αντίθετα, τα scrubbers είναι δευτερεύουσα επιλογή λόγω των υψηλών κεφαλαιακών απαιτήσεων κατά την αρχική επένδυση αλλά και των λειτουργικών δυσκολιών. Παρ' όλα αυτά, εκτιμάται ότι η εγκατάσταση scrubbers θα μπορούσε να εξαπλωθεί μελλοντικά, όταν γίνουν πιο αυστηρά τα όρια εκπομπών SOx (όπως με το global sulphur cap) (Yang et al, 2012).

Οι Jiang et al (2014) χρησιμοποίησαν μια ανάλυση κόστους-οφέλους προκειμένου να συγκρίνουν διαφορετικές τεχνικές συμμόρφωσης με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Όπως και πριν, η τεχνική συμμόρφωσης που παράγει θετική NPV θεωρείται βιώσιμη και ελκυστική.

Το βασικό σενάριο των ερευνητών ήταν η επιλογή κανενός τρόπου συμμόρφωσης (κατανάλωση HFO) και οι δυο εναλλακτικές επιλογές ήταν η κατανάλωση MGO ή ο συνδυασμός HFO και scrubber. Με βάση αυτές τις υποθέσεις, η έρευνα κατέληξε σε δυο συμπεράσματα.

Το πρώτο συμπέρασμα είναι ότι η επιλογή του τρόπου συμμόρφωσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαφορά τιμής μεταξύ HFO και MGO. Όταν η διαφορά τιμής μεταξύ των δυο τύπων καυσίμων ανέρχεται στα \$190/τονο, η NPV του MGO είναι πολύ μεγαλύτερη της επένδυσης σε scrubber. Επιπλέον, εκτός από την αρνητική συσχέτιση μεταξύ NPV και διαφοράς τιμών HFO και MGO αποδεικνύεται και η «ευαισθησία» της NPV σε απότομες μεταβολές των τιμών. Καθώς η τιμή του MGO αυξάνεται σε σχέση με αυτή του HFO, η NPV μειώνεται δραματικά. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 10, η επιλογή του MGO είναι συμφέρουσα για spread τιμών μικρότερο από €231/τονο για νεότευκτα και €233/τονο για υπάρχοντα πλοία. Όταν το spread αυξάνεται πάνω από €241/τονο, η NPV του MGO γίνεται αρνητική και δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα επιλογή (Jiang et al, 2014).

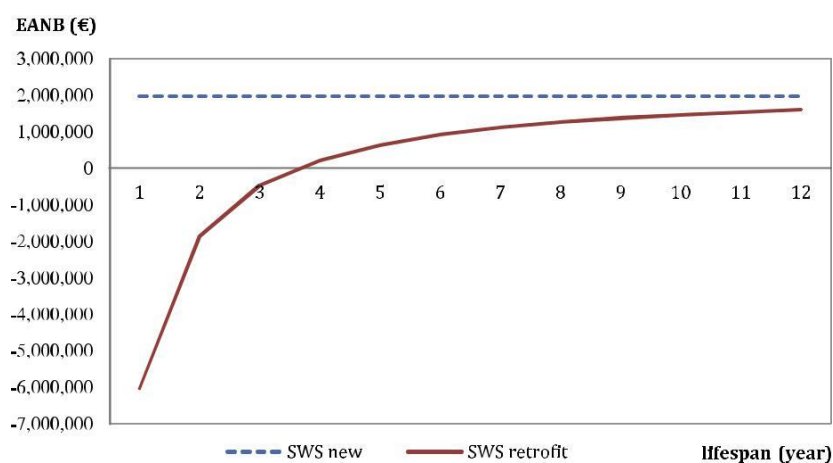
Διάγραμμα 10: Σύγκριση των δύο εναλλακτικών συμμόρφωσης ως προς το Καθαρό Κέρδος (EANP)



Πηγή: Jiang et al, 2014

Το δεύτερο συμπέρασμα της μελέτης και το καινούργιο στοιχείο που προσθέτει αυτή η έρευνα σε σχέση με τις προηγούμενες είναι ο ρόλος της ηλικίας του πλοίου στην επιλογή της καταλληλότερης επένδυσης. Η λογική λέει ότι όσο μεγαλύτερος ο χρόνος ωφέλιμης ζωής του πλοίου, τόσο πιο συμφέρουσα θα είναι η επένδυση σε scrubber. Πράγματι, συγκρίνοντας δυο πιθανές επενδύσεις σε scrubbers, η μια σε νεότευκτο πλοίο και η άλλη σε μεταχειρισμένο, οι ερευνητές βρίσκουν ότι η πρώτη επένδυση υπερτερεί της δεύτερης. Το διάγραμμα 11 απεικονίζει την «ευαισθησία» της EANB σε μεταβολές της ηλικίας του πλοίου. Το break-even point (μηδενικό κέρδος) βρίσκεται κάπου στα τέσσερα χρόνια. Συγκριτικά με την έρευνα της Greenship (2012), οι Jiang et al καταλήγουν ότι η επένδυση σε scrubbers παράγει έως και τέσσερις φορές υψηλότερη NPV και σημαντικά μικρότερο χρόνο επανείσπραξης (Jiang et al, 2014).

Διάγραμμα 11: Σύγκριση των δύο εναλλακτικών συμμόρφωσης ως προς το Καθαρό Όφελος (EANB)

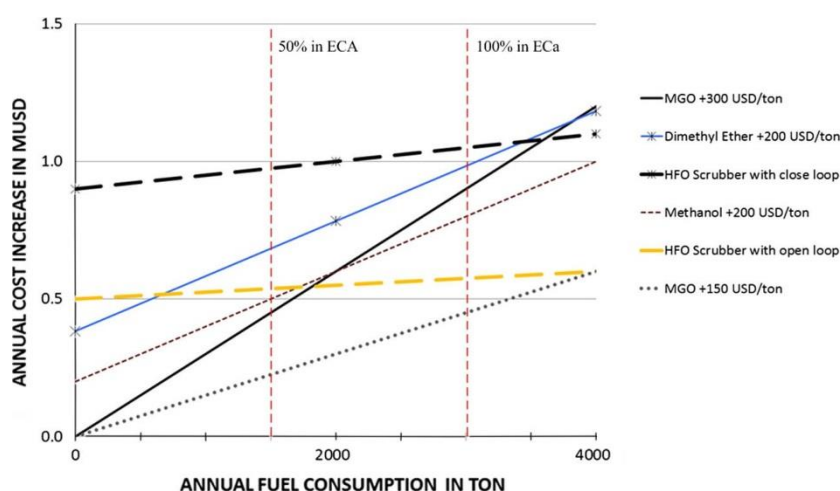


Πηγή: Jiang et al, 2014

Σε μια άλλη έρευνα, οι Lindstad et al (2015) συνέκριναν διάφορες επιλογές συμμόρφωσης ως προς το επιπρόσθετο κόστος σε συνάρτηση με την ετήσια κατανάλωση καυσίμου. Οι παράμετροι που εξετάστηκαν ήταν ότι το πλοίο της μελέτης δαπανά το 50% και το 100% της λειτουργίας του εντός ζώνης ECA. Επίσης, εξετάστηκε η κάθε επιλογή συμμόρφωσης σε νεότευκτο και μεταχειρισμένο πλοίο. Μια άλλη παράμετρος που ελήφθη υπ' όψη σε σχέση με τις προηγούμενες μελέτες ήταν το μέγεθος της μηχανής ως παράγοντας επηρεασμού της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου. Δυο μεγέθη μηχανών εξετάστηκαν τόσο σε νεότευκτα και υπάρχοντα πλοία: μια μηχανή μεγέθους 4,000KW και μια άλλη μεγέθους 12,000 KW (Lindstad et al, 2015).

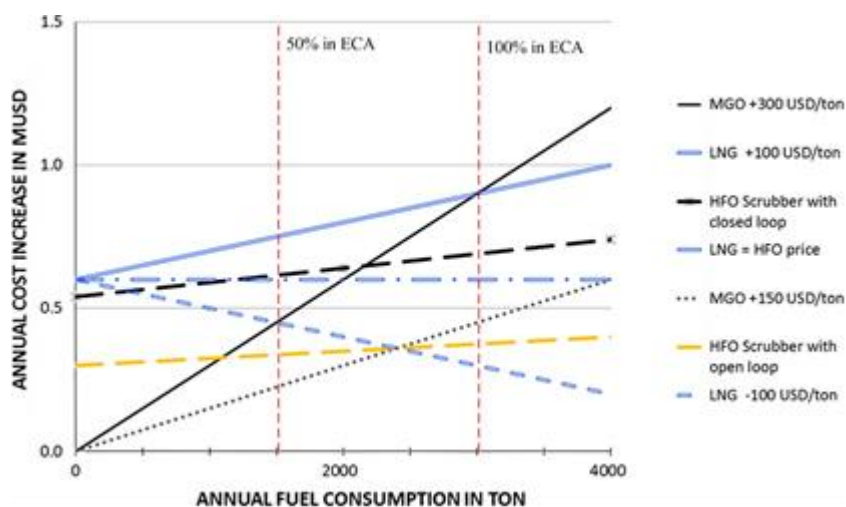
Όσον αφορά τα διαφορετικά σενάρια της έρευνας, αναλύθηκαν μεταξύ άλλων τα εξής: α) MGO με spread τιμής +300\$/τόνο, β) MGO με spread τιμής +150\$/τόνο, γ) HFO με open-loop scrubber και δ) HFO με closed-loop scrubber. Τα διαγράμματα 12 και 13 παρουσιάζουν τις διαφορετικές επιλογές συμμόρφωσης σε νεότευκτα και υπάρχοντα πλοία με μηχανή μεγέθους 4,000KW (Lindstad et al, 2015).

Διάγραμμα 12: Υπάρχοντα πλοία με μηχανή 4000KW



Πηγή: Lindstad et al, 2015

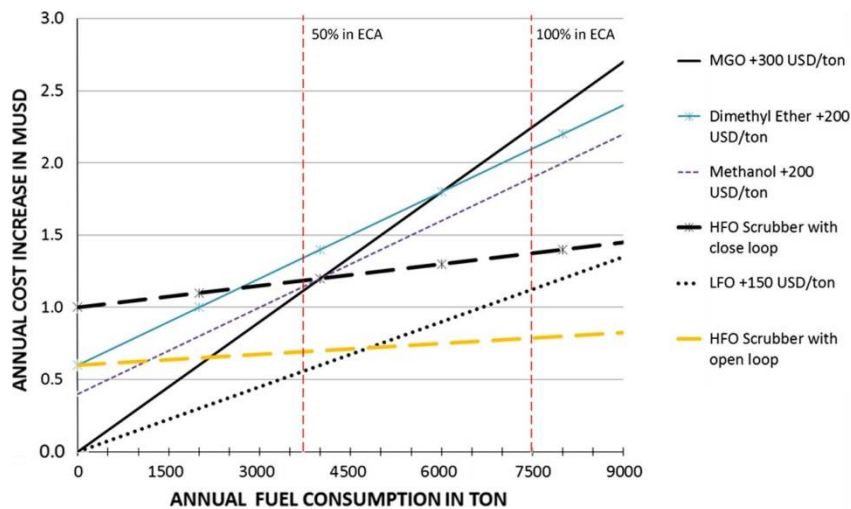
Διάγραμμα 13: Νεότευκτα πλοία με μηχανή 4000KW



Πηγή: Lindstad et al, 2015

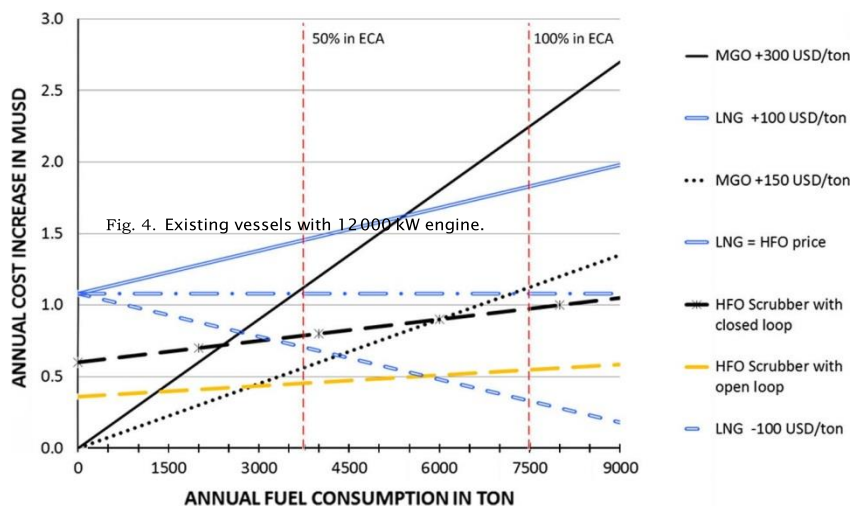
Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα, αν η ετήσια κατανάλωση καυσίμου είναι χαμηλότερη από 1000 τόνους, τότε το MGO είναι η καλύτερη επιλογή από πλευράς κόστους. Η λύση του MGO είναι η καλύτερη στα υπάρχοντα πλοία τόσο για 50% του χρόνου λειτουργίας σε ECA, όσο και για επίπεδα 100%. Από τα scrubbers, τα open-loop προσφέρουν το μικρότερο επιπρόσθετο κόστος σε σχέση με τα closed-loop, ανεξάρτητα από το χρόνο λειτουργίας σε ECA (Lindstad et al, 2015). Αντίθετα, στα νέα πλοία με μηχανή 4000KW, η επιλογή του MGO αξίζει όσο είναι σχετικά φθηνό (+150\$/τόνο) σε σχέση με το σενάριο υψηλής τιμής (+300\$/τόνο). Όσο αυξάνεται ο χρόνος σε ECA, τόσο πιο ελκυστική γίνεται η επένδυση σε open-loop scrubbers συγκριτικά τόσο με το MGO, όσο και με τα closed-loop scrubbers. Τα closed-loop scrubbers υπερτερούν του σεναρίου του ακριβού MGO, καθώς ο χρόνος λειτουργίας σε ECA αυξάνεται πάνω από 50% (Lindstad et al, 2015).

Διάγραμμα 14: Υπάρχοντα πλοία με μηχανή 12000KW



Πηγή: Lindstad et al, 2015

Διάγραμμα 15: Νεότευκτα πλοία με μηχανή 12000KW



Πηγή: Lindstad et al, 2015

Σε παρόμοια συμπεράσματα καταλήγουμε από τη μελέτη των ίδιων σεναρίων σε νέα και υπάρχοντα πλοία με μηχανή μεγέθους 12,000KW. Όπως φαίνεται, στο σενάριο του φθηνού MGO και χρόνο λειτουργίας μικρότερο του 50% για υπάρχοντα πλοία, το MGO είναι η καλύτερη επιλογή. Καθώς ο χρόνος εντός ECA αυξάνεται, τα open-loop scrubbers υπερτερούν έναντι του φθηνού MGO, ενώ και οι δυο τύποι scrubbers υπερτερούν του ακριβού MGO. Σε επίπεδα του 100% η καλύτερη επιλογή είναι το open-loop scrubber, ακολουθούμενη από το φθηνό MGO και το closed-loop scrubber.

Για τα νέα πλοία με μηχανή μεγέθους 12,000KW, τα open-loop scrubbers είναι η καλύτερη επιλογή ακόμα και για χρόνο μικρότερο του 50% εντός ECA. Εντύπωση προκαλεί ότι το closed-loop scrubber υπερτερεί ακόμα και του φθηνού MGO για χρόνο πάνω από 50% εντός ECA. Η χειρότερη επιλογή είναι και πάλι το ακριβό MGO (Lindstad et al, 2015)..

Έτσι, οι Lindstad et al (2015) έδειξαν ότι το μέγεθος της μηχανής παίζει ένα ρόλο στη επιλογή του χρόνου συμμόρφωσης, αλλά όχι το σημαντικότερο. Αντίθετα, επιβεβαιώθηκε ότι οι κύριες παράμετροι που θα πρέπει να λάβει υπόψη του ένας πλοιοκτήτης είναι ο εκτιμώμενος χρόνος που θα δαπανήσει ένα πλοίο εντός ECA και η διαφορά τιμής μεταξύ HFO και MGO. Όσο αυξάνεται ο χρόνος σε ζώνη ECA και το spread τιμών, τόσο πιο συμφέρουσα είναι η επένδυση σε scrubbers. Ακόμα και μεταξύ των scrubbers όμως, φαίνεται ότι οι open-loop scrubbers υπερτερούν των closed-loop scrubbers από θέμα κόστους, όπως αναμενόταν με βάση όσα έχουν ειπωθεί μέχρι τώρα.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί το τι πραγματικά πιστεύουν και τελικά επιλέγουν οι παίκτες της ναυτιλιακής αγοράς. Η έρευνα της Lloyds List (2013) στην οποία έλαβαν μέρος περισσότεροι από 190 άνθρωποι του ναυτιλιακού κλάδου, έδειξε ότι το 44% πιστεύουν ότι το 2015 (πρώτο έτος εφαρμογής των νέων κανονισμών) θα επιλέξει το MGO ως μέσο συμμόρφωσης. Το ποσοστό αυτό μειώνεται στο 22% για το 2020 κι έπειτα, οπότε είναι πιθανό να επιβληθεί το global sulphur cap. Όσον αφορά τα scrubbers, το 57% των ερωτηθέντων το επιλέγουν ως μέσο συμμόρφωσης το 2015, ενώ το ποσοστό μειώνεται οριακά στο 55% για την περίοδο από το 2020 κι έπειτα. Σε νεότερη έρευνα της Lloyds List (Bunkerworld, 2015) επισημαίνεται ότι το 62% των πλοιοκτητών και operators επιλέγουν τα distillates για συμμόρφωση συγκριτικά με το 48% παλαιότερα. Αντίστοιχα, το ποσοστό αυτών που επιλέγουν scrubbers αυξάνεται οριακά από 17% σε 19%.

Συνοψίζοντας την ερευνητική δραστηριότητα, δε φαίνεται να υπάρχει μια «one-size-fits-all» λύση ως προς την επιλογή του τρόπου συμμόρφωσης. Αντίθετα, θα πρέπει να εξεταστούν μια σειρά από παράγοντες, κάποιοι εκ των οποίων ελέγχονται από τη ναυτιλιακή επιχείρηση, ενώ κάποιοι είναι τελείως αστάθμητοι και αβέβαιοι. Από τις υπάρχουσες έρευνες διακρίνονται οι έξης προσδιοριστικοί παράγοντες: το spread

MGO-HFO, ο χρόνος που δαπανάται εντός ECA , το μέγεθος της μηχανής του πλοίου, και η ηλικία και η ωφέλιμη ζωή του πλοίου.

Κεφάλαιο Έκτο

Μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν οι υποθέσεις και οι παραδοχές που είναι απαραίτητες για την οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης σε scrubber. Οι υποθέσεις και τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για την οικονομική αξιολόγηση, προέρχονται από δημοσιευμένες μελέτες, καθώς και πραγματικά δεδομένα. Αναλυτικότερα, θα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά του πλοίου-υποδείγματος στο οποίο θα εγκατασταθεί το scrubber, τα χαρακτηριστικά του scrubber, οι διαδρομές και ο χρόνος εντός ζωνών ECA, και τέλος, τρία υποθετικά σενάρια ώστε να εξεταστεί αν η επένδυση σε scrubbers είναι οικονομικά συμφέρουσα ή όχι.

6.1 Το πλοίο-υπόδειγμα

Το πλοίο το οποίο επιλέχτηκε ως υπόδειγμα για τους σκοπούς της έρευνας αυτής είναι ένα Triple-E class containership της Maersk, και πιο συγκεκριμένα το πρώτο πλοίο της σειράς που ναυπηγήθηκε το 2013, το Maersk McKinney-Moeller. Η επιλογή του συγκεκριμένου μεγέθους πλοίου δεν ήταν τυχαία, καθώς καλύπτει τη νέα τάση «γιγαντισμού» στα πλοία μεταφοράς containers και η οποία υιοθετήθηκε τα επόμενα χρόνια και από τους ανταγωνιστές της Maersk. Επιπλέον, καμιά από τις μέχρι τώρα δημοσιευμένες μελέτες δεν έχει ασχοληθεί με την εγκατάσταση scrubbers σε ένα τόσο μεγάλο πλοίο. Είναι ενδιαφέρον λοιπόν να διερευνηθεί η πιθανότητα και η οικονομική εφαρμογή της εγκατάστασης scrubbers σε τέτοιου μεγέθους πλοία. Επιπλέον, η επιλογή αυτής της κατηγορίας πλοίων έγινε λόγω της τακτικότητας των δρομολογίων τους και του χρόνου που δαπανούν εντός ζωνών ECA. Ο συγγραφέας θεωρεί ότι αυτή η κατηγορία πλοίων θα υποστεί τις μεγαλύτερες επιπτώσεις από την αυστηροποίηση των περιβαλλοντικών κανονισμών σε σχέση με άλλες κατηγορίες πλοίων (bulkers, tankers, κλπ).

Το Maersk McKinney-Moeller, που απεικονίζεται στην επομένη εικόνα, ήταν το πρώτο που ναυπηγήθηκε το 2013 από μια παραγγελία είκοσι παρόμοιων πλοίων στην DSME της Νότιας Κορέας. Όταν ναυπηγήθηκε ήταν το μεγαλύτερο πλοίο στον κόσμο ανεξαρτήτως κατηγορίας (HIS Maritime, 2014). Τα κύρια χαρακτηριστικά του

πλοίου παρουσιάζονται στον πίνακα 23. Η κατηγορία αυτή ονομάστηκε και Triple-E από τα αρχικά των λέξεων Economy-Efficiency-Environment. Ο λόγος είναι ότι μέσα από το ειδικά κατασκευασμένο κήτος και τις μηχανικές καινοτομίες που εφαρμόστηκαν στην κατασκευή του, επιτυγχάνει σημαντικές οικονομίες κλίμακας (κόστος ανά TEU) και σημαντικά μικρότερες καταναλώσεις και εκπομπές ρύπων (Maersk, 2015).



Πηγή: Ships Review website, 2014

Πίνακας 23: Χαρακτηριστικά Maersk McKinney-Moeller

Maersk McKinney Moeller Vessel Particulars	
Shipbuilder	South Korea
Completion Date	28/6/2013
Length (m)	399
Beam (m)	59
Draft (m)	16
Gross Tonnage (tonnes)	194,849
Deadweight (tonnes)	194,153
Capacity (TEU's)	18,270
Maximum speed (knots)	23
Source: HIS Maritime, 2014	

Οι μηχανικές καινοτομίες περιλαμβάνουν τον εφοδιασμό του πλοίου με δύο κύριες μηχανές και δυο προπέλες διαμέτρου 9.8 μέτρων η καθεμία, συγκριτικά με την προηγούμενη κατηγορία μεγέθους (E-Class) που εφοδιάζονταν με μια κύρια μηχανή και μια προπέλα 9.6 μέτρων. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μια μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 4% και μεγαλύτερη ισχύ πρόωσης σε σχέση με την προηγούμενη κλάση. Επιπλέον, επιτυγχάνεται και μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 20% ανά μετακινούμενο container σε σχέση με την προηγούμενη κλάση. Οι βοηθητικές μηχανές του πλοίου ανήκουν στην «οικογένεια» MAN L27/38 με διαφορετικές αποδόσεις ισχύος (Shipspotting, 2013). Στα πλαίσια της έρευνας γίνεται η υπόθεση ότι οι κύριες μηχανές λειτουργούν στο 75% του MCR (maximum continuous rating) και οι βοηθητικές μηχανές στο 25% του MCR, με απώτερο στόχο τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και συνεπώς του κόστους. Το πλοίο δύναται να αναπτύξει μέγιστη ταχύτητα 23 κόμβων (2 κόμβων λιγότερο σε σχέση με την προηγούμενη κλάση (HIS Maritime, 2014). Για τους σκοπούς της εργασίας αυτής θεωρούμε ότι το πλοίο ταξιδεύει με υπηρεσιακή ταχύτητα 19 κόμβων (slow steaming) για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και του κόστους.

Αναλυτικά οι πίνακες 24 και 25 παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά των κύριων και βοηθητικών μηχανών του πλοίου.

Πίνακας 24

Στοιχεία κύριων μηχανών του Maersk McKinney Moeller									
	Κατασκευαστής	Model Number	Ισχύς (kW)	Αριθμός Κατασκευής	Piston Stroke (mm)	Cylinder Bore (mm)	Number of Cylinders	RPM	SFC (g/kWh)
Main Engine No1	Doosan Engine Co Ltd	8S80ME-C9.2	29,680	DML0105398	3,450	800	8	73.1	168.0
Main Engine No2	Doosan Engine Co Ltd	8S80ME-C9.2	29,680	DML0105399	3,450	800	8	73.1	168.0

Source: ABS Record, 2013

Πίνακας 25

Στοιχεία βοηθητικών μηχανών του Maersk McKinney Moeller				
	Κατασκευαστής	Model Number	Ισχύς (kW)	SFC (g/kWh)
Turbocharger Generator	HHI Electro Electric System	HSJ7 903-4P	6,000	188.0
Auxiliary Generator No1	HHI Electro Electric System	HSJ7 913-10P	4,300	188.0
Auxiliary Generator No2	HHI Electro Electric System	HSJ7 913-10P	4,300	188.0
Auxiliary Generator No3	HHI Electro Electric System	HSJ7 801-10P	2,800	188.0
Auxiliary Generator No4	HHI Electro Electric System	HSJ7 801-10P	2,800	188.0

Source: ABS Record, 2013

Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε ότι λόγω του μεγέθους τους τα πλοία αυτά δεν μπορούν να περάσουν από το κανάλι του Παναμά, ωστόσο μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη διώρυγα του Suez. Λόγω της μεγάλης μεταφορικής τους ικανότητας καλύπτουν κυρίως τις εμπορικές διαδρομές Ευρώπης – Ασίας και Δυτικής Ακτής ΗΠΑ με την Ασία (HIS Maritime, 2014).

6.2 To scrubber

Στα πλαίσια της έρευνας αυτής υποθέτουμε την πιθανή εγκατάσταση ενός closed-loop (freshwater) scrubber πάνω στο πλοίο-υπόδειγμα για τη μείωση των εκπομπών SOx. Η συγκεκριμένη κατηγορία επελέγη ως αυτή που θεωρείται πιο πιθανό να εγκατασταθεί μαζικά σε πλοία διαφόρων τύπων ως μέσο συμμόρφωσης στους νέους κανονισμούς.

Όσον αφορά το κόστος εξοπλισμού, αφενός δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία για τέτοιου μεγέθους μηχανές, αφετέρου το κόστος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από το μέγεθος της μηχανής στο οποίο θα εγκατασταθεί το scrubber. Για αυτό με βάση το κόστος εξοπλισμού ενός scrubber 36 MW από τη μελέτη του Reynolds (2011), έγινε η αντίστοιχη προσαρμογή για δυο μηχανές ισχύος 30 MW όπως αυτές του Maersk McKinney-Moeller. Τέλος, έγινε η υπόθεση ότι το κόστος εγκατάστασης ανέρχεται στο 50% του κόστους εξοπλισμού, αν και πάλι το συγκεκριμένο κόστος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη γιάρδα που θα λάβει χώρα η εγκατάσταση. Αναλυτικά, ο πίνακας 26 παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά του scrubber της εργασίας αυτής.

Πίνακας 26: Χαρακτηριστικά closed-loop scrubber έρευνας

Closed-Loop Scrubber Particulars	
Equipment Cost for 36 MW	\$3,850,000
Equipment Cost for 30 MW	\$3,208,333
Equipment Cost for 30 MW	\$3,208,333
Total Equipment cost	\$6,416,666
Installation Cost (50% of Equipment Cost)	\$3,208,333
Total cost for 60MW closed-loop scrubber	\$9,625,000

Όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση ενός τέτοιου τύπου scrubber, το report Lloyd's Register (2015) αναφέρει ότι ανέρχεται στο 1% της μηχανής που εγκαθίσταται ο εξοπλισμός, επομένως ανέρχεται σε 6 MW περίπου. Επίσης, η κατανάλωση του χημικού πρόσθετου sodium hydroxide ανέρχεται σε 15 kg/MWh με βάση το ίδιο report και η τιμή του ανέρχεται σε \$200/τονο με βάση τη μελέτη του Reynolds (2011). Η τιμή αυτή υποθέτουμε ότι αυξάνεται κατά 3% το χρόνο ακολουθώντας το επίπεδο του πληθωρισμού.

6.3 Η διαδρομή

Η εμπορική διαδρομή που επιλέχτηκε για την εργασία είναι αυτή που ενώνει το λιμάνι της Shanghai στην Κίνα με το Rotterdam στην Ευρώπη, δηλαδή το κύριο trade route στο εμπόριο Ευρώπης- Άπω Ανατολής. Με βάση το ηλεκτρονικό πρόγραμμα NetPas, η απόσταση μεταξύ τους είναι 10,660 ναυτικά μίλια και με μέση ταχύτητα 19 κόμβων, το ταξίδι ολοκληρώνεται σε κάτι παραπάνω από 23 μέρες, περνώντας από τη διώρυγα του Suez. Αυτό σημαίνει ότι το πλοίο πραγματοποιεί περίπου 16 ταξίδια το χρόνο (ή οχτώ κυκλικά ταξίδια). Μοναδική εξαίρεση στο μοντέλο της έρευνας αποτελεί το 2015, οπότε υποτίθεται ότι το πλοίο «χάνει» ένα ταξίδι γιατί βρίσκεται στη γιάρδα για την εγκατάσταση του scrubber.

6.4 Τα σενάρια

Για τους σκοπούς της εργασίας αυτής, επιλέχθηκαν τρία διαφορετικά σενάρια, το καθένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από διαφορετικό προφίλ λειτουργίας του πλοίου. Και στα τρία σενάρια εγκαθίσταται ένα closed-loop scrubber, ωστόσο αυτό που διαφοροποιεί τα αποτελέσματα είναι ο διαφορετικός χρόνος έκθεσης σε ζώνη ECA. Για καθένα από αυτά τα σενάρια λοιπόν, γίνεται η οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης σε scrubber με βάση το διαφορετικό προφίλ λειτουργίας του πλοίου. Στο πρώτο σενάριο (βασικό ή basecase scenario) υποθέτουμε ότι το πλοίο-υπόδειγμα εκτελεί το δρομολόγιο Shanghai – Rotterdam και περνά 423 ναυτικά μίλια μέσα στην ECA της Βόρειας Θάλασσας. Στο δεύτερο σενάριο (Mediterranean ECA) υποθέτουμε ότι η Μεσόγειος κηρύσσεται ζώνη ECA με τους γνωστούς περιορισμούς σχετικά με την περιεκτικότητα σε θείο των καυσίμων. Στην περίπτωση αυτή, το πλοίο ταξιδεύει 2,342 ναυτικά μίλια σε ζώνη ECA (423 ναυτικά μίλια στη Βόρεια Θάλασσα και 1,919 ναυτικά μίλια από το Port Said μετά το Suez μέχρι το Gibraltar). Τέλος, στο τρίτο σενάριο, η ΕΕ δημιουργεί μια πανευρωπαϊκή ECA (όπως προτίθεται να κάνει το 2020, ανεξάρτητα από τις αποφάσεις του IMO). Στην περίπτωση αυτή, το πλοίο ταξιδεύει 3,341 ναυτικά μίλια σε ζώνη ECA (όλη την απόσταση από το Port Said μετά το Suez μέχρι το Rotterdam. Πιο αναλυτικά, ο πίνακας 27 παρουσιάζει τα τρία διαφορετικά σενάρια.

Επιπλέον, εξετάστηκε ο ρόλος της ηλικίας του πλοίου στην επιλογή της επένδυσης σε scrubber. Για το σκοπό αυτό θεωρήθηκε ως έτος εγκατάστασης το 2015 σε νεότευκτο πλοίο, σε μεταχειρισμένο πλοίο πέντε ετών (εγκατάσταση το 2020), σε μεταχειρισμένο πλοίο δέκα ετών (εγκατάσταση το 2025) και σε μεταχειρισμένο πλοίο δεκαπέντε ετών (εγκατάσταση το 2030). Δεν εξετάστηκε το ενδεχόμενο εγκατάστασης το 2035, καθώς τότε τελειώνει η ωφέλιμη ζωή του πλοίου. Για το σενάριο αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι υποθέσεις του βασικού σεναρίου που αναλύθηκε παραπάνω και τα ίδια επενδυτικά κριτήρια αξιολόγησης της επένδυσης.

Τέλος, εξετάστηκε η επίδραση των τιμών καυσίμου στην αξιολόγηση της επένδυσης σε scrubbers. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν οι υποθέσεις του βασικού σεναρίου με εξαίρεση τις τιμές των καυσίμων, όπου έγινε η υπόθεση ότι διπλασιάζονται λόγω της αυξημένης ζήτησης και της μειωμένης διαθεσιμότητας.

Πίνακας 27: Ανάλυση σεναρίων της έρευνας

Scenario Analysis					
Scenario	Συνολική Απόσταση	Μέρες Ταξιδιού	Απόσταση εντός ECA	Μέρες εντός ECA	% χρόνου σε ECA
Basecase	10,660 nm	23.38	423 nm	0.923	4%
Mediterranean ECA	10,660 nm	23.38	2,342 nm	5.14	22%
Pan-European ECA	10,660 nm	23.38	3,341 nm	7.33	31%

Source: Netpas

6.5 Τα καύσιμα

Πολύ σημαντική παράμετρος της οικονομικής αξιολόγησης είναι η διαφορά τιμών ανάμεσα σε HFO και MGO. Για τους σκοπούς της εργασίας έγινε δεκτή η διαφορά τιμών στο λιμάνι του Rotterdam κατά το πρώτο εξάμηνο του 2015 από τον πίνακα 7 ανωτέρω. Πιο συγκριμένα, η τιμή του MGO ανερχόταν σε περίπου \$540/τόνο και του HFO σε \$306/τόνο, μια διαφορά της τάξης των \$234/τόνο. Επιπλέον, θεωρείται ότι οι τιμές των καυσίμων αυξάνονται κατά 10% το χρόνο περίπου. Επίσης, θεωρήθηκε ότι το HFO καταναλώνεται από τις κύριες μηχανές εκτός ζώνης ECA. Στην περίπτωση που το πλοίο ταξιδεύει εντός ECA, τότε είτε καταναλώνει MGO είτε HFO εφόσον έχει εγκατασταθεί scrubber. Οι βοηθητικές μηχανές καταναλώνουν MGO ανεξάρτητα αν το πλοίο ταξιδεύει εντός ή εκτός ECA.

6.6 Μέθοδοι αξιολόγησης

Για να αξιολογηθεί από οικονομικής άποψης η επένδυση σε scrubber χρησιμοποιήθηκαν η μέθοδος της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV), ο Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης και η Περίοδος Επανείσπραξης (Payback Period).

Για την πρώτη μέθοδο επιλέχτηκε ένας συντελεστής προεξόφλησης (discount rate) της τάξης του 10%, συμβατό με τη βιβλιογραφία (Reynolds, 2011 και Greenship, 2012). Τα cash flows από τα οποία προκύπτει η NPV είναι η εξοικονόμηση καυσίμου ανά ταξίδι και συνολικά ανά έτος και προκύπτει από τη διαφορά κόστους ανάμεσα στην εναλλαγή καυσίμου ως μέσο συμμόρφωσης (δηλαδή την κατανάλωση MGO από τις κύριες και τις βοηθητικές μηχανές του πλοίου σε ζώνη ECA) και την κατανάλωση HFO μαζί με το scrubber από τις κύριες μηχανές του πλοίου και MGO από τις βοηθητικές μηχανές, σύμφωνα με το Reynolds (2011) και Lloyd's Register

(2012). Η διάρκεια της επένδυσης είναι 20 χρόνια, και για να θεωρείται οικονομικά συμφέρουσα θα πρέπει η NPV να είναι θετική.

Αντίστοιχα, με τη μέθοδο του Εσωτερικού Συντελεστή Απόδοσης (IRR) καταδεικνύεται η απόδοση της επένδυσης, η οποία για να είναι ελκυστική θα πρέπει να ξεπερνά το συντελεστή προεξόφλησης (discount rate).

Τέλος, ως περίοδος επανείσπραξης ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται ώστε οι επενδυτικές ροές να καλύψουν το αρχικό κόστος της επένδυσης. Σε αυτήν την περίπτωση, όσο μικρότερη είναι η περίοδος επανείσπραξης, τόσο πιο ελκυστική και αποδοτική είναι η επένδυση.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της οικονομικής αξιολόγησης, ενώ το πλήρες μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α.

Κεφάλαιο Έβδομο

Αποτελέσματα έρευνας

Ξεκινώντας από το βασικό σενάριο της έρευνας, το πλοίο δαπανά περίπου το 4% του χρόνου του σε ζώνη ECA. Ο πίνακας 28 παρουσιάζει τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τους σκοπούς της μελέτης.

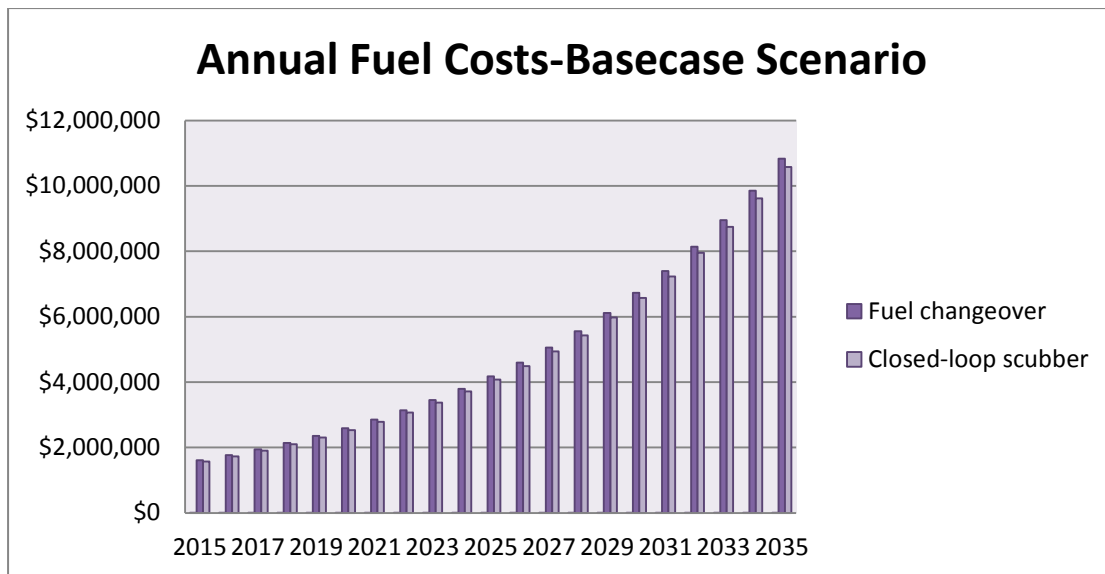
Πίνακας 28: Οικονομική Αξιολόγηση κατά το βασικό σενάριο

Net present value (\$)	2,624,308
Payback period (in years)	17
Payback year	2031
Internal Rate of Return (%)	13%

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 28, η επένδυση σε scrubber «παράγει» θετική NPV, επομένως είναι οικονομικά συμφέρουσα. Αντίστοιχα και ο IRR (13%) είναι μεγαλύτερος από το συντελεστή προεξόφλησης (10%), επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματα της NPV. Ωστόσο, το πραγματικό πρόβλημα, φαίνεται ότι είναι η περίοδος επανείσπραξης. Τα 17 χρόνια που απαιτούνται για να καλυφθεί το αρχικό κόστος της επένδυσης μοιάζουν και είναι πάρα πολλά, ειδικά αν ληφθεί υπ' όψιν ότι η διάρκεια της επένδυσης είναι τα 20 χρόνια. Ο μεγάλος χρόνος επανείσπραξης προκύπτει από το υψηλό κόστος αγοράς κι εγκατάστασης του scrubber από τη μια πλευρά και από την άλλη οι εξοικονομήσεις που προκύπτουν είναι αρκετά μικρές για να δικαιολογήσουν μια τόσο δαπανηρή επένδυση. Αν σκεφτεί κανείς ότι η Maersk έχει παραγγείλει άλλα 19 παρόμοια πλοία, το αρχικό κόστος της επένδυσης αυξάνεται ακόμα περισσότερο και δύσκολα μια ναυτιλιακή εταιρία, ακόμα και του μεγέθους της Maersk θα επέλεγε να επενδύσει σε scrubbers.

Επιπλέον, στο διάγραμμα 16 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ετήσιες δαπάνες καυσίμου των δύο στρατηγικών συμμόρφωσης. Παρατηρείται εύκολα ότι οι δαπάνες σε κάθε έτος βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους και οι διαφορές τους (δηλαδή η εξοικονόμηση καυσίμου) είναι πολύ μικρή, αποτέλεσμα του περιορισμένου χρόνου έκθεσης σε ζώνη ECA.

Διάγραμμα 16



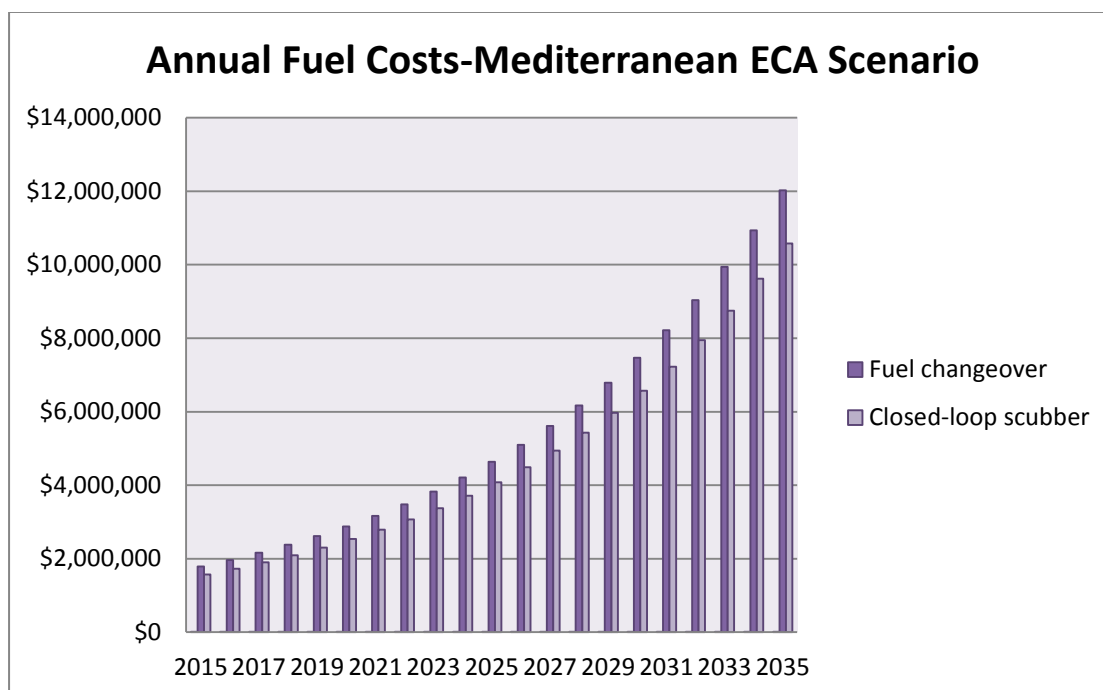
Στο δεύτερο σενάριο, εξετάζεται η ανακήρυξη της Μεσογείου σε ζώνη ECA, με τους αντίστοιχους περιορισμούς στην περιεκτικότητα των καυσίμων. Υπό το σενάριο αυτό το πλοίο περνά περίπου το 22% του χρόνου του σε ζώνες ECA καθώς συμπεριλαμβάνεται τόσο η Μεσόγειος, όσο και η Βόρεια Θάλασσα. Η αύξηση του χρόνου εντός ECA παράγει πολύ διαφορετικά αποτελέσματα, όπως δείχνει ο πίνακας 29.

Πίνακας 29: Οικονομική Αξιολόγηση κατά το σενάριο της Μεσογειακής ECA

Net present value (\$)	61,963,270
Payback period (in years)	2
Payback year	2017
Internal Rate of Return (%)	68%

Και σε αυτήν την περίπτωση η επένδυση σε scrubber παράγει θετική NPV, άρα είναι οικονομικά συμφέρουσα. Εντύπωση προκαλεί ο πολύ υψηλός IRR (68%), πολύ παραπάνω από το συντελεστή προεξόφλησης. Και τα δύο επενδυτικά κριτήρια δείχνουν προς την ίδια κατεύθυνση. Αυτό που διαφοροποιείται σημαντικά σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο είναι ο πολύ μικρός χρόνος επανείσπραξης – μόλις δύο χρόνια- που κάνει την επένδυση πραγματικά ελκυστική.

Διάγραμμα 17



Όπως απεικονίζει και το διάγραμμα 17 προκύπτουν σημαντικές εξοικονομήσεις στο κόστος καυσίμων λόγω του αυξημένου χρόνου σε ζώνη ECA, δικαιολογώντας την επένδυση σε scrubbers.

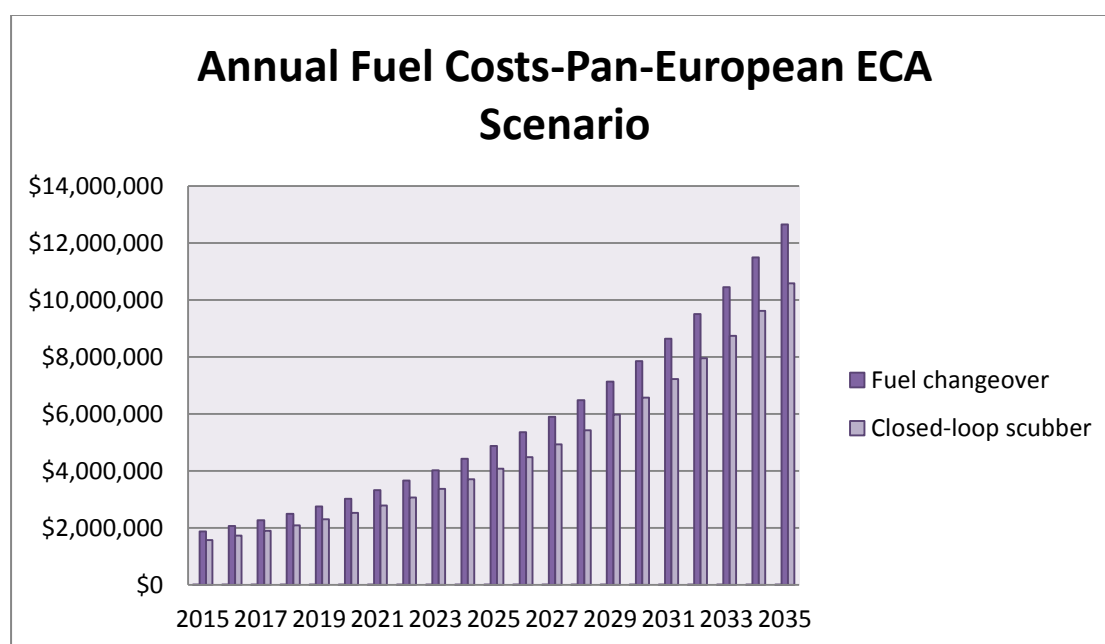
Στο τρίτο και τελευταίο σενάριο, εξετάζεται η μονομερής απόφαση της Ευρωπαϊκής Ένωσης να δημιουργήσει μια πανευρωπαϊκή ζώνη ECA που θα καλύπτει τις ευρωπαϊκές ακτές. Μια τέτοια απόφαση θα αύξανε σημαντικά το χρόνο έκθεσης του πλοίου υποδείγματος σε ζώνες ECA, καθώς θα περνά το 31% του χρόνου του σε τέτοιες ζώνες (ουσιαστικά όλη την απόσταση από το Port Said μέχρι το Rotterdam). Ο πίνακας 30 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της μελέτης υπό το σενάριο της πανευρωπαϊκής ζώνης ECA.

Πίνακας 30: Οικονομική Αξιολόγηση κατά το σενάριο της Πανευρωπαϊκής ECA

Net present value (\$)	92,779,567
Payback period (in years)	2
Payback year	2017
Internal Rate of Return (%)	116%

Ως εκ τούτου, παράγεται πολύ υψηλή NPV κι ένας σχεδόν εξωπραγματικός IRR, δείχνοντας ξεκάθαρα ότι η επένδυση είναι οικονομικά βιώσιμη και πρέπει να αναληφθεί. Η άποψη αυτή ενισχύεται και από την πολύ μικρή περίοδο επανείσπραξης –και πάλι δύο έτη είναι αρκετά για να υπέρ-καλυφθεί το αρχικό κόστος της επένδυσης σε scrubber. Οι ετήσιες εξοικονομήσεις καυσίμου που προκύπτουν από αυτό το σενάριο φαίνονται ξεκάθαρα και από το διάγραμμα 18 που ακολουθεί.

Διάγραμμα 18



Μετά τα τρία σενάρια του διαφορετικού χρόνου έκθεσης σε ζώνη ECA, θα εξεταστεί ο ρόλος της ηλικίας του πλοίου και του έτους εγκατάστασης του scrubber. Στόχος είναι να βρεθεί μέχρι ποια ηλικία συμφέρει οικονομικά τον πλοιοκτήτη να εγκαταστήσει το scrubber ή να επιλέξει κάποιον άλλον τρόπο συμμόρφωσης. Η ανάλυση θα βασιστεί στο πρώτο σενάριο (basecase scenario) που μελετήθηκε ανωτέρω. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι ότι το πλοίο έχει 20 χρόνια ωφέλιμης ζωής και ότι ο πλοιοκτήτης επιλέγει να εγκαταστήσει το scrubber κάποιο από τα έτη 2015, 2020, 2025 και 2030.

Χρησιμοποιώντας το ίδιο μοντέλο με το βασικό σενάριο και κάνοντας τις απαραίτητες προσαρμογές στα δεδομένα, προκύπτουν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 31.

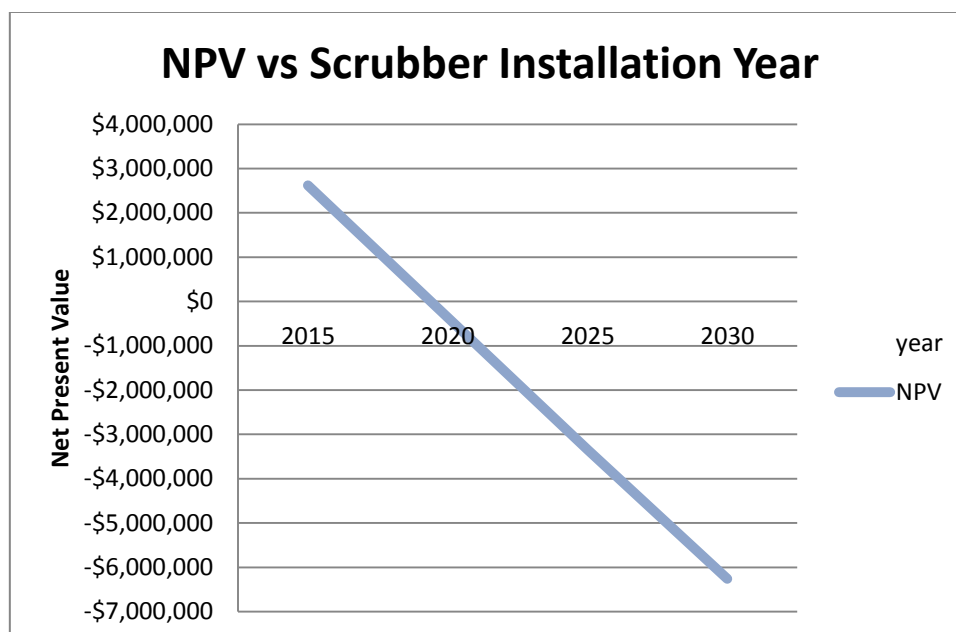
Πίνακας 31: Καθαρή Παρούσα Αξία κι έτος εγκατάστασης scrubber

Year of installation	2015	2020	2025	2030
Net present value (\$)	2,624,308	-363,263	-3,346,980	-6,261,256
Payback period (in years)	17	Never	Never	Never
Payback year	2031	Never	Never	Never
Internal Rate of Return (%)	13%	9%	2%	-22%

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα 31, όσο πιο αργά επιλεγθεί να εγκατασταθεί το scrubber από την επιχείρηση, τόσο επιδεινώνονται τα επενδυτικά κριτήρια, καθώς μειώνεται η ωφέλιμη ζωή του πλοίου και η δυνατότητα απόσβεσης της αρχικής επένδυσης.

Πιο συγκεκριμένα, η επένδυση σε scrubber είναι οικονομικά βιώσιμη και ελκυστική μόνο όταν πραγματοποιηθεί σε νεότευκτο πλοίο. Εντελώς διαφορετικά αποτελέσματα προκύπτουν αν η εγκατάσταση γίνει σε ένα πλοίο πενταετίας, δεκαετίας και δεκαπενταετίας. Στις περιπτώσεις αυτές, η NPV γίνεται αρνητική και ο IRR πέφτει κάτω από το discount rate (10%). Και τα δύο κριτήρια δείχνουν ότι η επένδυση δεν πρέπει να αναληφθεί και αυτό αποδεικνύεται και από την περίοδο επανείσπραξης, που ξεπερνά την ωφέλιμη ζωή του πλοίου. Το διάγραμμα 19 απεικονίζει το πώς αλλάζει η NPV σε σχέση με το έτος εγκατάστασης του scrubber. Όπως φαίνεται, η NPV έχει φθίνουσα πορεία καθώς αυξάνεται η ηλικία του πλοίου, ενώ από το 2025 και μετά γίνεται αρνητική, υποδηλώνοντας ότι η εγκατάσταση scrubber είναι πλέον ασύμφορη.

Διάγραμμα 19



Το τελευταίο κομμάτι της έρευνας ασχολείται με την επίδραση των τιμών των καυσίμων στην οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης σε scrubber. Χρησιμοποιώντας τις ίδιες υποθέσεις με το βασικό σενάριο, υποτίθεται ότι οι τιμές των καυσίμων διπλασιάζονται σε σχέση με τα τρέχοντα επίπεδα τιμών. Σε αυτήν την περίπτωση, το μοντέλο της έρευνας «παράγει» τα αποτελέσματα του πίνακα 32.

Πίνακας 32: Καθαρή Παρούσα Αξία και τιμές καυσίμων

Net present value (\$)	15,612,181
Payback period (in years)	8
Payback year	2023
Internal Rate of Return (%)	24%

Προκειμένου να γίνει πιο εμφανής η επίδραση των τιμών στην οικονομική αξιολόγηση, ο πίνακας 33 συγκεντρώνει τα αποτελέσματα του βασικού σεναρίου με τις τρέχουσες τιμές καυσίμων και με τις υποτιθέμενες διπλάσιες τιμές, καθώς και τη διαφορά τους.

Πίνακας 33: Σύγκριση Καθαρής Παρούσας Αξίας για διαφορετικές τιμές καυσίμων

	Double Prices Scenario	Basecase Scenario	Difference
Net present value (\$)	15,612,181	2,624,308	12,987,873
Payback period (in years)	8	17	-9
Payback year	2023	2031	-8
Internal Rate of Return (%)	24%	13%	11%

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα 33, αν υποθεθεί ότι οι τιμές καυσίμων διπλασιάζονται, τότε η Καθαρή Παρούσα Αξία αυξάνεται σημαντικά (περίπου 13 εκατομμύρια δολάρια), ενώ και ο IRR σχεδόν διπλασιάζεται (από 13% σε 24%). Ιδιαίτερα σημαντικό κριτήριο είναι και η μείωση της περιόδου επανείσπραξης του απαιτούμενου κεφαλαίου σε μόλις οκτώ χρόνια, συγκριτικά με τα 17 έτη που απαιτούνταν σε σχέση με τα τρέχοντα επίπεδα τιμών.

Συμπεράσματα

Η έρευνα και η ανάλυση που προηγήθηκε καταδεικνύουν το αυστηρότερο περιβαλλοντικό status quo, το οποίο είχε ήδη αρχίσει να διαμορφώνεται τα προηγούμενα χρόνια και έχει να κάνει με τη μείωση των εκπομπών SO_x στα χαμηλότερα δυνατά επίπεδα. Η ναυτιλιακή επιχείρηση δεν έχει παρά να επιλέξει με ποιο τρόπο θα συμμορφωθεί στους κανονισμούς αυτούς που από 1/1/2015 έχουν γίνει ακόμα αυστηρότεροι.

Μέσα από την έρευνα αυτή δόθηκε η ευκαιρία στο συγγραφέα να εμβαθύνει και να αναλύσει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του κάθε τρόπου συμμόρφωσης μέσω της περιβαλλοντικής και της οικονομικής τους αξιολόγησης. Από την ανάλυση της δημοσιευμένης βιβλιογραφίας, αλλά και μελετών από ανεξαρτήτους φορείς όπως οι νηογνώμονες, προέκυψε ότι δεν υπάρχει κάποιος χρυσός κανόνας που να κατευθύνει τις επιλογές των πλοιοκτητών/διαχειριστών. Ο καθένας από τους δυο τρόπους συμμόρφωσης έχει τα δικά του πλεονεκτήματα, αλλά και αδυναμίες. Επομένως εναπόκειται στην ίδια τη ναυτιλιακή επιχείρηση να αναλύσει τις οικονομικές και λειτουργικές παραμέτρους της και να αποφασίσει ανάλογα.

Η έρευνα αυτή προσθέτει στην ήδη υπάρχουσα βιβλιογραφία, καθώς είναι από τις ελάχιστες έρευνες που εκπονήθηκε μετά την εφαρμογή των νέων αυστηρότερων κανονισμών από την αρχή του τρέχοντος έτους. Από ερευνητικής άποψης, η συγκεκριμένη μελέτη είναι ένα βήμα προς τα εμπρός, καθώς είναι η πρώτη που πραγματοποιεί οικονομική αξιολόγηση των scrubbers σε ένα τέτοιου μεγέθους πλοίο, βασιζόμενη μάλιστα σε πραγματικά δεδομένα του πλοίου αυτού. Δυστυχώς, η έλλειψη διαθέσιμων στοιχείων από τους κατασκευαστές σχετικά με τα χαρακτηριστικά και την απόδοση των scrubbers, οδήγησε το συγγραφέα στο βασιστεί σε διαθέσιμα στοιχεία από προηγούμενες δημοσιευμένες μελέτες, προσπαθώντας να μη χαθεί το στοιχείο του ρεαλισμού. Τέλος, η έρευνα αυτή θα μπορούσε να θεωρηθεί καινοτόμα, καθώς είναι η πρώτη που εξετάζει δυο ρεαλιστικά αλλά εξίσου πιθανά σενάρια, τα οποία θα θέσουν τις ναυτιλιακές επιχειρήσεις μπροστά σε νέα διλήμματα και συνεπώς αποφάσεις. Τα σενάρια της μεσογειακής και της πανευρωπαϊκής ζώνης ECA ανταποκρίνονται σε διαφορετικά προφίλ λειτουργίας του πλοίου και συνεπώς σε διαφορετικό χρόνο πλεύσης σε ζώνη ECA.

Ως προς τα συμπεράσματα που εξάγονται από την εργασία αυτή, επιβεβαιώθηκε ο ρόλος-κλειδί που παίζει στην αξιολόγηση της επένδυσης σε scrubbers τόσο ο χρόνος έκθεσης σε ζώνες ECA, όσο και η διαφορά τιμών ανάμεσα σε HFO και distillates. Όσον αφορά το χρόνο έκθεσης, μέσα από τα τρία διαφορετικά σενάρια που εξεταστήκαν, δόθηκε η ευκαιρία της αξιολόγησης της επένδυσης υπό διαφορετικές συνθήκες. Τα επενδυτικά κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν (NPV, IRR και payback period) έδειξαν ότι η επένδυση σε scrubbers είναι συμφέρουσα από οικονομικής άποψης και στις τρεις περιπτώσεις και άρα θα πρέπει να αναληφθεί. Μάλιστα, καθώς αυξανόταν ο χρόνος έκθεσης σε ECA από 4% σε 22% και 31% αντίστοιχα για κάθε σενάριο, τόσο πιο πολύ αυξανόταν η NPV και ο IRR, αλλά και μειωνόταν ο χρόνος επανείσπραξης της αρχικής επένδυσης. Η αρνητική αυτή σχέση μεταξύ του χρόνου έκθεσης και της περιόδου επανείσπραξης, αλλά και η θετική σχέση ανάμεσα στην NPV και στο χρόνο έκθεσης, είχαν καταφανεί και από τη δημοσιευμένη βιβλιογραφία και επιβεβαιώνονται και από την έρευνα αυτή.

Ωστόσο, θα ήταν χρήσιμο να σταθεί κανείς κριτικά απέναντι στα αποτελέσματα της μελέτης αυτής, μπαίνοντας στη θέση της ναυτιλιακής επιχείρησης. Τα δύο εναλλακτικά σενάρια της μελέτης έχουν πολύ μικρή περίοδο επανείσπραξης (δύο και ένα χρόνο αντίστοιχα), κάνοντας την επένδυση ιδιαίτερα θελκτική για μια επιχείρηση που θέλει να λάβει τα κεφάλαια της πίσω το συντομότερο δυνατόν. Δεν ισχύει το ίδιο όμως και για το βασικό σενάριο της έρευνας (με τις υπάρχουσες ζώνες ECA και υποθέτοντας ότι δε θα προκύψει κάποια νέα ζώνη τα επόμενα χρόνια), όπου ο περιορισμένος χρόνος έκθεσης του πλοίου σε ζώνες ECA (μόλις 4% του συνολικού χρόνου πλεύσης) και τα υψηλά κεφαλαιακά κόστη που απαιτούνται για την αγορά κι εγκατάσταση ενός scrubber, χαρακτηρίζονται από μια μακρά περίοδο επανείσπραξης (17 έτη) που πολύ δύσκολα θα προσέλκυε μια ναυτιλιακή επιχείρηση. Αν μάλιστα σκεφτεί κανείς και το μέγεθος του στόλου της Maersk, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι το συνολικό κόστος ανεβαίνει σημαντικά.

Επιπλέον, η χρονική περίοδος που διεξήχθη η έρευνα αυτή χαρακτηρίζεται από σημαντική πτώση των τιμών των καυσίμων κι επομένως και της διαφοράς τιμών ανάμεσα σε HFO και MGO, οδηγώντας πολλές ναυτιλιακές εταιρίες να επιλέξουν την εναλλαγή καυσίμου ως μέσο συμμόρφωσης στους νέους κανονισμούς. Αυτό φαίνεται άλλωστε να επιλέγουν οι ναυτιλιακές επιχειρήσεις κατά τους πρώτους μήνες εφαρμογής των νέων κανονισμών, όπως αποκαλύπτουν δημοσιευμένες πηγές στο

πρώτο μέρος της εργασίας. Παρόλα αυτά, δεν πρέπει να ξεχνά κανείς ότι οι μελλοντικές διακυμάνσεις των τιμών των καυσίμων είναι δύσκολο να προβλεφθούν ή έστω να εκτιμηθούν. Αυτό εισάγει (ακόμα) έναν αστάθμητο παράγοντα που δυσκολεύει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων και χάραξης στρατηγικής για τη ναυτιλιακή επιχείρηση. Αναγκαστικά λοιπόν θα πρέπει να βασιστεί σε κάποιες υποθέσεις σε σχέση με τις μελλοντικές τιμές των καυσίμων και το γενικότερο ρυθμιστικό πλαίσιο βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα.

Σημαντικό ρόλο στην επιλογή του τρόπου συμμόρφωσης παίζει και η ηλικία του πλοίου, δεδομένου του υψηλού αρχικού κόστους αγοράς κι εγκατάστασης του εξοπλισμού. Χρησιμοποιώντας τις υποθέσεις και τα δεδομένα του βασικού σεναρίου εξετάστηκε η πιθανή εγκατάσταση scrubber σε νεότευκτο πλοίο και σε μεταχειρισμένο πλοίο 5, 10 και 15 ετών και πως επηρεάζονται τα επενδυτικά κριτήρια και συνεκδοχικά η στρατηγική κι οι επιλογές της εταιρίας. Όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα της έρευνας που διεξήχθη, η εγκατάσταση scrubber ως επιλογή συμμόρφωσης είναι συμφέρουσα μόνο σε νεότευκτο πλοίο, ώστε να μπορεί να αποσβεσθεί το κόστος της αρχικής επένδυσης. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις η επένδυση είναι οικονομικά ασύμφορη και θα πρέπει να επιλεγεί κάποιος εναλλακτικός τρόπος συμμόρφωσης.

Μελετώντας το μάλλον ακραίο σενάριο του διπλασιασμού των τιμών καυσίμου σε σχέση με τα τρέχοντα επίπεδα κατά το βασικό σενάριο, όλα τα επενδυτικά κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν δείχνουν ότι είναι προς το συμφέρον της εταιρίας να επιλέξει τα scrubbers ως μέσο συμμόρφωσης. Έτσι, μια οριακά αποδεκτή επένδυση κατά το βασικό σενάριο με βάση τις τρέχουσες τιμές, μετατρέπεται σε ελκυστική επένδυση με βέβαια οικονομικά οφέλη για τη ναυτιλιακή επιχείρηση. Ακόμα σημαντικότερο είναι ότι η ανάλυση για την επίδραση της αύξησης των τιμών των καυσίμων έγινε για το βασικό σενάριο με ελάχιστο χρόνο έκθεσης σε ζώνη ECA. Επομένως, παρότι δεν εξετάστηκε αυτή η περίπτωση, είναι λογικό να αναμένει κανείς ότι καθώς αυξάνεται ο χρόνος έκθεσης και αυξάνεται το επίπεδο των τιμών, η επένδυση σε scrubbers είναι μάλλον μονόδρομος για την επιχείρηση, αν θέλει να κρατήσει χαμηλά τις δαπάνες της.

Η προσωπική εκτίμηση του συγγραφέα είναι ότι όσο οι τιμές των καυσίμων παραμένουν σχετικά χαμηλές και το ρυθμιστικό πλαίσιο παραμένει αμετάβλητο στα

σημερινά επίπεδα, οι περισσότερες ναυτιλιακές επιχειρήσεις θα επιλέξουν την εναλλαγή καυσίμου ως μέσο συμμόρφωσης στους κανονισμούς. Προς αυτήν την κατεύθυνση άλλωστε βοηθά και το υψηλό κόστος αγοράς κι εγκατάστασης scrubbers, το οποίο είναι ακόμα πιο δυσβάσταχτο για τις μικρότερες επιχειρήσεις. Από την άλλη πλευρά, η μειούμενη διαθεσιμότητα επαρκών ποσοτήτων distillates και η αυξανόμενη ζήτηση τους, πιθανότατα θα οδηγήσει την τιμή τους ανοδικά. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τις εξαιρετικά πιθανές αλλαγές στο ρυθμιστικό πλαίσιο (εκκρεμεί η έρευνα του IMO για τη διαθεσιμότητα των distillates το 2018, αλλά και η δημιουργία νέων ζωνών ECA), θα αναγκάσουν τις ναυτιλιακές επιχειρήσεις να αναζητήσουν εναλλακτικούς και φθηνότερους τρόπους συμμόρφωσης στο μέλλον, κι ένας από αυτούς μπορεί να είναι το LNG (που δεν εξετάστηκε στα πλαίσια της έρευνας αυτής). Επομένως, η εναλλαγή καυσίμου πιθανόν να είναι μια αποτελεσματική στρατηγική βραχυπρόθεσμα, αλλά μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα η ναυτιλιακή επιχείρηση θα αναγκαστεί να στραφεί σε φθηνότερες εναλλακτικές.

Κλείνοντας την εργασία αυτή, ο συγγραφέας θεωρεί σκόπιμο κάποιες πτυχές του θέματος που δεν έχουν μελετηθεί στην πλήρη έκταση τους στην παρούσα μελέτη ή στην υπάρχουσα βιβλιογραφία. Από περιβαλλοντικής άποψης, θα ήταν χρήσιμο να μελετηθούν οι αθροιστικές επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον τα επόμενα έτη, καθώς ο αριθμός των εγκαταστάσεων αυξάνεται με αριθμητική πρόοδο. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στις συνέπειες από τη χρήση των scrubbers σε κλειστές περιοχές και οικοσυστήματα, καθώς αυτά είναι περισσότερο ευάλωτα συγκριτικά με την ανοιχτή θάλασσα. Από οικονομικής άποψης, θα ήταν επίσης χρήσιμο να συγκριθούν οι δυο τρόποι συμμόρφωσης που παρουσιάστηκαν στη μελέτη αυτή, με την επιλογή του LNG. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η δημιουργία κι εξάπλωση των απαραίτητων υποδομών (όπως σταθμών ανεφοδιασμού και δίκτυα μεταφοράς), ώστε το LNG να είναι μια πραγματικά και πρακτικά εφαρμόσιμη εναλλακτική για τις ναυτιλιακές εταιρίες.

Βιβλιογραφία

ABS (2013), *Exhaust Gas Scrubber Systems: Status and Guidance*, Available at:
http://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/2013/Scrubber_Advisory.pdf
[Last accessed on 30/6/2015]

ABS Record (2013), *Maersk McKinney Moeller Particulars*, Available online at:
http://www.eagle.org/safenet/record/record_vesseldetailsmach?ReferrerApplication=PUBLIC [Last accessed on 30/6/2015]

Avis M., Birch C. (2009), *Impacts on the EU Refining Industry & Markets of IMO Specification changes & other measures to reduce the sulphur content of certain fuels*, Prepared for Directorate General Environment, Available at:
http://ec.europa.eu/environment/air/transport/pdf/impacts_refineries.pdf [Last accessed on 30/6/2015]

Bloor M., Sampson H., Baker S., Dahlgren K. (2013), *The instrumental use of technical doubts: Technological controversies, investment decisions and air pollution controls in the global shipping industry*, Science and Public Policy, pp. 1–11

Brynnolf S., Magnusson M., Fridell E., Andersson K. (2014), *Compliance possibilities for the future ECA regulations through the use of abatement technologies or change of fuels*, Transportation Research Part D 28, pages 6-18

Bunkerworld (2015), *Owners prefer MGO in ECAs*, Available at:
<http://www.bunkerworld.com/news/Owners-prefer-MGO-in-ECAs-135930> [Last accessed on 30/6/2015]

Bunkerworld (2014a), *Spike predicted in ECA fuel premium*, Available at:
<http://www.bunkerworld.com/news/Analysis-Spike-predicted-in-ECA-fuel-premium-129980> [Last accessed on 30/6/2015]

Bunkerworld (2014b), *Maersk: ECA costs will be added to bunker surcharges*, Available at: <http://www.bunkerworld.com/news/Maersk-ECA-costs-will-be-added-to-bunker-surcharges-130644> [Last accessed on 30/6/2015]

Chevron Marine Products (2015), *ISO 8217 Specifications for Marine Fuels*, Available online at: http://www.chevronmarineproducts.com/docs/Requirements_for_Distillate_Fuel_2012.pdf [Last accessed on 30/6/2015]

Clarkson's Shipping Intelligence Network (2015), *Bunker Prices Timeseries*, Available online at: <https://sin.clarksons.net/timeseries> [Last accessed on 30/6/2015]

CONCAWE (2009), *Impact of marine fuels quality legislation on EU refineries at the 2020 horizon*, Available at: https://www.concawe.eu/uploads/Modules/Publications/rpt_09-3-2009-01906-01-e-2.pdf [Last accessed on 30/6/2015]

COWI (2012), *Assessment of possible impacts of scrubber water discharges on the marine environment*, Environmental Project No. 1431, 2012, Danish Ministry of Environment, Available at: <http://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2012/06/978-87-92903-30-3.pdf> [Last accessed on 30/6/2015]

Delft (2015), *Scrubbers – An economic and ecological assessment*, Prepared for: NABU, Available at: <https://www.nabu.de/downloads/150312-Scrubbers.pdf> [Last accessed on 30/6/2015]

DNV (2012), *Shipping 2020*, Available online at: http://www.dnv.nl/binaries/shipping%202020%20-%20final%20report_tcm141-530559.pdf [Last accessed on 30/6/2015]

DNV (2014), *Sulfur Limits 2015 – Guidelines to ensure compliance*, Available at: <https://www.dnvgl.com/maritime/low-sulphur-operation.html> [Last accessed on 30/6/2015]

EMSA (2010), *the 0.1% sulphur in fuel requirement as from 1 January 2015 in SECAs – An assessment of available impact studies and alternative means of compliance*, Available online at:

http://ec.europa.eu/environment/air/transport/pdf/Report_Sulphur_Requirement.pdf

[Last accessed on 30/6/2015]

EPA (2015), *Title 40-Air Pollution Controls, PART 1043—Control of NO_x, SO_x, and PM emissions from marine engines and vessels subject to the MARPOL Protocol*,

Available online at: [http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-](http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=a461874b481453bdecab714b8db418c7&tpl=/ecfrbrowse/Title40/40cfr1043)

[idx?SID=a461874b481453bdecab714b8db418c7&tpl=/ecfrbrowse/Title40/40cfr1043_main_02.tpl](http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=a461874b481453bdecab714b8db418c7&tpl=/ecfrbrowse/Title40/40cfr1043_main_02.tpl) [Last accessed on 30/6/2015]

EU (2012), *Directive 2012/33/EU of the European Parliament and of the Council of 21 November 2012*, Available at: [http://eur-lex.europa.eu/legal-](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0033&from=EN)

[content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0033&from=EN](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0033&from=EN) [Last accessed on 30/6/2015]

Green4Sea (2014a), *Intertanko launches bunker surcharge clauses for ECAs*,

Available at: <http://www.green4sea.com/intertanko-launches-bunker-surcharge-clauses-ecas/> [Last accessed on 30/6/2015]

Green4Sea (2014b), *CMA CGM to implement Low Sulphur Surcharge on all ECAs*,

Available at: <http://www.green4sea.com/cma-cgm-implement-low-sulphur-surcharge-ecas/> [Last accessed on 30/6/2015]

GreenShip (2012), *GreenShip of the future – Vessel emission study: comparison of various abatement technologies to meet emission levels for ECA's "ECA retrofit technology"*, Available at:

[http://www.greenship.org/fpublic/greenship/dokumenter/Downloads%20-](http://www.greenship.org/fpublic/greenship/dokumenter/Downloads%20-%20maga/ECA%20study/GSF%20ECA%20paper.pdf)

[%20maga/ECA%20study/GSF%20ECA%20paper.pdf](http://www.greenship.org/fpublic/greenship/dokumenter/Downloads%20-%20maga/ECA%20study/GSF%20ECA%20paper.pdf) [Last accessed on 30/6/2015]

Hassellöv, I.-M., Turner, D. R., Lauer, A. & Corbett, J. J., (2013), *Shipping contributes to ocean acidification*, *Geophysical Research Letters*, Volume 40,

pp. 2731-2736, Available online at:

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/grl.50521/pdf> [Last accessed on 30/6/2015]

HIS Maritime (2014), *HIS Maritime's Ships of the Year 2014*, Available online at:

http://www.ihsmaritime360.com/images/assets/220/11220/Ships_of_the_year_ships.pdf [Last accessed on 30/6/2015]

IMO (2015a), *Prevention of Air pollution from Ships*, Available at:

<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx> [Last accessed on 30/6/2015]

IMO (2015b), *Historic Background*, Available at:

<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Historic-Background-.aspx> [Last accessed on 30/6/2015]

IMO (2015c), *Special Areas under MARPOL*, Available at:

<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/SpecialAreasUnderMARPOL/Pages/Default.aspx> [Last accessed on 30/6/2015]

IMO (2015d), *Sulphur Oxides (SOx) – Regulation 14*, Available at:

[http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%e2%80%93-Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%e2%80%93-Regulation-14.aspx) [Last accessed on 30/6/2015]

Jalkanen J.P., Kalli J., Stipa T. (2013), *The price of sulphur reductions in the Baltic Sea and North Sea shipping*, Baltic Sea Region Innoship, Available at:

<http://cleanshippingcurrents.eu/ojs/index.php/CSCurr/article/view/9/18> [Last accessed on 30/6/2015]

Jiang L., Kronbak J., Christensen P.L. (2014), *The costs and benefits of sulphur reduction measures: Sulphur scrubbers versus marine gas oil*, Transportation Research Part D 28, pages 19-27

Lindstad H., Sandaas I., Stromman A. (2015), *Assessment of cost as a function of abatement options in maritime emission control areas*, Transportation Research Part D 38, pages 41-48

Lloyds Register (2015), *Your options for Emissions Compliance - Guidance for shipowners and operators on the Annex VI SOx and NOx regulations*, Available at: http://www.lr.org/en/images/213-35826>Your_options_for_emissions_compliance.pdf [Last accessed on 30/6/2015]

Lloyds List Survey (2013), *The Lloyds List scrubber survey*, Available at: <http://www.lloydslist.com/ll/incoming/article418235.ece/BINARY/Scrubbers+survey+big.pdf> [Last accessed on 30/6/2015]

Lloyd's Register (2012), *ECA Calculator user guidance*, Available online at: http://www.lr.org/en/images/213-35798_ECA_Calculator_User_Guidance_v2_tcm155-237123.pdf [Last accessed on 30/6/2015]

Ma, H., Steernberg, K., Riera-Palou, X. & Tait, N. (2012), *Well-to-wake energy and greenhouse gas analysis of SOX abatement options for the marine industry*, Transportation Research, 17(Part D), pp. 301-308

Maersk (2015), *Triple-E Efficiency*, Available online at: <http://www.maersk.com/en/hardware/triple-e/efficiency> [Last accessed on 30/6/2015]

MAN Diesel & Turbo (2015), *L27/38 Project Guide-Marine*, Available online at: http://www.mandieselturbo.com/download/documents/ProjectGuides4Stroke/L27-38_GenSet_TierII.pdf [Last accessed on 30/6/2015]

MAN Diesel & Turbo (2010), *MAN B&W S80ME-C9-TII Project Guide*, Available online at: http://www.mandieselturbo.com/download/project_guides_tier2/printed/s80mec9.pdf [Last accessed on 30/6/2015]

Proteux Global Energy (2015), *PROTEUX Marine Engine Diesel Fuels - DMX, DMA, DMB, and DMC Marine Fuels*, Available online at:

<http://proteux.com/product/marine-engine-diesel-fuels-dmx-dma-dmb-and-dmc-marine-fuels-2/> [Last accessed on 30/6/2015]

Reynolds K. (2011), *Exhaust Gas Cleaning Systems Selection Guide*, Prepared for Ship Operations Cooperative Program (SOCP), Available at:

http://www.procal.com/docs/Exhaust_Gas_Cleaning_Systems_Guide.pdf [Last accessed on 30/6/2015]

Shipspotting (2013), *Maersk Mc-Kinney Moller - IMO 9619907*, Available online at:

<http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=1858919> [Last accessed on 30/6/2015]

Ships Review (2014), *Maersk McKinney Moeller*, Available online at:

<http://www.shipsreview.net/maersk-mc-kinney-moller-ship.html> [Last accessed on 30/6/2015]

Skuld (2014), *Deviation, voyage planning and low sulphur fuel oil*, Available at:

<http://www.skuld.com/topics/ship/fuel/deviation-voyage-planning-and-low-sulphur-fuel-oil/> (Published on 12/12/2014) [Last accessed on 30/6/2015]

Yang Z.L., Zhang D., Caglayan O., Jenkinson I.D., Bonsall S., Wang J., Huang M., Yan X.P. (2012), *Selection of techniques for reducing shipping NOx and SOx emission*, Transportation Research Part D 17, pages 478-486

Software

Netpas Distance, Netpas, Available for download at:

<https://www.netpas.net/download/>

Παράρτημα

1) Basecase Scenario

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
Ins Installation and Equipment Cost																						
Fuel changeover																						
Non-ECA HFO consumption (in tonnes)	4031	4081	4081	4081	4081	4031	4031	4081	4081	4081	4081	4081	4081	4081	4081	4081	4081	4081	4081	4081	4081	4081
Non-ECA MGO consumption (in tonnes)	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512
Non-ECA HFO costs (\$)	1,233,228	1,346,880	1,492,268	1,641,825	1,806,008	2,082,608	2,185,269	2,403,796	2,644,176	2,908,993	3,199,453	3,519,998	3,871,338	4,258,472	4,684,319	5,152,751	5,668,026	6,234,828	6,862,811	7,544,142	8,298,596	9,158,916
Non-ECA MGO costs (\$)	276,316	303,948	334,342	367,777	404,554	445,010	489,511	538,462	592,308	651,559	716,692	788,502	867,198	953,918	1,049,309	1,154,240	1,269,664	1,396,681	1,536,294	1,689,923	1,858,916	2,048,916
Annual Fuel Inflation rate (10%)	1.10																					
ECA main engines consumption (in tonnes)	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166
ECA auxiliary engines consumption (in tonnes)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
ECA MGO costs (\$)	100,826	110,908	121,999	134,199	147,619	162,380	178,619	196,480	216,128	237,741	261,515	287,667	316,434	348,077	382,885	421,173	463,290	509,620	560,581	616,640	678,304	748,304
Total Costs from Fuel changeover (\$)	1,610,669	1,771,736	1,948,909	2,143,800	2,358,180	2,593,999	2,853,398	3,138,738	3,452,612	3,797,873	4,177,661	4,595,427	5,054,969	5,560,466	6,116,513	6,728,164	7,400,980	8,141,079	8,955,186	9,850,705	10,835,776	11,918,916
Scribbler Costs																						
Main engines consumption (in tonnes)	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197
Auxiliary engines consumption (in tonnes)	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533
HFO Cost (\$)	1,284,226	1,412,649	1,553,914	1,709,205	1,880,226	2,068,240	2,275,086	2,502,594	2,752,853	3,028,139	3,330,953	3,664,048	4,034,453	4,439,988	4,876,948	5,349,866	5,854,333	6,394,084	6,971,084	7,584,212	8,233,633	8,923,633
MGO Cost (\$)	287,673	316,440	348,084	382,892	421,182	463,300	509,630	560,593	616,652	678,317	746,149	820,764	902,940	993,124	1,092,457	1,201,680	1,321,849	1,454,033	1,599,457	1,759,380	1,935,318	2,128,916
Consumable consumption rate (kg/MWh)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Consumable price (\$)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Consumable cost (\$)	3945	4063	4185	4311	4440	4573	4710	4852	4997	5147	5302	5461	5624	5793	5967	6146	6330	6520	6716	6917	7125	7340
Annual inflation rate (%)	1.03																					
Total Costs from Scribbler Operation (\$)	1,575,844	1,733,152	1,906,183	2,096,508	2,305,858	2,536,133	2,789,426	3,068,039	3,374,503	3,711,663	4,082,403	4,490,272	4,938,917	5,424,416	5,945,252	6,502,359	7,097,165	7,729,215	8,399,168	9,116,345	9,882,510	10,700,077
Number of voyages per year	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Cash Flow	-9,102,626	617,337	683,622	756,671	837,166	925,855	1,023,563	1,131,195	1,249,748	1,380,320	1,524,117	1,682,466	1,856,628	2,048,910	2,260,180	2,492,881	2,749,652	3,031,047	3,341,455	3,683,122	4,059,181	4,473,633
Discount rate	1	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386	0.350	0.319	0.290	0.263	0.239	0.218	0.198	0.180	0.164	0.149	0.135
Present Value	-9,102,626	561,216	564,977	568,498	571,796	574,883	577,775	580,482	583,017	585,590	587,613	589,094	591,043	593,467	595,176	597,166	599,427	601,950	604,734	607,777	611,089	614,661

2) Mediterranean ECA Scenario

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
Installation and Equipment Cost	-9,625,000																					
Fuel changeover																						
Non-ECA HFO consumption (in tonnes)	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274	3,274
Non-ECA MGO consumption (in tonnes)	416	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512
Non-ECA HFO costs (\$)	1,800,894	1,102,084	1,212,292	1,333,521	1,466,874	1,613,561	1,774,917	1,952,409	2,147,650	2,362,415	2,598,666	2,858,522	3,144,374	3,458,811	3,804,692	4,185,161	4,603,678	5,064,045	5,570,450	6,127,495	6,740,244	
Non-ECA MGO costs (\$)	224,429	246,872	271,259	298,715	328,587	361,445	397,590	437,349	481,084	529,192	582,111	640,322	704,354	774,790	852,269	937,496	1,031,245	1,134,370	1,247,807	1,372,388	1,509,846	
Annual Fuel Inflation rate (10%)	1.10																					
ECA main engines consumption (in tonnes)	923	923	923	923	923	923	923	923	923	923	923	923	923	923	923	923	923	923	923	923	923	923
ECA auxiliary engines consumption (in tonnes)	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
ECA MGO costs (\$)	561,477	617,624	679,337	747,326	822,058	904,264	994,690	1,094,159	1,203,575	1,323,933	1,456,326	1,601,959	1,762,155	1,938,370	2,132,207	2,345,428	2,579,971	2,837,968	3,121,765	3,433,941	3,777,335	
Total Costs from Fuel changeover (\$)	1,787,800	1,966,580	2,163,238	2,379,562	2,617,518	2,879,270	3,167,197	3,483,917	3,832,309	4,215,539	4,637,093	5,100,903	5,610,883	6,171,971	6,789,168	7,468,085	8,214,894	9,036,383	9,940,021	10,934,023	12,027,426	
Scrubber Costs																						
Main engines consumption (in tonnes)	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197	4197
Auxiliary engines consumption (in tonnes)	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533
HFO Cost (\$)	1,284,226	1,412,649	1,553,914	1,709,305	1,880,236	2,068,260	2,275,086	2,502,594	2,752,853	3,028,139	3,330,653	3,664,048	4,030,453	4,433,498	4,876,848	5,364,533	5,900,986	6,491,084	7,140,193	7,854,212	8,639,633	
MGO Cost (\$)	287,673	316,440	348,084	382,892	421,182	463,300	509,630	560,593	616,652	678,317	746,149	820,764	902,840	993,124	1,092,437	1,200,680	1,321,849	1,454,033	1,599,437	1,759,380	1,935,318	
Consumable consumption rate (kg/MWh)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Consumable consumption (in tonnes)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Consumable price (\$)	200	206	212	219	225	232	239	246	253	261	269	277	285	294	303	312	321	331	340	351	361	
Consumable cost (\$)	3,945	4,063	4,185	4,311	4,440	4,573	4,710	4,852	4,997	5,147	5,302	5,461	5,624	5,793	5,967	6,146	6,330	6,520	6,716	6,917	7,125	
Annual inflation rate (3%)	1.03																					
Total Costs from Scrubber Operation (\$)	1,575,844	1,733,152	1,906,183	2,096,508	2,305,858	2,536,133	2,789,426	3,068,039	3,374,503	3,711,603	4,082,403	4,490,272	4,938,917	5,433,416	5,975,252	6,572,559	7,229,165	7,951,638	8,746,345	9,620,510	10,582,077	
Number of voyages per year	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Cash Flow	-6,445,657	3,734,847	4,112,882	4,528,858	4,986,571	5,490,201	6,044,343	6,654,053	7,324,892	8,062,979	8,875,041	9,768,483	10,751,447	11,832,891	13,022,609	14,331,618	15,771,664	17,355,920	19,098,815	21,016,218	23,125,587	
Discount rate	1	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386	0.350	0.319	0.290	0.263	0.239	0.218	0.198	0.180	0.164	0.149	
Present Value	-6,445,657	3,395,315	3,399,076	3,402,598	3,405,895	3,408,983	3,411,874	3,414,581	3,417,116	3,419,490	3,421,713	3,423,794	3,425,742	3,427,567	3,429,276	3,430,875	3,432,374	3,433,776	3,435,080	3,436,320	3,437,471	

3) Pan-European ECA Scenario

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
Installation and Equipment Cost	-9,625,000																					
Fuel changeover																						
Non-ECA HFO consumption (in tonnes)	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881	2,881
Non-ECA MGO consumption (in tonnes)	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366	366
Non-ECA HFO costs (\$)	881,601	969,761	1,066,137	1,173,411	1,290,752	1,419,827	1,561,810	1,717,991	1,889,790	2,078,769	2,286,646	2,515,311	2,766,942	3,043,526	3,347,879	3,682,667	4,050,933	4,456,027	4,901,629	5,391,792	5,930,972	
Non-ECA MGO costs (\$)	197,483	217,231	238,954	262,850	289,135	318,048	349,853	384,538	423,222	465,654	512,220	563,441	619,786	681,764	749,941	824,935	907,248	998,171	1,097,988	1,207,787	1,329,565	
Annual Fuel Inflation rate (10%)	1.10																					
ECA main engines consumption (in tonnes)	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316	1316
ECA auxiliary engines consumption (in tonnes)	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167
ECA MGO costs (\$)	800,705	880,776	968,853	1,065,739	1,172,313	1,289,544	1,418,498	1,560,348	1,716,388	1,888,021	2,076,823	2,284,516	2,512,956	2,764,252	3,040,677	3,344,744	3,679,219	4,047,141	4,451,855	4,897,040	5,386,744	
Total Costs from Fuel changeover (\$)	1,879,789	2,067,768	2,274,545	2,501,999	2,752,199	3,027,419	3,330,161	3,663,177	4,029,995	4,432,445	4,875,689	5,363,238	5,899,584	6,489,542	7,138,496	7,852,346	8,637,580	9,501,338	10,451,472	11,496,620	12,646,281	
Scrubber Costs																						
Main engines consumption (in tonnes)	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197
Auxiliary engines consumption (in tonnes)	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533
HFO Cost (\$)	1,284,226	1,412,649	1,553,914	1,709,305	1,880,226	2,068,260	2,275,086	2,502,594	2,752,853	3,028,139	3,330,953	3,664,048	4,030,453	4,433,498	4,876,848	5,364,533	5,900,986	6,491,084	7,140,199	7,854,212	8,639,633	
MGO Cost (\$)	287,673	316,440	348,084	382,892	421,182	463,300	509,630	560,395	616,652	678,317	746,149	820,764	902,840	993,124	1,092,437	1,201,680	1,321,849	1,454,033	1,599,437	1,759,380	1,935,318	
Consumable consumption rate (kg/Wh)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Consumable consumption (in tonnes)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Consumable price (\$)	200	206	212	219	225	232	239	246	253	261	269	277	285	294	303	312	321	331	340	351	361	361
Consumable cost (\$)	3,945	4,063	4,185	4,311	4,440	4,573	4,710	4,852	4,997	5,147	5,302	5,461	5,624	5,793	5,967	6,146	6,330	6,520	6,716	6,917	7,125	
Annual Inflation rate (3%)	1.03																					
Total Costs from Scrubber Operation (\$)	1,575,844	1,733,152	1,906,183	2,096,508	2,305,858	2,536,133	2,789,426	3,068,839	3,374,503	3,711,603	4,082,403	4,490,272	4,938,917	5,432,416	5,975,252	6,572,359	7,229,165	7,951,638	8,746,345	9,620,510	10,582,077	
Number of voyages per year	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Cash Flow	-5,065,823	-5,335,852	-5,893,788	-6,487,854	-7,141,468	-7,860,597	-8,651,768	-9,522,220	-10,479,876	-11,533,461	-12,692,571	-13,967,766	-15,370,659	-16,914,024	-18,611,915	-20,479,789	-22,534,651	-24,795,206	-27,282,030	-30,017,754	-33,027,277	
Discount rate	1	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386	0.350	0.319	0.290	0.263	0.239	0.218	0.198	0.180	0.164	0.149	
Present Value	-5,065,823	-4,867,138	-4,870,899	-4,874,421	-4,877,719	-4,880,806	-4,883,697	-4,886,405	-4,888,940	-4,891,313	-4,893,536	-4,895,617	-4,897,566	-4,899,390	-4,901,099	-4,902,699	-4,904,197	-4,905,599	-4,906,913	-4,908,143	-4,909,294	

4) Basecase Scenario Newbuild

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Installation and Equipment Cost																					
	-9,625,000																				
Fuel changeover																					
Non-ECA HFO consumption (in tonnes)	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031
Non-ECA MGO consumption (in tonnes)	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512
Non-ECA HFO costs (\$)	1,233,528	1,356,880	1,492,568	1,641,825	1,806,608	2,185,269	2,403,796	2,644,176	2,908,593	3,199,453	3,519,398	3,871,338	4,258,472	4,684,319	5,152,751	5,668,105	6,234,828	6,858,311	7,544,142	8,298,556	
Non-ECA MGO costs (\$)	276,316	303,948	334,342	367,777	404,554	445,010	489,511	538,462	592,308	651,539	716,692	788,362	867,198	953,918	1,049,309	1,154,240	1,269,664	1,396,631	1,536,294	1,689,916	
Annual Fuel Inflation rate (10%)	1.10																				
ECA main engines consumption (in tonnes)	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166
ECA auxiliary engines consumption (in tonnes)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
ECA MGO costs (\$)	100,826	110,908	121,999	134,199	147,619	162,380	178,619	196,480	216,128	237,741	261,515	287,667	316,634	348,077	382,885	421,173	463,290	509,620	560,581	616,640	678,304
Total Costs from Fuel changeover (\$)	1,610,669	1,771,736	1,948,909	2,143,800	2,358,180	2,593,999	2,853,398	3,138,738	3,452,612	3,797,873	4,177,661	4,595,427	5,054,969	5,560,466	6,116,513	6,728,164	7,400,980	8,141,079	8,955,186	9,850,705	10,833,776
Scrubber Costs																					
Main engines consumption (in tonnes)	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197
Auxiliary engines consumption (in tonnes)	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533
HFO Cost (\$)	1,284,226	1,412,649	1,553,914	1,709,305	1,880,236	2,068,260	2,275,086	2,502,594	2,752,853	3,028,139	3,330,953	3,664,048	4,030,453	4,433,498	4,876,848	5,364,533	5,900,386	6,491,084	7,140,193	7,854,212	8,639,633
MGO Cost (\$)	287,673	316,440	348,084	382,892	421,182	463,300	509,630	560,593	616,652	678,317	746,149	820,764	902,890	993,124	1,092,437	1,201,680	1,321,849	1,454,033	1,599,437	1,759,380	1,935,318
Consumable consumption rate (kg/MWh)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Consumable price (\$)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Consumable cost (\$)	200	206	212	219	225	232	239	246	253	261	269	277	285	294	303	312	321	331	340	351	361
Annual inflation rate (3%)	1.03																				
Total Costs from Scrubber Operation (\$)	1,575,844	1,733,152	1,906,183	2,096,508	2,305,858	2,536,133	2,789,426	3,068,039	3,374,503	3,711,603	4,082,403	4,490,272	4,938,917	5,432,416	5,975,252	6,572,359	7,229,165	7,951,638	8,746,345	9,620,510	10,582,077
Number of voyages per year	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Cash Flow	-9,102,626	617,337	683,622	756,671	837,166	925,855	1,023,563	1,131,195	1,249,748	1,380,320	1,524,117	1,682,466	1,854,828	2,048,810	2,260,180	2,492,881	2,749,952	3,031,047	3,341,455	3,683,122	4,059,181
Discount rate	1	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386	0.350	0.319	0.290	0.263	0.239	0.218	0.198	0.180	0.164	0.149
Present Value	-9,102,626	561,216	564,977	568,498	571,796	574,883	577,775	580,482	583,017	585,390	587,613	589,694	591,643	593,467	595,176	596,776	598,274	599,677	600,990	602,220	603,371

5) Basecase Scenario 5-year vessel

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Installation and Equipment Cost																
	-9,625,000															
Fuel changeover																
Non-ECA HFO consumption (in tonnes)	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031
Non-ECA MGO consumption (in tonnes)	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512
Non-ECA HFO costs (\$)	1,233,528	1,356,880	1,492,568	1,641,825	1,806,008	1,986,608	2,185,269	2,403,796	2,644,176	2,908,593	3,199,453	3,519,398	3,871,338	4,258,472	4,684,319	5,152,751
Non-ECA MGO costs (\$)	276,316	303,948	334,342	367,777	404,554	445,010	489,511	538,462	592,308	651,539	716,692	788,362	867,198	953,918	1,049,309	1,154,240
Annual Fuel Inflation rate (10%)	1.10															
ECA main engines consumption (in tonnes)	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166
ECA auxiliary engines consumption (in tonnes)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
ECA MGO costs (\$)	100,826	110,908	121,999	134,199	147,619	162,380	178,619	196,480	216,128	237,741	261,515	287,667	316,454	348,077	382,885	421,173
Total Costs from Fuel changeover (\$)	1,610,669	1,771,736	1,948,909	2,143,800	2,358,180	2,593,999	2,853,398	3,138,738	3,452,612	3,797,873	4,177,661	4,595,427	5,054,969	5,560,466	6,116,513	6,728,164
Scrubber Costs																
Main engines consumption (in tonnes)	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197
Auxiliary engines consumption (in tonnes)	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533
HFO Cost (\$)	1,284,226	1,412,649	1,553,914	1,709,305	1,880,236	2,068,260	2,275,086	2,502,594	2,752,853	3,028,139	3,330,953	3,664,048	4,030,453	4,433,498	4,876,848	5,364,533
MGO Cost (\$)	287,673	316,440	348,084	382,892	421,182	463,300	509,630	560,593	616,652	678,317	746,149	820,764	903,840	993,124	1,092,437	1,201,680
Consumable consumption rate (kg/MWh)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Consumable price (\$)	200	200	206	212	219	225	232	239	246	253	261	269	277	285	294	303
Consumable cost (\$)	3,945	3,945	4,063	4,185	4,311	4,440	4,573	4,710	4,852	4,997	5,147	5,302	5,461	5,624	5,793	5,967
Annual inflation rate (3%)	1.03															
Total Costs from Scrubber Operation (\$)	1,575,844	1,733,034	1,906,061	2,096,383	2,305,728	2,535,999	2,789,288	3,067,897	3,374,357	3,711,453	4,082,249	4,490,113	4,938,754	5,432,247	5,975,078	6,572,180
Number of voyages per year	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Cash Flow	-9,102,626	619,231	685,572	758,680	839,235	927,987	1,025,758	1,133,456	1,252,077	1,382,718	1,526,587	1,685,011	1,859,449	2,051,510	2,262,960	2,495,745
Discount rate	1	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386	0.350	0.319	0.290	0.263	0.239
Present Value	-9,102,626	562,937	566,588	570,007	573,209	576,207	579,014	581,642	584,103	586,408	588,565	590,586	592,478	594,249	595,908	597,461

6) Basecase Scenario 10-year vessel

	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Installation and Equipment Cost											
	-9,625,000										
Fuel changeover											
Non-ECA HFO consumption (in tonnes)	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031
Non-ECA MGO consumption (in tonnes)	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512
Non-ECA HFO costs (\$)	1,233,528	1,356,880	1,492,568	1,641,825	1,806,008	1,986,608	2,185,269	2,403,796	2,644,176	2,908,593	3,199,453
Non-ECA MGO costs (\$)	276,316	303,948	334,342	367,777	404,554	445,010	489,511	538,462	592,308	651,539	716,692
Annual Fuel Inflation rate (10%)	1.10										
ECA main engines consumption (in tonnes)	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166
ECA auxiliary engines consumption (in tonnes)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
ECA MGO costs (\$)	100,826	110,908	121,999	134,199	147,619	162,380	178,619	196,480	216,128	237,741	261,515
Total Costs from Fuel changeover (\$)	1,610,669	1,771,736	1,948,909	2,143,800	2,358,180	2,593,999	2,853,398	3,138,738	3,452,612	3,797,873	4,177,661
Scrubber Costs											
Main engines consumption (in tonnes)	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197
Auxiliary engines consumption (in tonnes)	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533
HFO Cost (\$)	1,284,226	1,412,649	1,553,914	1,709,305	1,880,236	2,068,260	2,275,086	2,502,594	2,752,853	3,028,139	3,330,953
MGO Cost (\$)	287,673	316,440	348,084	382,892	421,182	463,300	509,630	560,593	616,652	678,317	746,149
Consumable consumption rate (kg/MWh)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Consumable consumption (in tonnes)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Consumable price (\$)	200	206	212	219	225	232	239	246	253	261	269
Consumable cost (\$)	3,945	4,063	4,185	4,311	4,440	4,573	4,710	4,852	4,997	5,147	5,302
Annual inflation rate (3%)	1.03										
Total Costs from Scrubber Operation (\$)	1,575,844	1,733,152	1,906,183	2,096,508	2,305,858	2,536,133	2,789,426	3,068,039	3,374,503	3,711,603	4,082,403
Number of voyages per year	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Cash Flow	-9,102,626	617,337	683,622	756,671	837,166	925,855	1,023,563	1,131,195	1,249,748	1,380,320	1,524,117
Discount rate	1	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386
Present Value	-9,102,626	561,216	564,977	568,498	571,796	574,883	577,775	580,482	583,017	585,390	587,613

7) Basecase Scenario 15-year vessel

	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Installation and Equipment Cost						
	-9,625,000					
Fuel changeover						
Non-ECA HFO consumption (in tonnes)	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031
Non-ECA MGO consumption (in tonnes)	512	512	512	512	512	512
Non-ECA HFO costs (\$)	1,233,528	1,356,880	1,492,568	1,641,825	1,806,008	1,986,608
Non-ECA MGO costs (\$)	276,316	303,948	334,342	367,777	404,554	445,010
Annual Fuel Inflation rate (10%)						1.10
ECA main engines consumption (in tonnes)	166	166	166	166	166	166
ECA auxiliary engines consumption (in tonnes)	21	21	21	21	21	21
ECA MGO costs (\$)	100,826	110,908	121,999	134,199	147,619	162,380
Total Costs from Fuel changeover (\$)	1,610,669	1,771,736	1,948,909	2,143,800	2,358,180	2,593,999
Scrubber Costs						
Main engines consumption (in tonnes)	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197
Auxiliary engines consumption (in tonnes)	533	533	533	533	533	533
HFO Cost (\$)	1,284,226	1,412,649	1,553,914	1,709,305	1,880,236	2,068,260
MGO Cost (\$)	287,673	316,440	348,084	382,892	421,182	463,300
Consumable consumption rate (kg/MWh)	15	15	15	15	15	15
Consumable consumption (in tonnes)	20	20	20	20	20	20
Consumable price (\$)	200	206	212	219	225	232
Consumable cost (\$)	3,945	4,063	4,185	4,311	4,440	4,573
Annual inflation rate (3%)						1.03
Total Costs from Scrubber Operation (\$)	1,575,844	1,733,152	1,906,183	2,096,508	2,305,858	2,536,133
Number of voyages per year	15	16	16	16	16	16
Cash Flow	-9,102,626	617,337	683,622	756,671	837,166	925,855
Discount rate	1	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621
Present Value	-9,102,626	561,216	564,977	568,498	571,796	574,883

8) Basecase Scenario (Double Fuel Prices)

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Installation and Equipment Cost																					
	-9,625,000																				
Fuel changeover																					
Non-ECA HFO consumption (in tonnes)	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031	4,031
Non-ECA MGO consumption (in tonnes)	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512
Non-ECA HFO costs (\$)	2,467,055	2,713,761	2,985,137	3,283,650	3,612,015	3,973,217	4,370,539	4,807,592	5,288,352	5,817,187	6,398,905	7,038,796	7,742,676	8,516,943	9,368,637	10,305,501	11,336,051	12,469,656	13,716,622	15,088,284	16,597,113
Non-ECA MGO costs (\$)	552,632	607,895	668,685	735,553	809,108	890,019	979,021	1,076,923	1,184,616	1,303,077	1,433,385	1,576,723	1,734,396	1,907,835	2,098,619	2,308,481	2,539,329	2,793,262	3,072,388	3,379,847	3,717,831
Annual Fuel Inflation rate (10%)	1.10																				
ECA main engines consumption (in tonnes)	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166	166
ECA auxiliary engines consumption (in tonnes)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
ECA MGO costs (\$)	201,651	221,816	245,998	268,397	295,237	324,761	357,237	392,961	432,257	475,883	523,031	575,334	632,867	696,154	765,769	842,346	926,581	1,019,239	1,121,163	1,233,279	1,356,607
Total Costs from Fuel changeover (\$)	3,221,338	3,543,472	3,897,819	4,287,601	4,716,361	5,187,997	5,706,797	6,277,476	6,905,224	7,595,746	8,355,321	9,190,853	10,109,938	11,120,932	12,233,026	13,456,228	14,801,961	16,282,157	17,910,373	19,701,410	21,671,551
Scrubber Costs																					
Main engines consumption (in tonnes)	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197	4,197
Auxiliary engines consumption (in tonnes)	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533	533
HFO Cost (\$)	2,588,453	2,825,298	3,107,828	3,418,611	3,760,472	4,136,519	4,550,771	5,005,188	5,503,707	6,056,278	6,661,905	7,332,096	8,060,906	8,866,996	9,753,696	10,729,065	11,801,972	12,982,169	14,280,386	15,708,424	17,279,267
MGO Cost (\$)	575,346	632,880	696,168	765,785	842,363	926,600	1,019,260	1,121,186	1,233,304	1,356,635	1,492,298	1,641,528	1,805,681	1,986,249	2,184,874	2,403,361	2,651,697	2,938,873	3,198,873	3,518,761	3,870,637
Consumable consumption rate (kg/MWh)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Consumable consumption (in tonnes)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Consumable price (\$)	200	206	212	219	225	232	239	246	253	261	269	277	285	294	303	312	321	321	331	340	351
Consumable cost (\$)	3,945	4,063	4,185	4,311	4,440	4,573	4,710	4,852	4,997	5,147	5,302	5,461	5,624	5,793	5,967	6,146	6,330	6,520	6,716	6,917	7,125
Annual inflation rate (3%)	1.03																				
Total Costs from Scrubber Operation (\$)	3,147,743	3,462,241	3,808,181	4,188,706	4,607,275	5,067,692	5,574,141	6,131,225	6,744,008	7,418,659	8,159,505	8,975,084	9,872,211	10,859,038	11,944,536	13,138,572	14,451,999	15,896,756	17,485,975	19,234,103	21,157,029
Number of voyages per year	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Cash Flow	-8,521,079	1,299,685	1,434,204	1,582,312	1,745,371	1,924,881	2,122,491	2,340,016	2,579,451	2,842,993	3,133,057	3,452,201	3,803,647	4,190,311	4,615,830	5,084,096	5,599,389	6,160,418	6,790,362	7,476,920	8,223,359
Discount rate	1	0.909	0.826	0.751	0.683	0.621	0.564	0.513	0.467	0.424	0.386	0.350	0.319	0.290	0.263	0.239	0.218	0.198	0.180	0.164	0.149
Present Value	-8,521,079	1,181,532	1,185,293	1,188,815	1,192,112	1,195,200	1,198,091	1,200,798	1,203,333	1,205,707	1,207,929	1,210,010	1,211,959	1,213,784	1,215,492	1,217,092	1,218,590	1,219,993	1,221,306	1,222,536	1,223,688