



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

**ΜΕΛΕΤΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΕΦΙΚΤΟΤΗΤΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΛΟΙΩΝ
ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΚΑΙ RORO ΠΛΟΙΩΝ ΜΕ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟ
ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΟ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Κων/νου Π. Κανναβού

Εξεταστική επιτροπή

Επιβλέπων: Δημήτριος Λυρίδης, Επίκουρος Καθηγητής

Μέλη: Νικόλαος Βεντικός, Επίκουρος Καθηγητής

Γεώργιος Ζαραφωνίτης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2013

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο “Μελέτη Οικονομικής Εφικτότητας λειτουργίας πλοίων εμπορευματοκιβωτίων και RoRo με υγροποιημένο φυσικό αέριο ως Καύσιμο”, εκπονείται στα πλαίσια του Προπτυχιακού Προγράμματος σπουδών της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η εργασία αυτή αποτέλεσε μία δημιουργική διαδικασία μέσα από την οποία αποκόμισα σημαντικά εφόδια τόσο σε επιστημονικό όσο και σε προσωπικό επίπεδο.

Για την τόσο σημαντική αυτή εμπειρία θα ήθελα να εκφράσω τη βαθύτατη ευγνωμοσύνη μου στον Επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας Επίκουρο Καθηγητή κ. Δημήτρη Λυρίδη. Η άριστη συνεργασία που είχαμε, η συνεχής καθοδήγηση και πάνω από όλα η εμπιστοσύνη απέναντι στο πρόσωπο μου κατά τη διάρκεια της μελέτης υπήρξαν καταλυτικοί παράγοντες που με βοήθησαν να ανταπεξέλθω στις αυξημένες απαιτήσεις.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Μεταδιδακτορικό Συνεργάτη του Εργαστηρίου θαλασσίων Μεταφορών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κ. Παναγιώτη Ζαχαριουδάκη. Η ηθική και έμπρακτη υποστήριξη του καθ’ όλη τη διάρκεια της μελέτης υπήρξε πολύτιμη και διασφάλισε την αρτιότητα αυτής. Ακόμη, ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής Επίκουρο Καθηγητή κ. Νικόλαο Βεντίκο και Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Γεώργιο Ζαραφωνίτη.

Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Φραγκίσκο Δαχτυλίδη, Α΄ Πλοίαρχο Εμπορικού Ναυτικού, ο οποίος αφιέρωσε σημαντικό μέρος από το πολύτιμο χρόνο του για να μας τροφοδοτήσει με στοιχεία και πληροφορίες απαραίτητες για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας μου.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για τη συμπαράστασή τους καθ’ όλη τη διάρκεια της δύσκολης προσπάθειάς μου εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Αθήνα, Ιούλιος 2013

Κων/νος Π. Κανναβός

Περίληψη

Αφορμή για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η πρόκληση της χρήσης του φυσικού αερίου ως ναυτιλιακού καυσίμου στα επόμενα χρόνια. Η κατακόρυφη αύξηση της τιμής του πετρελαίου και η αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια από τις αναπτυσσόμενες χώρες και συνολικά της παγκόσμιας οικονομίας μας οδηγεί στην ανάγκη για εξεύρεση νέων/εναλλακτικών πηγών ενέργειας.

Η αύξηση των ποσοστών του διοξειδίου του άνθρακα, του αζώτου, του θείου και των υπόλοιπων αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα έχουν αναγκάσει τους παγκόσμιους οργανισμούς να επιβάλλουν κανονισμούς που θα περιορίζουν αυτές τις εκπομπές.

Για τους παραπάνω λόγους η ναυτιλιακή βιομηχανία οφείλει να εξετάσει άλλους τρόπους παραγωγής ενέργειας.

Μία ιδέα που κερδίζει συνεχώς έδαφος είναι η χρήση του LNG ως καύσιμης ύλης. Η χρήση του LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο αποτελεί μια αρκετά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για τη συμμόρφωση με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς καθώς αποτελεί μια καθαρή πηγή ενέργειας σε σχετικά χαμηλή τιμή με υψηλά επίπεδα ασφαλείας. Ακόμη, σύμφωνα με νέες μελέτες έχουν εντοπιστεί σε διάφορες περιοχές του κόσμου κοιτάσματα φυσικού αερίου. Τα αποθέματα των οποίων αρκούν για να στηρίξουν την παγκόσμια οικονομία και να ικανοποιήσουν την ενεργειακή ζήτηση σε συνδυασμό με μία ελεγχόμενη μείωση στην παραγωγή του πετρελαίου.

Ωστόσο για να υπάρξει ευρεία υιοθέτηση του LNG ως ναυτιλιακού καυσίμου θα πρέπει να αναπτυχθεί ένα σύνολο υποδομών, μια αποτελεσματική αλυσίδα εφοδιασμού και μαζικότερη παραγωγή μηχανημάτων και εξαρτημάτων που μπορούν να υποστηρίξουν το υγροποιημένο φυσικό αέριο. Ακόμη, οι διάφορες συγχρηματοδοτήσεις μπορούν να βοηθήσουν στην επίταχυνση της διάδοσης του LNG.

Abstract

The challenge of use LNG as a marine fuel oil at the forthcoming years was the main reason for drafting this diplomacy thesis. The sharp increase in oil prices and the growing demand for energy from developing countries and the entire global economy leads us to the need to find a new / Alternate energy sources.

The increasing rates of carbon dioxide, nitrogen, sulfur and other particulates in the atmosphere have caused global organizations to impose regulations that would limit these emissions.

For these reasons, the marine industry should consider other ways of generating energy.

One idea that is gaining ground is the use of LNG as fuel. The use of LNG as a marine fuel is a very promising alternative for compliance with environmental regulations because it is a clean source of energy at a relatively low price with high security levels. Furthermore, according to new studies have been identified in different regions of the world reserves of natural gas. Stocks which are sufficient to support the global economy and meet energy demand in conjunction with a controlled reduction in the production of oil.

However, to be widespread adoption of LNG as a marine fuel should develop a set of infrastructure, an efficient supply chain and massive production of machinery and rigging that may support the liquefied natural gas. Moreover, the various co-financing can help to accelerate the spread of LNG.

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Πρόλογος..... | 5 |
| Περίληψη..... | 7 |
| Abstract | 9 |
| Περιεχόμενα..... | 11 |
| Λίστα Εικόνων | 13 |
| Λίστα Πινάκων..... | 17 |
| Εισαγωγή | 19 |
| Αντικειμενικός Σκοπός | 19 |
| Περίγραμμα Εργασίας..... | 19 |
| 1. Νέοι περιβαλλοντολογικοί κανονισμοί..... | 21 |
| 2. Στρατηγικές Συμμόρφωσης Πλοιοκτητών με τους Κανονισμούς | 27 |
| 2.1. Χρήση HFO με Σύστημα Αποθείωσης Καυσαερίων (Scrubber) | 27 |
| 2.2. Καύσιμο Τύπου MGO | 33 |
| 2.3. Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG) | 35 |
| 2.3.1. Εισαγωγή..... | 35 |
| 2.3.1. Επιλογές κινητήρων φυσικού αερίου | 36 |
| 2.3.2. Χώροι αποθήκευσης φυσικού αερίου | 43 |
| 2.3.3. Διάταξη πλοίου | 47 |
| 2.3.3. Διάταξη μηχανοστασίου, χώρων παροχής και αποθήκευσης LNG και συστήματα ασφαλείας..... | 50 |
| 3. Οικονομικά στοιχεία retrofit και ανάλυση αποτελεσμάτων | 53 |
| 3.1 Οικονομική μελέτη πλοίων εμπορευματοκιβωτίων..... | 56 |
| 3.1.1. Δίχρονο containership..... | 56 |
| 3.1.2. Τετράχρονο containership..... | 67 |

| | |
|--|-----|
| 3.2 Οικονομική μελέτη πλοίων RoRo-RoPax..... | 78 |
| 3.2.1. RoRo/RoPax που εκτελεί δρομολόγια στις Κυκλάδες..... | 78 |
| 3.2.2. RoRo/RoPax που εκτελεί δρομολόγια στην Αδριατική..... | 89 |
| 4. Σύγκριση Αποτελεσμάτων | 100 |
| 4.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων πλοίων εμπορευματοκιβωτίων..... | 100 |
| 4.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων πλοίων RoRo/RoPax | 102 |
| 5.Συμπεράσματα | 105 |
| 5.1. Γενικά Συμπεράσματα..... | 105 |
| 5.2. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα..... | 107 |
| Αναφορές | 109 |
| Βιβλιογραφία | 109 |
| Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις | 110 |

Λίστα Εικόνων

| | |
|--|----|
| Εικόνα 1. Χρονοδιάγραμμα και όρια κανονισμών..... | 22 |
| Εικόνα 2. Χάρτης ζώνης ECA B. Ευρώπης..... | 23 |
| Εικόνα 3. Χάρτης ζώνης ECA B. Αμερικής..... | 23 |
| Εικόνα 4 Χάρτης υφιστάμενων και υπό συζήτηση ζωνών ECA..... | 24 |
| Εικόνα 5. Όρια εκπομπών NO _x (g/kWh) συναρτήσει των στροφών της μηχανής | 26 |
| Εικόνα 6. Γενική διάταξη συστήματος Scrubber | 28 |
| Εικόνα 7. Πριν την εγκατάσταση του Scrubber..... | 30 |
| Εικόνα 8. Μετά την εγκατάσταση του Scrubber..... | 31 |
| Εικόνα 9. Κατά την εκτέλεση των εργασιών | 31 |
| Εικόνα 10. Καταλύτης SCR..... | 32 |
| Εικόνα 11. Τοποθέτηση Scrubber | 33 |
| Εικόνα 12. Mitsubishi GS16R-MPTK, source Diesel Power | 37 |
| Εικόνα 13. Rolls Royce Bergen C26:33, source: Rolls Royce | 37 |
| Εικόνα 14. . Wartsila 50DF, source: Wartsila | 37 |
| Εικόνα 15. Κύκλος Otto | 38 |
| Εικόνα 16. Αναλογία καυσίμων σε διάφορες φορτίσεις | 39 |
| Εικόνα 17. Σύστημα έκχυσης καυσίμου χαμηλής πίεσης..... | 39 |
| Εικόνα 18. Σύστημα έκχυσης καυσίμου χαμηλής πίεσης..... | 40 |
| Εικόνα 19. Κύκλος Diesel..... | 40 |
| Εικόνα 20. Σύστημα έκχυσης καυσίμου..... | 41 |
| Εικόνα 21. Κύκλος Otto/Miller | 42 |
| Εικόνα 22. Δεξαμενή αποθήκευσης LNG | 43 |
| Εικόνα 23. Τομή μεμβρανικής δεξαμενής..... | 44 |
| Εικόνα 24. Δεξαμενή αποθήκευσης LNG | 44 |

| | |
|--|----|
| Εικόνα 25. Δεξαμενή αποθήκευσης LNG | 45 |
| Εικόνα 26. Δεξαμενή αποθήκευσης LNG | 45 |
| Εικόνα 27. Δεξαμενή αποθήκευσης LNG double skinned cylinders. | 46 |
| Εικόνα 28. Δεξαμενή αποθήκευσης LNG bilobe tank. | 46 |
| Εικόνα 29. Δεξαμενές LNG σε bulk carrier | 47 |
| Εικόνα 30. Σχέδιο γενικής διάταξης στο χώρο του μηχανοστασίου..... | 48 |
| Εικόνα 31. Ελάχιστη απόσταση δεξαμενής LNG από το περίβλημα του πλοίου | 48 |
| Εικόνα 32. Ελάχιστη απόσταση δεξαμενής LNG από το περίβλημα του πλοίου | 49 |
| Εικόνα 33. Τοποθέτηση φορητής δεξαμενής LNG | 50 |
| Εικόνα 34. Απεικόνιση μέσης τομής μηχανοστασίου | 51 |
| Εικόνα 35. Εικόνα GUV room της Wartsila..... | 52 |
| Εικόνα 36. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO | 59 |
| Εικόνα 37. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO..... | 60 |
| Εικόνα 38. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG..... | 60 |
| Εικόνα 39. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG | 61 |
| Εικόνα 40. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO | 62 |
| Εικόνα 41. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO..... | 63 |
| Εικόνα 42. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του HFO..... | 63 |
| Εικόνα 43. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του HFO | 64 |
| Εικόνα 44. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG..... | 65 |
| Εικόνα 45. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG | 66 |
| Εικόνα 46. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO | 70 |
| Εικόνα 47. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO..... | 71 |
| Εικόνα 48. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG..... | 71 |
| Εικόνα 49. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG | 72 |
| Εικόνα 50. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO | 73 |
| Εικόνα 51. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO..... | 74 |

| | |
|---|----|
| Εικόνα 52. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του HFO..... | 74 |
| Εικόνα 53. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του HFO | 75 |
| Εικόνα 54. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG..... | 76 |
| Εικόνα 55. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG | 77 |
| Εικόνα 56. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO | 81 |
| Εικόνα 57. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO..... | 82 |
| Εικόνα 58. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG..... | 82 |
| Εικόνα 59. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG | 83 |
| Εικόνα 60. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO | 84 |
| Εικόνα 61. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO..... | 84 |
| Εικόνα 62. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του HFO..... | 85 |
| Εικόνα 63. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του HFO | 85 |
| Εικόνα 64. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG..... | 87 |
| Εικόνα 65. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG | 87 |
| Εικόνα 66. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO | 92 |
| Εικόνα 67. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO..... | 92 |
| Εικόνα 68. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG..... | 93 |
| Εικόνα 69. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG | 93 |
| Εικόνα 70. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO | 95 |
| Εικόνα 71. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO..... | 95 |
| Εικόνα 72. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του HFO..... | 96 |
| Εικόνα 73. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του HFO | 96 |
| Εικόνα 74. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG..... | 97 |
| Εικόνα 75. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG..... | 98 |

Λίστα Πινάκων

| | |
|--|----|
| Πίνακας 1. Περιοχές ECA..... | 22 |
| Πίνακας 2. Κανονισμοί SO _x | 25 |
| Πίνακας 3. Χρονοδιάγραμμα και κανονισμοί NO _x | 26 |
| Πίνακας 4 . Εκπομπές ρύπων για κάθε επιλογή. | 36 |
| Πίνακας 5. Αναλογία καυσίμων σε διάφορες φορτίσεις..... | 41 |
| Πίνακας 6. Διαγραμματική απεικόνιση των ρύπων για κάθε μηχανή..... | 42 |
| Πίνακας 7. Αρχικό κόστος MGO..... | 54 |
| Πίνακας 8. Αρχικό κόστος Scrubber..... | 54 |
| Πίνακας 9. Αρχικό κόστος Scrubber..... | 55 |
| Πίνακας 10. Αρχικό κόστος Scrubber..... | 55 |
| Πίνακας 11. Διαστάσεις πλοίου και ισχύς μηχανής..... | 56 |
| Πίνακας 12. Αρχικό κόστος retrofit 2X Containership για κάθε επιλογή..... | 57 |
| Πίνακας 13. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση ανοικτής θαλάσσης 2X Containership..... | 58 |
| Πίνακας 14. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση ρελαντί 2X Containership..... | 58 |
| Πίνακας 15. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση φόρτωσης 2X Containership..... | 58 |
| Πίνακας 16. Ετήσια κατανάλωση 2X Containership..... | 58 |
| Πίνακας 17. Κύριες διαστάσεις και ισχύς μηχανής 4X containership..... | 67 |
| Πίνακας 18. Αρχικό κόστος retrofit 2X Containership για κάθε επιλογή..... | 68 |
| Πίνακας 19. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση ανοικτής θαλάσσης 4X Containership..... | 69 |
| Πίνακας 20. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση ρελαντί 4X Containership..... | 69 |
| Πίνακας 21. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση φόρτωσης 4X Containership..... | 69 |
| Πίνακας 22. Ετήσια κατανάλωση 4X Containership..... | 69 |
| Πίνακας 23. Κύριες διαστάσεις και ισχύς μηχανής 4X containership..... | 78 |
| Πίνακας 24 Αρχικό κόστος retrofit RoRo/RoPax κυκλάδων για κάθε επιλογή..... | 79 |

| | |
|--|-----|
| Πίνακας 25. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση ανοικτής θαλάσσης RoRo/RoPax Κυκλάδων | 80 |
| Πίνακας 26. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση ρεταντί RoRo/RoPax Κυκλάδων | 80 |
| Πίνακας 27. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση φόρτωσης RoRo/RoPax Κυκλάδων..... | 80 |
| Πίνακας 28. Ετήσια κατανάλωση RoRo/RoPax Κυκλάδων | 81 |
| Πίνακας 29. Κύριες διαστάσεις και ισχύς μηχανής 4X containership | 89 |
| Πίνακας 30. Αρχικό κόστος retrofit RoRo/RoPax Αδριατικής για κάθε επιλογή | 89 |
| Πίνακας 31. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση ανοικτής θαλάσσης RoRo/RoPax Αδριατικής | 90 |
| Πίνακας 32. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση ρεταντί RoRo/RoPax Αδριατικής | 91 |
| Πίνακας 33. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση φόρτωσης RoRo/RoPax Αδριατικής | 91 |
| Πίνακας 34. Ετήσια κατανάλωση RoRo/RoPax Αδριατικής | 91 |
| Πίνακας 35. Αρχικό κόστος retrofit 2X Containership για κάθε επιλογή..... | 100 |
| Πίνακας 36. Αρχικό κόστος retrofit 2X Containership για κάθε επιλογή..... | 100 |
| Πίνακας 37. Ετήσια κατανάλωση 2X containership | 101 |
| Πίνακας 38. Ετήσια κατανάλωση 4X containership | 101 |
| Πίνακας 39. NPV, PBP για τα λιμάνια του Πειραιά και της Πάτρας | 101 |
| Πίνακας 40. NPV, PBP για τα λιμάνια του Πειραιά και της Πάτρας | 102 |
| Πίνακας 41. NPV, PBP για τα λιμάνια του Πειραιά και της Πάτρας | 102 |
| Πίνακας 42. Αρχικό κόστος retrofit RoRo/RoPax Κυκλάδων για κάθε επιλογή..... | 103 |
| Πίνακας 43. Αρχικό κόστος retrofit RoRo/RoPax Κυκλάδων για κάθε επιλογή..... | 103 |
| Πίνακας 44. NPV, PBP για τα λιμάνια του Πειραιά και της Πάτρας | 103 |
| Πίνακας 45. NPV, PBP για τα λιμάνια του Πειραιά και της Πάτρας | 104 |
| Πίνακας 46. NPV, PBP για τα λιμάνια του Πειραιά και της Πάτρας | 104 |

Εισαγωγή

Αντικειμενικός Σκοπός

Η χρήση του φυσικού αερίου ως ναυτιλιακό καύσιμο δεν αποτελεί λύση επιστημονικής φαντασίας καθώς σήμερα ο αριθμός πλοίων που επιλέγουν αυτό τον τύπο καυσίμου συνεχώς αυξάνεται. Για να μπορέσει όμως να υιοθετηθεί ευρέως η χρήση του θα πρέπει να υπάρξει ανάπτυξη του παγκόσμιου δικτύου υποδομών παροχής, καθώς και μια αποτελεσματική εφοδιαστική αλυσίδα. Οι δύο αυτές βασικές παράμετροι βρίσκονται σήμερα σε πρώιμο στάδιο στις περισσότερες περιοχές της Ευρώπης, καθώς οι εταιρείες παροχής φυσικού αερίου και οι προμηθευτές καυσίμων είναι απρόθυμοι να επενδύσουν στη δημιουργία της αναγκαίας υποδομής έως ότου υπάρξει επαρκή εμπορική ζήτηση από τη βιομηχανία της ναυτιλίας. Από την άλλη πλευρά, οι πλοιοκτήτες είναι απρόθυμοι να επενδύσουν σε νέες κατασκευές ή μετασκευές πλοίων που θα χρησιμοποιούν το LNG ως καύσιμο εάν η προμήθειά του καθίσταται δύσκολη.

Αντικειμενικός σκοπός της παρούσας μελέτης είναι ο προσδιορισμός της σκοπιμότητας και εφικτότητας μετασκευής πλοίων που θα καίνε LNG. Αρχικά, πραγματοποιείται μια περιγραφή των μετατροπών που θα πρέπει να υποστεί το πλοίο, ενώ στη συνέχεια με βάση συγκεκριμένη μεθοδολογία εκτιμάτε η ετήσια κατανάλωση LNG, MGO, HFO. Το σημαντικότερο μέρος της μελέτης αποτελείται από την σύγκριση των πιθανών σεναρίων. Ολοκληρώνοντας, με σκοπό την όσο το δυνατόν πληρέστερη μελέτη, πραγματοποιήθηκε οικονομική αξιολόγηση της επενδυτικής πρότασης.

Περίγραμμα Εργασίας

Η σύγχρονη ανάγκη για μείωση των ρύπων αλλά και της προστασίας του περιβάλλοντος οδηγεί στην αναζήτηση φιλικότερων καυσίμων. Η χρήση του LNG ως ναυτιλιακού καυσίμου παρουσιάζει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη και για αυτό τον λόγο εμφανίζεται η ανάγκη για να μελετηθούν οι απαραίτητες προϋποθέσεις και αλλαγές που χρειάζονται για την χρήση του. Για μία ολοκληρωμένη προσέγγιση του ζητήματος, θεωρείται αναγκαίο να αναφέρουμε αρχικά ορισμένες γενικές πληροφορίες πριν προχωρήσουμε στο υπολογιστικό μέρος της μελέτης.

Στο πρώτο κεφάλαιο καταγράφονται γενικές πληροφορίες για το υγροποιημένο φυσικό αέριο, οι κανονισμοί και οι οδηγίες που ζητούν την μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο καταγράφονται οι στρατηγικές που μπορούν να ακολουθήσουν οι πλοιοκτήτες με στόχο τη συμμόρφωση των πλοίων με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Αναφέρονται, επίσης, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σε όρους περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η εκτίμηση της μετατροπής δύο πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και δύο πλοίων RoRo/RoPax για να καίνε LNG με τη μεθοδολογία, τις παραδοχές που χρησιμοποιήσαμε και τον κατάλληλο εξοπλισμό να αναφέρονται εκτενέστερα. Ακόμη, γίνεται και μια σύγκριση μεταξύ των επιλογών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια σύγκριση των αποτελεσμάτων των πλοίων όμοιων κατηγοριών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο καταγράφονται κάποια συμπεράσματα και προβληματισμοί που προέκυψαν από την μελέτη και κάποιες προτάσεις για μελλοντικές έρευνες.

1. Νέοι περιβαλλοντολογικοί κανονισμοί

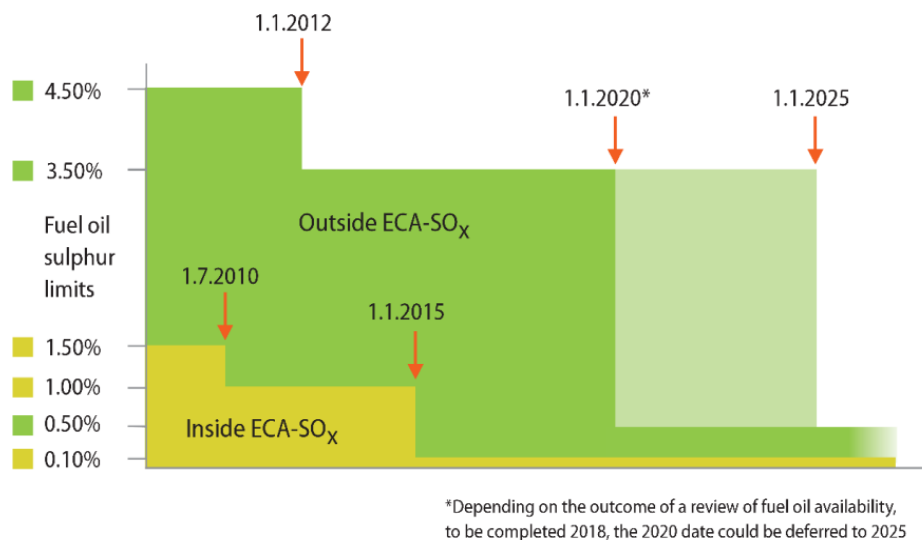
Το πιο διαδεμένο ναυτιλιακό καύσιμο είναι το βαρύ μαζούτ, αλλά οι κανονισμοί που θα τεθούν σε εφαρμογή τα επόμενα χρόνια επιβάλλουν μείωση στην περιεκτικότητα σε θείο προκειμένου να περιοριστούν οι εκπομπές διοξειδίου του θείου από τα πλοία. Αυτό κάνει πρακτικά αδύνατη την χρήση του μαζούτ ως καύσιμο υπό τις συνθήκες που χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα.

Ο IMO στο πλαίσιο της Δ.Σ. MARPOL VI εφαρμόζει από το 2013 μηχανισμούς, όπως το EEDI (Energy Efficiency Design Index) και SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan), και επεξεργάζεται την καθιέρωση των MBM (Market Based Measures) για να επιτύχει μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) που προέρχονται από τη ναυτιλία, ενώ ήδη εφαρμόζονται σταδιακά οι απαιτήσεις για τον περιορισμό εκπομπών από τα πλοία ως προς SOx (low sulphur fuel) και NOx (Tier II & III standards). Εξάλλου και η ευρωπαϊκή ναυτιλιακή πολιτική στοχεύει στη σταδιακή μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος των πλοίων για να καταπολεμηθεί η κλιματική αλλαγή που προκαλείται από τις εκπομπές GHG στα καυσαέρια των πλοίων.

Από το 2012 η MARPOL Annex VI περιέχει ένα παγκόσμιο ανώτατο όριο της τάξεως του 3.5% περιεκτικότητας σε θείο για ναυτιλιακά καύσιμα, έτσι ώστε να περιοριστούν οι εκπομπές της ιδιαίτερα επιβλαβής ουσίας του διοξειδίου του θείου.

Από την 1^η Ιανουαρίου 2020 το ανώτατο παγκόσμιο όριο θα περιοριστεί και άλλο στο 0.5% περιεκτικότητας σε θείο για όλα τα ναυτιλιακά καύσιμα. Ωστόσο, αυτή η ημερομηνία μπορεί να διαφοροποιηθεί και να γίνει 1^η Ιανουαρίου 2025. Αυτό εξαρτάται από το αποτέλεσμα της περαιτέρω έρευνας που διεξάγεται από τον IMO για την παγκόσμια διαθεσιμότητα των καυσίμων με μικρή περιεκτικότητα σε θείο που θα χρησιμοποιούνται στην ναυτιλία το 2018.

Στον κάτωθι πίνακα φαίνονται σχεδιαγραμματικά οι αλλαγές που έχουν γίνει αλλά και αυτές που επείκονται.



Εικόνα 1. Χρονοδιάγραμμα και όρια κανονισμών

(Πηγή: Lloyd's Register, 2012, LNG – fuelled deep sea shipping)

Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται με κίτρινο χρώμα συγκεκριμένες περιοχές, οι λεγόμενες ECAs (Emission Control Areas) στις οποίες έχει εφαρμοστεί μια πολύ πιο αυστηρή πολιτική όσον αφορά την περιοκτικότητα του ναυτιλιακού καυσίμου σε θείο. Το όριο είναι 1% και αναμένεται να μειωθεί στο 0.1% το 2015.

Στις ζώνες ανήκουν οι παρακάτω περιοχές:

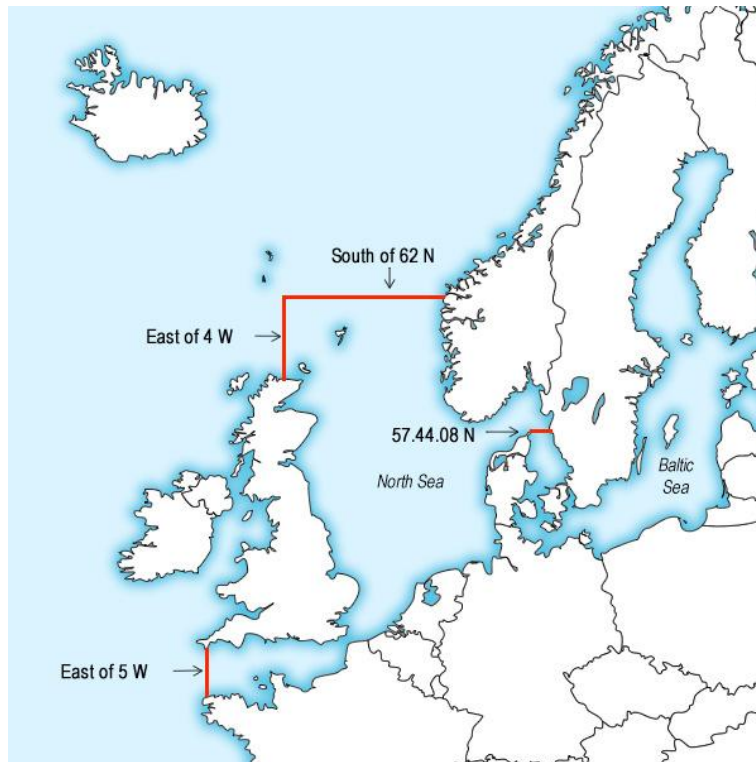
Πίνακας 1. Περιοχές ECA

(Πηγή: ABS, 2011, The class perspective)

| Τωρινές και επικυρώμενες περιοχές ελέγχου των εκπομπών (ECAs) | Έναρξη ισχύος |
|---|--------------------|
| Βαλτική θάλασσα (SOx) | 19 Μαΐου, 2005 |
| Βόρεια θάλασσα (SOx) | 22 Νοεμβρίου, 2006 |
| Βόρεια αμερική, ΗΠΑ συμπεριλαμβανομένης και της κανάδενικης ακτογραμμής μεχρι 200 ναυτικά μίλια (SOx, NOx and PM) | 1 Αυγούστου, 2011 |
| Ακτογραμμή των ΗΠΑ στην Καραϊβική (SOx, NOx and PM) | 1 Ιανουαρίου, 2013 |

Πιο συγκεκριμένα:

Τα όρια της ζώνης ECA στην Βαλτική και Βόρεια θάλασσα.



Εικόνα 2. Χάρτης ζώνης ECA Β. Ευρώπης

(Πηγή: ABS, 2011, The class perspective)

Τα όρια της ζώνης ECA στην Βόρεια Αμερική.



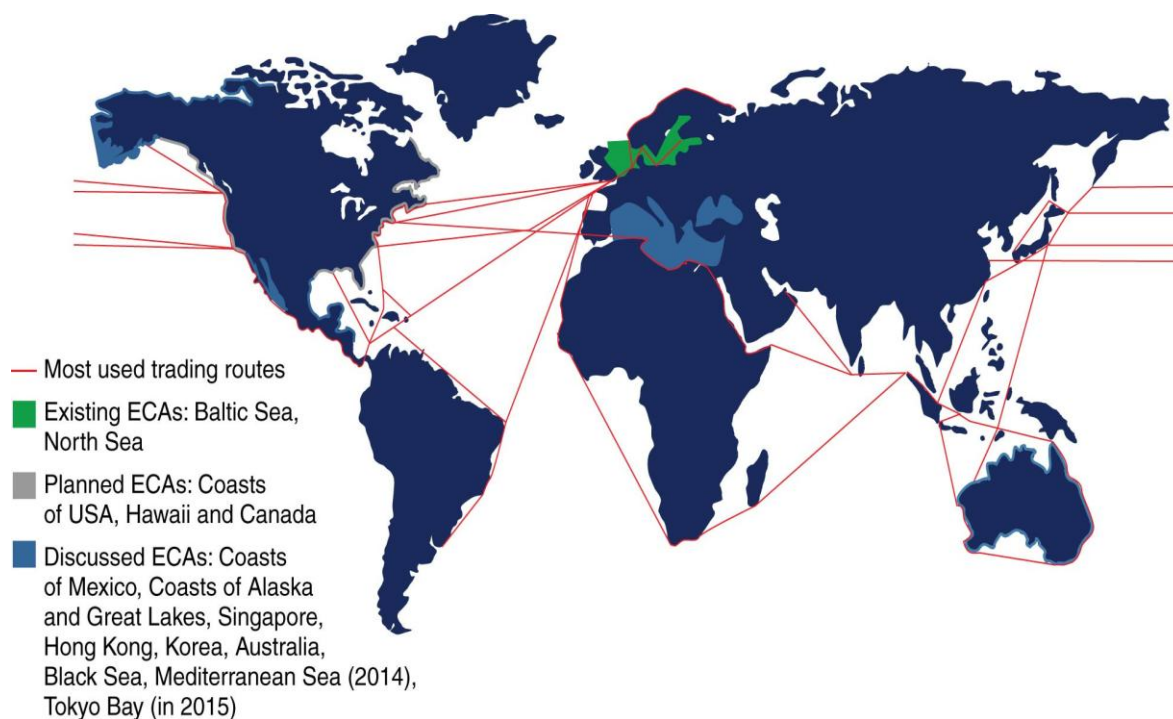
Εικόνα 3. Χάρτης ζώνης ECA Β. Αμερικής

(Πηγή: ABS, 2011, The class perspective)

Εκτός από τις περιοχές που βρίσκονται ήδη στις ζώνες ECA και από αυτές που είναι προγραμματισμένο να προστεθούν υπάρχουν κάποιες άλλες που είναι υπό διαβούλευση και φαίνονται στον επόμενο χάρτη.

Περιοχές όπως οι ακτές του Μεξικό και της Αλάσκα, οι Μεγάλες λίμνες στις ΗΠΑ, η Σιγκαπούρη, το Χονγκ Κονγκ, η Κορέα, η Αυστραλία, η Μαύρη θάλασσα, η Μεσόγειος (που συζητείται για το 2014) και η θαλάσσια περιοχή στο Τόκιο (συζητείται για το 2015). Με πράσινο χρώμα φαίνονται οι υπάρχουσες περιοχές και με μπλέ η υπό συζήτηση.

Σε αυτό τον χάρτη φαίνονται επίσης οι κυριότερες εμπορικές διαδρομές, οι οποίες όπως γίνεται αντιληπτό περνάνε κυρίως μέσα από περιοχές που είτε έχουν μπει στις ζώνες ECA είτε είναι προγραμματισμένο να μπουν είτε είναι υπό συζήτηση.



Εικόνα 4 Χάρτης υφιστάμενων και υπό συζήτηση ζωνών ECA

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται συνοπτικά οι κανονισμοί που αφορούν την μείωση του διοξειδίου του θείου στα καύσιμα, η περιοχή επικάλυψής τους, η ημερομηνία εφαρμογής, η μέγιστη επιτρεπτή περιεκτικότητα σε θείο και διάφορες άλλες πληροφορίες.

Πίνακας 2. Κανονισμοί SO_x

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)

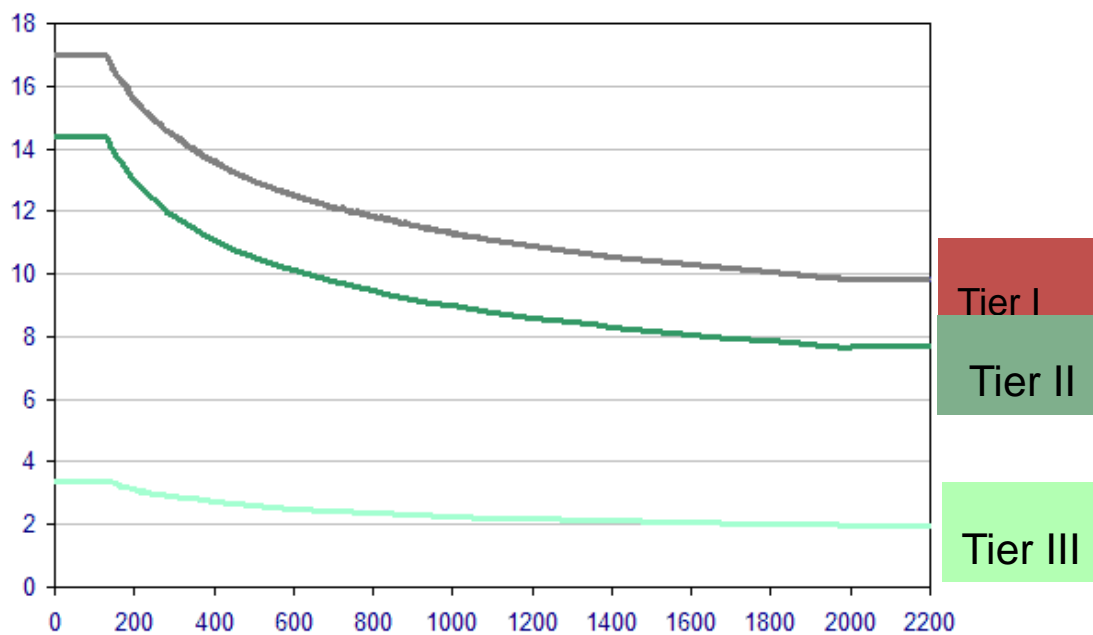
| Κανονισμός | Περιοχή | Ημερομηνία | S% | Σχόλια |
|----------------------------------|---|------------|-----|---|
| Marpol Annex VI | Παγκόσμια | Σε ισχύ | 3.5 | |
| | Παγκόσμια | 1-Ιαν-20 | 0.5 | Επανεξέταση το 2018 |
| | SECA | 1-Ιουλ-10 | 1 | Βαλτική/Βόρεια θάλασσα/Αγγλικό κανάλι |
| | US/Canada ECA | 01-Αυγ-12 | 1 | Εφαρμόζονται MEPC.190(60) |
| | US Caribbean Waters | 1-Ιαν-14 | 1 | Εφαρμόζονται MEPC.202(62) |
| | SECA/ECA | 1-Ιαν-15 | 0.1 | Βαλτική/Βόρεια θάλασσα/Αγγλικό κανάλι/US/Canada/US Caribbean Waters |
| Ευρωπαϊκή ντιρεκτιβία 1999/32/EC | Ευρωπαϊκά λιμάνια για αγκυποβόλιο και για ελλιμενισμό | 1-Ιαν-10 | 0.1 | Τελική νομική πρόταση τροποποίησης σε εξέλιξη |
| CARB | California waters | 1-Αυγ-12 | 1 | MGO |
| | | | 0.5 | MDO |
| | California waters | 1-Ιαν-14 | 0.1 | MGO/MDO |

Στον επόμενο πίνακα φαίνεται η νομοθεσία για την μείωση των αέριων ρύπων οξειδίου του αζώτου που θα επιβληθεί σταδιακά σε διάφορες περιοχές, σε σχέση με τις στροφές ανά λεπτό του κινητήρα.

Πίνακας 3. Χρονοδιάγραμμα και κανονισμοί NO_x

(Πηγή: BV, 2010, Dual fuel nowadays developments)

| Regulations | NO _x emissions | | |
|-------------------|---------------------------|---------|----------|
| | 2010 | 2011 | 2016 |
| IMO – outside ECA | Tier I | Tier II | |
| IMO - ECA | Tier I | Tier II | Tier III |



Εικόνα 5. Όρια εκπομπών NO_x (g/kWh) συναρτήσει των στροφών της μηχανής

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)

2. Στρατηγικές Συμμόρφωσης Πλοιοκτητών με τους Κανονισμούς

Υπάρχουν δύο ρεαλιστικές εναλλακτικές λύσεις, εκτός από τη χρήση του LNG, για να καλυφθούν οι απαιτήσεις των νέων κανονισμών στο βραχυπρόθεσμο και μεσοπρόθεσμο μέλλον. Η πρώτη είναι τα πλοία να συνεχίσουν να χρησιμοποιούν βαρύ καύσιμο (Heavy Fuel Oil, HFO) αλλά με την προσθήκη συστήματος αποθείωσης καυσαερίων (Scrubber) για τη μείωση των εκπομπών θείου ενώ η δεύτερη είναι η χρήση καυσίμου με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, τύπου Marine Gas Oil (MGO). Όλες οι εναλλακτικές λύσεις έχουν ως αποτέλεσμα την επιβολή μεγάλων εξόδων για τους πλοιοκτήτες και τις επιχειρήσεις τους.

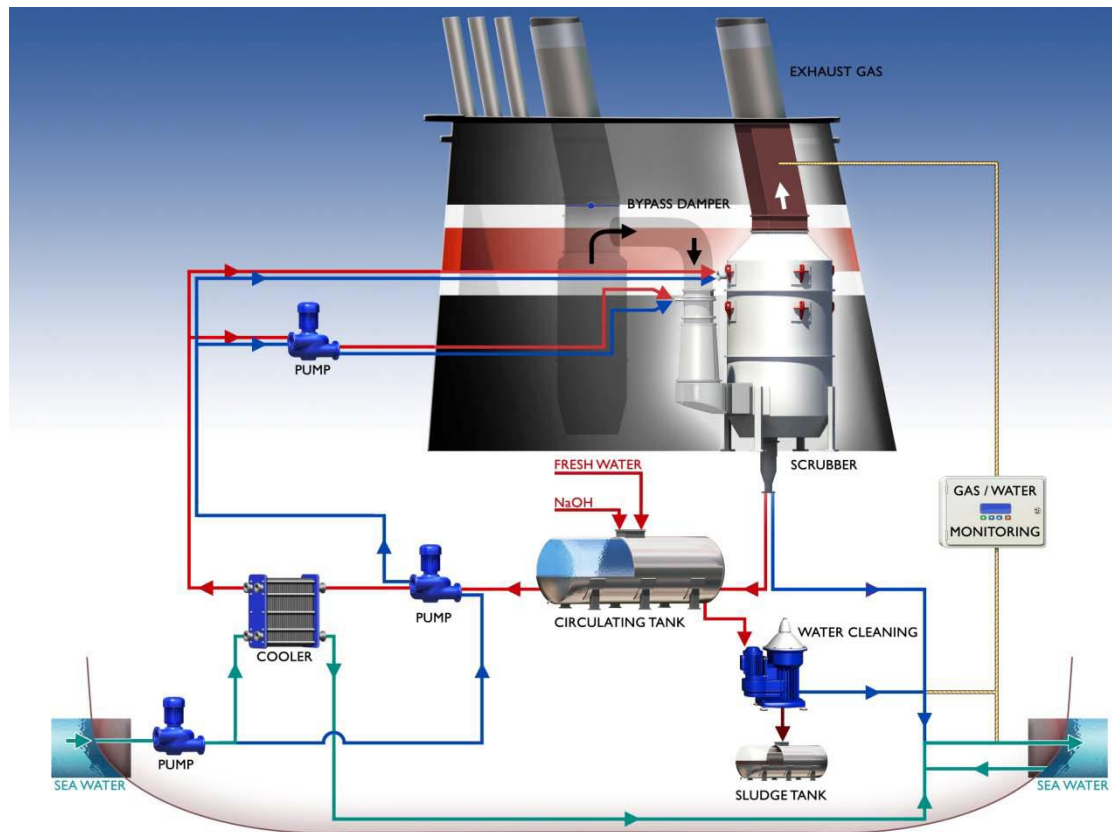
Ποια στρατηγική, εάν τελικά κάποια από αυτές που αναφέραμε, κυριαρχήσει εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από διάφορες οικονομικές πτυχές, όπως το επενδυτικό και λειτουργικό κόστος καθώς και το πώς θα διαμορφωθούν οι τιμές των καυσίμων στο μέλλον το οποίο είναι και το σημαντικότερο όλων.

2.1. Χρήση HFO με Σύστημα Αποθείωσης Καυσαερίων (Scrubber)

Οι τεχνολογίες μείωσης ή οι λύσεις “end-of-pipe”, περιλαμβάνουν κυρίως τη χρήση των “scrubber” για την αφαίρεση των SO_x και PM σε συνδυασμό είτε με σύστημα Επιλεκτικής Καταλυτικής Αναγωγής (Selective Catalytic Reduction, SCR) ή με Σύστημα Ανακυκλοφορίας Καυσαερίων (Exhaust Gas Recirculation, EGR) για την μείωση των εκπομπών NO_x. Ο συνδυασμός αυτός θεωρείται ότι έχει καλές προοπτικές για την εκπλήρωση των απαιτήσεων στις περιοχές SECA το 2015 και της απαίτησης Tier III σε περιοχές ECA’s. Είναι πιθανό ότι Tier III απαιτήσεις NO_x μπορούν να εκπληρωθούν ακόμα και χωρίς την εφαρμογή της τεχνικής SCR.

Το σύστημα Scrubber αφαιρεί από τα καυσαέρια το διοξείδιο του θείου και άλλα μικροσωματίδια. Το σύστημα Scrubber είναι ένα υβριδικό σύστημα, το οποίο είναι ικανό να λειτουργήσει και με γλυκό νερό και με θαλασσινό νερό. Η αλλαγή μεταξύ των δύο λειτουργιών μπορεί να γίνει την ώρα που το scrubber είναι σε λειτουργία.

Οι απαιτήσεις της MARPOL καλύπτονται από την απόφαση MEPC.184(59) Scheme A & B, Washwater



Εικόνα 6. Γενική διάταξη συστήματος Scrubber

(Πηγή:Green Ship of the Future)

Το σύστημα διαθέτει δύο τμήματα. Το jet scrubber και το packed tower. Το jet scrubber είναι η είσοδος του scrubber, και σε αυτό το τμήμα λαμβάνει χώρα η αρχική ψύξη και ο καθαρισμός των καυσαερίων πριν τα καυσαέρια εισέλθουν στο packed tower.

Τα ψυγμένα καυσαέρια θα καθαριστούν στο packed tower και θα συσκευαστούν με ένα υψηλής αποδοτικότητας και χαμηλής αντίστασης υλικό συσκευασίας. Αυτό το υλικό συσκευασίας έχει μία ανοικτή κατασκευή, η οποία εμποδίζει τον κατακλυσμό του υλικού σε οποιαδήποτε κατάσταση φόρτωσης. Από την άλλη μεριά, η ανοικτή κατασκευή έχει μια μεγάλη, υγρή επιφάνεια που διασφαλίζει την υψηλή αποδοτικότητα στην απομάκρυνση διοξειδίων του θείου και μικροσωματιδίων.

Το νερό που χρησιμοποιήθηκε για τον καθαρισμό παρέχεται διαμέσου σωληνών με μορφή σπρέυ προκειμένου να πετύχει την καλύτερη κατανομή κάτω από όλες τις συνθήκες συμπεριλαμβανομένου και όλων των κινήσεων του πλοίου.

Τα καυσαέρια φεύγουν από το scrubber με πολύ μεγάλο ποσοστό σχετικής υγρασίας. Πριν βγούν από το scrubber, τα σταγονίδια νερού που υπάρχουν στα καυσαέρια θα διαχωριστούν από ένα διαχωριστή σταγονιδίων. Η αποδοτικότητα του οποίου είναι

σημαντική για να διασφαλίζει τη μικρότερη δυνατή απώλεια νερού, ειδικά κατά τη διάρκεια της λειτουργίας με φρέσκο νερό. Ο διαχωριστής θα καθαρίζεται τακτικά προς αποφυγήν συσσώρευσης αιθάλης και υπερβολική πτώση της πίεσης. Τα ανοίγματα επιθεώρησης έχουν εγκατασταθεί για λόγους συντήρησης και επισκεψιμότητας.

Το σύστημα περιέχει μια δεξαμενή κυκλοφορίας για την λειτουργία σε φρέσκο νερό. Αυτή η δεξαμενή χρειάζεται για την εξαέρωση του νερού και λειτουργεί σαν μία ρυθμιστική δεξαμενή για το φρέσκο νερό, γεμίζοντας τις σωλήνες του νερού με φρέσκο νερό μετά την λειτουργία σε θαλασσινό. Επιπλέον, σε αυτή την δεξαμενή προστίθεται διοξείδιο του νατρίου (NaOH) όταν χρειάζεται.

Κατά την διάρκεια της λειτουργίας με φρέσκο νερό, το νερό καθαρισμού θα κυκλοφορεί στο σύστημα σε ένα κλειστό βρόχο. Σε αυτή την κατάσταση, το νερό καθαρισμού θα ψυχθεί σε μία πλάκα εναλλάκτη θερμότητας. Η ψύξη του νερού γίνεται για να περιοριστεί η απώλεια νερού, το ψυγμένο νερό στο scrubber διασφαλίζει ότι το νερό από την καύση του πετρελαίου θα συμπυκνωθεί στο scrubber. Το νερό στην κατάσταση λειτουργίας με φρέσκο νερό θα καθαριστεί από ένα διαχωριστή σε βούρκο και σε καθαρό νερό. Ο βούρκος θα πάει στην sludge tank του πλοίου και από εκεί στην στεριά. Ένα τμήμα του καθαρισμένου νερού θα τροφοδοτηθεί πίσω στη δεξαμενή κυκλοφορίας και ένα άλλο τμήμα θα διοχετευθεί απευθείας στην θάλασσα εφόσον η ποιότητα του είναι αυτή που επιτρέπουν οι οδηγίες της MEPC.

Όσο περισσότερες μηχανές συνδέονται στο σύστημα scrubber, τόσο περισσότερα μέτρα προφύλαξης πρέπει να παίρνονται για την αποφυγή καυσαερίων σε κατάσταση standby των μηχανών. Έαν μια μηχανή δεν λειτουργεί, η παροχή καυσαερίων στο jet scrubber κλείνεται από μία διπλή βαλβίδα με πεπιεσμένο αέρα στεγανοποίησης. Τότε η μηχανή προστατεύεται από τα καυσαέρια των άλλων μηχανών που είναι σε λειτουργία.

Ο πίνακας ελέγχου περιέχει όλο τον εξοπλισμό για τον έλεγχο και την ρύθμιση της μονάδας. Όλα τα μηνύματα/επικοινωνία ενσωματώνονται σε μία οθόνη αφής PLC που είναι εγκατεστημένη στην μπροστινή πόρτα του πίνακα ελέγχου. Σε περίπτωση προβλήματος, η κύρια αιτία του προβλήματος θα γίνει άμεσα ορατή με την αλλαγή του χρώματος ή με ένα σήμα συναγερμού στην οθόνη. Σε περίπτωση ζημιάς ή σε περίπτωση που ενεργοποιηθεί το κουμπί ασφαλείας, το σύστημα θα απενεργοποιηθεί αυτόματα. Μετά την εξάλειψη της ζημιάς, το σύστημα θα κάνει επανεκκίνηση ενώ η ζημιά θα απαλειφθεί από την οθόνη.

Το σύστημα αποθείωσης διαθέτει μονάδα που καταγράφει και αποθηκεύει όλα τα δεδομένα σύμφωνα με τους κανονισμούς της ΜΕΡС. Αυτές οι πληροφορίες αποστέλλονται στα άτομα που εποπτεύουν την σωστή λειτουργία του πλοίου.

Η εγκατάσταση του συστήματος Scrubber απαιτεί κάποιες μετατροπές, οι πιο σημαντικές από αυτές είναι :

-Νέα διάταξη φουγάρου

-Scrubber

-Εγκατάσταση των βοηθητικών μηχανημάτων Scrubber και των σωληνώσεων.

-Εγκατάσταση νέων δεξαμεμένων



Εικόνα 7. Πριν την εγκατάσταση του Scrubber.

(Πηγή:Green Ship of the Future)



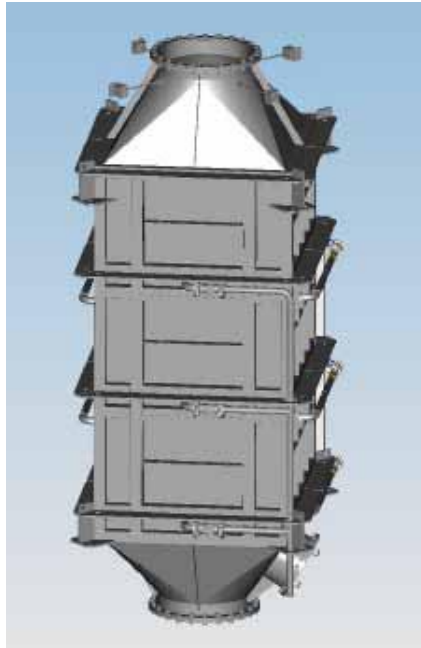
Εικόνα 8. Μετά την εγκατάσταση του Scrubber.

(Πηγή: Green Ship of the Future)



Εικόνα 9. Κατά την εκτέλεση των εργασιών

(Πηγή: BV, 2010, Dual fuel nowadays developments)



Εικόνα 10. Καταλύτης SCR

(Πηγή: BV, 2010, Dual fuel nowadays developments)

Με το σύστημα Selective Catalytic Reaction μπορούν να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του TIER III για τα NO_x.

Συνοψίζοντας να αναφέρουμε για την επιλογή του Scrubber τα κύρια σημεία που θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν πριν ληφθεί η τελική απόφαση.

- Η εγκατάσταση του εξοπλισμού και ο χώρος που απαιτείται
- Κατασκευαστικές αλλαγές στην περιοχή της πρύμνης και των υπερκατασκευών
- Μικρές μηχανολογικές αλλαγές
- Λειτουργία με HFO όλων των μηχανών, εκτός των βοηθητικών μηχανών στις ζώνες ECA/SECA όπου λειτουργούν με MGO/MDO
- Κόστος συντήρησης και ετήσιο λειτουργικό κόστος
- Μείωση χωρητικότητας (σύμφωνα με μελέτες στα containership υπάρχει μείωση της χωρητικότητας της τάξης του 0.3%-4% του συνολικού αριθμού TEU
- Εκπαίδευση του πληρώματος
- Αρχικό κόστος κτήσης
- Χρονική διάρκεια δεξαμενισμού

Ένα ακόμη που πρέπει να τεθεί σοβαρά υπόψιν είναι τα απόβλητα που παράγονται από τη λειτουργία του Scrubber και θα πρέπει να διαχειρίζονται και να απορρίπτονται στο λιμάνι. Προς το παρόν δεν υπάρχει καμία υποδομή στα λιμάνια για την υποδοχή και τη διάθεση αυτών των αποβλήτων καθώς επίσης δεν υπάρχουν κανονισμοί που να ρυθμίζουν την ευθύνη του λιμένα στη διαχείριση τέτοιων αποβλήτων. Τον Ιούλιο του 2011, ο IMO εξέδωσε ψήφισμα δίνοντάς τις κατευθυντήριες γραμμές για τις εγκαταστάσεις υποδοχής κάτω από το παράρτημα VI της MARPOL. Ένα σύστημα τελών για την παραλαβή των αποβλήτων πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να μην δημιουργηθούν αντικίνητρα για την μη ασφαλή παράδοση στην ξηρά λόγω αδικαιολόγητης καθυστέρηση ή κόστους.



Εικόνα 11. Τοποθέτηση Scrubber

(Πηγή: RINA, 2011, LNG as an alternative fuel)

2.2. Καύσιμο Τύπου MGO

Τα συμβατικά ναυτιλιακά καύσιμα που χρησιμοποιούνται από τα εμπορικά πλοία χωρίζονται συνήθως σε δύο κατηγορίες, τα υπολείμματα αποστάξεως και τα προϊόντα κλασματικής απόσταξης. Τα καύσιμα που προέρχονται από υπολείμματα αποστάξεως, που συχνά αναφέρονται ως βαρύ Μαζούτ (HFO), αποτελούν τα βαρύτερα ναυτιλιακά καύσιμα σε σχέση με το ιξώδες και την περιεκτικότητα σε θείο. Τα καύσιμα που αποτελούν προϊόν

απόσταξης μπορεί να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, καύσιμο τύπου Marine Gas Oil (MGO) και Marine Diesel Oil (MDO). Όταν το καύσιμο που προέρχεται από υπολείμματα αποστάξεως αναμιχθεί με καύσιμο από κλασματική απόσταξη, το μίγμα ονομάζεται ενδιάμεσο καύσιμο (IFO).

Θεωρητικά είναι δυνατό να πραγματοποιήσουμε αποθείωση σε καύσιμο HFO και να παραχθεί HFO με περιεκτικότητα σε θείο 0,1%, αλλά στην πράξη η πιο βιώσιμη λύση, όταν επιλέξουμε ως εναλλακτική λύση καύσιμο πετρελαίο για τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς SECA, είναι η χρησιμοποίηση καυσίμου MGO. Εάν τα διυλιστήρια έχουν πλεόνασμα από HFO είναι πιθανό να παράγουν, μέσα από διεργασίες όπως πυρόλυσης, κ.α., MGO.

Το MGO με θείο 0,1% ή λιγότερο είναι άμεσα διαθέσιμο και έχει παρόμοιες ιδιότητες ως καύσιμο ντίζελ που χρησιμοποιείται για υψηλής ταχύτητας κινητήρων ντίζελ. Το ιξώδες του MGO είναι χαμηλότερο από ότι του MDO ή HFO και για λειτουργία σε δίχρονους κινητήρες ντίζελ πλοίων το καύσιμο μπορεί να χρειαστεί να ψυχθεί, ώστε να παραμείνει σε συγκεκριμένα επίπεδα ιξώδους σύμφωνα με το σχεδιασμό του κινητήρα, για την πρόληψη της φθοράς των αντλιών καυσίμων και άλλων εξοπλισμών. Το ιξώδες δεν πρέπει να είναι χαμηλότερο από 2cSt¹ στην είσοδο του κινητήρα και συνιστάται να είναι πάνω από 3cSt. Η εναλλαγή από προθερμασμένο HFO (80-150°C) σε ψυχόμενο MGO (max 35°C) κατά την εισαγωγή σε περιοχή SECA πρέπει να πραγματοποιηθεί με δέουσα προσοχή στο πραγματικό ιξώδες καυσίμων ιδίως στους συμβατικούς κινητήρες χωρίς συστήματα έγχυσης κοινού συλλέκτη (Common Rail Systems). Για μακροπρόθεσμη χρήση του MGO είναι απαραίτητο να αλλάξει το λάδι λίπανσης της κύριας μηχανής και των βοηθητικών μηχανών και το λάδι λίπανσης των κυλίνδρων με λάδι άλλης ποιότητας.

Για την συμμόρφωση με τους κανονισμούς η πιο απλή λύση είναι η χρήση του MGO. Με το MGO επιτυγχάνεται μείωση των εκπομπών SO_x και PM. Οι εκπομπές των NO_x και των αερίων του θερμοκηπίου παραμένουν στο ίδιο επίπεδο όπως κατά τη χρήση HFO.

Προκειμένου να συμμορφωθούν με τις εκπομπές NO_x Tier III, συστήματα SCR και EGR είναι απαραίτητα.

Πλεονέκτημα της χρήσης MGO αποτελεί η μη απαίτηση μετασκευής του κινητήρα και η προσθήκη επιπλέον όγκου για τις δεξαμενές αποθήκευσης, πράγμα που καθιστά την επένδυση αρκετά μικρή ή ακόμα και μηδενική. Το προσωπικό είναι εξοικειωμένο με τη

¹ CentiStokes, είναι μέτρο του ιξώδους. 1cSt = 1mm²/s. Για μπορέσει να γίνει μια σύγκριση αρκεί να αναφέρουμε ότι το ιξώδες του νερού στους 20°C είναι περίπου 1cSt.

χρήση αυτού του καυσίμου, το οποίο είναι διαθέσιμο ανα πάσα στιγμή. Ωστόσο, η τιμή για το καύσιμο MGO είναι σημαντικά υψηλότερη από ότι για το HFO και σε γενικές γραμμές πιστεύεται ότι θα αυξηθεί σε κάποιο βαθμό λόγω της περιορισμένης ικανότητας διύλισης.

2.3. Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)

2.3.1. Εισαγωγή

Οι κινητήρες που χρησιμοποιούν το LNG ως καύσιμο έχει αποδειχθεί ότι αποτελούν μια αξιόπιστη λύση καθώς το LNG αποτελεί ένα φιλικό προς το περιβάλλον καύσιμο με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο. Οι εκπομπές καυσαερίων, όπως SO_x και PM από τη χρήση LNG είναι αμελητέες.

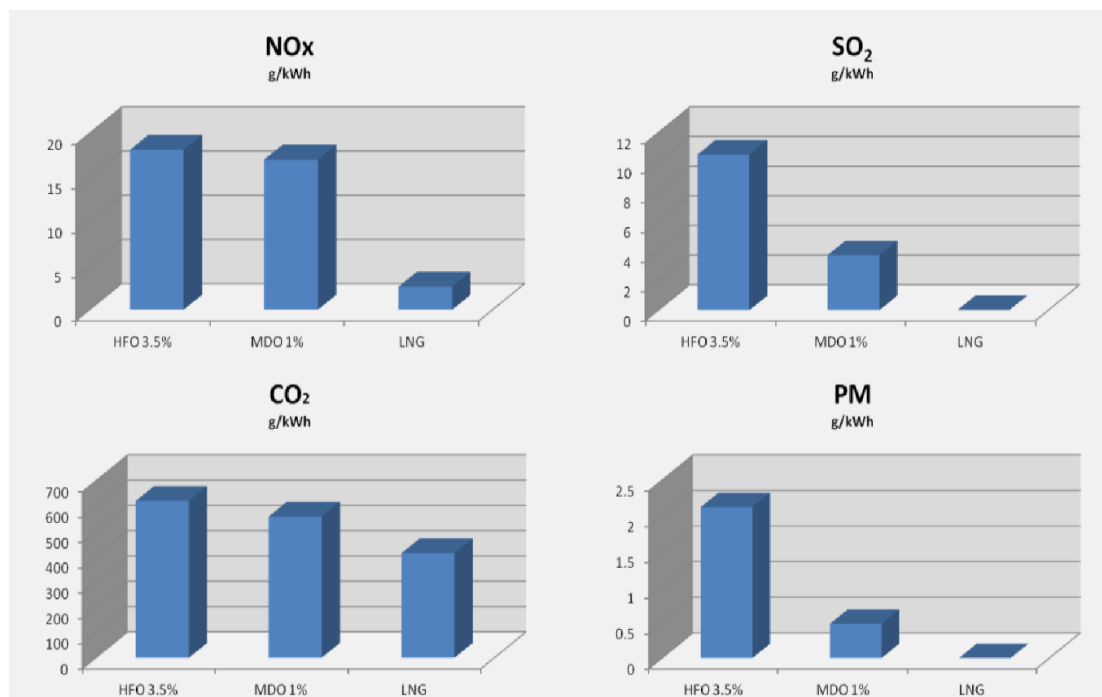
Οι εκπομπές NO_x μπορεί να μειωθούν κατά περίπου 80-90% για τετράχρονους κινητήρες Otto και 10-20% για τους δίχρονους κινητήρες. Ακόμα το LNG περιέχει λιγότερο άνθρακα από τα άλλα καύσιμα, μειώνοντας τις εκπομπές CO₂ κατά περίπου 20%. Στον Πίνακα 4 μπορούμε να δούμε τα σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το καύσιμο LNG σε σχέση με τις άλλες εναλλακτικές λύσεις.

Το LNG είναι το φυσικό αέριο και αποθηκεύεται σε υγρή μορφή σε ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία -162°C (1m³ LNG = 600 m³ φυσικού αερίου). Το κύριο συστατικό είναι το μεθάνιο (CH₄) και άλλοι υδρογονάνθρακες (αιθάνιο C₂H₆, προπάνιο C₃H₈, βουτάνιο C₄H₁₀), καθώς και σε μικρές ποσότητες άλλες ουσίες (άζωτο N₂, υδρόθειο H₂S, διοξείδιο του άνθρακα, κ.α.). Η ακριβής σύσταση του κυμαίνεται ανάλογα με τις γεωγραφικές περιοχές στις οποίες εντοπίζεται. Το φυσικό αέριο είναι άοσμο, άχρωμο και μη τοξικό. Λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας, το LNG θα πρέπει να αποθηκεύεται σε κρυογονικές δεξαμενές. Το LNG έχει υψηλή θερμοκρασία αυτανάφλεξης και επομένως χρειάζεται μια πρόσθετη πηγή ανάφλεξης, δηλαδή ένα "pilot fuel". Το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα και έχει μικρό εύρος αναφλεξιμότητας. Μπορεί να καεί σε δίχρονους κινητήρες ή σε τετράχρονους κινητήρες.

Ωστόσο, το μεθάνιο αποτελεί ένα επιθετικό αέριο του θερμοκηπίου με σημαντικά περιβαλλοντικά μειονεκτήματα, λόγω του φαινομένου "methane slip" που παρουσιάζεται μόνο από τους τετράχρονους διπλού καυσίμου κινητήρες Otto. Η τεχνολογική ανάπτυξη προχωράει σε αυτόν τον τομέα και οι κατασκευαστές κινητήρων ισχυρίζονται ότι το ζήτημα "methane slip" θα μειωθεί σημαντικά στο μέλλον.

Πίνακας 4 . Εκπομπές ρύπων για κάθε επιλογή.

(Πηγή: TRI-ZEN, 2012, LNG markets perspective)



Η θερμογόνος δύναμη του LNG είναι 55,5 MJ/kg ενώ του HFO 41,2 MJ/kg. Από αυτό εξάγουμε πως για την ίδια εισροή ενέργειας το LNG παράγει 35% λιγότερο CO₂ , δίνει περισσότερες ευκαιρίες για βελτίωση του EEDI και δυνατότητα για βελτίωση του EEOI.

Η πυκνότητα του LNG είναι 464 kg/m³ ενώ του HFO 991 kg/m³. Από αυτό προκύπτει πως για την ίδια εισροή ενέργειας το LNG χρειάζεται 1,6 φορές περισσότερο όγκο.

Για να χρησιμοποιηθεί το LNG σαν καύσιμο πρέπει να γίνουν κάποιες μεταρροπές στο πλοίο. Η πιο βασική αφορά την κύρια μηχανή, όπου είτε θα γίνει μετατροπή σε μία που θα καίει φυσικό αέριο είτε θα αντικατασταθεί. Ακόμη, η τοποθέτηση της δεξαμενής ή των δεξαμενών του φυσικού αερίου ίσως συναντήσει δυσκολίες και χρειαστούν αλλαγές στη διάταξη του μηχανοστασίου ή άλλων χώρων. Τέλος, θα αλλαχθούν κάποια συστήματα σωληνώσεων και θα προστεθούν και κάποια επιπλέον συστήματα ασφαλείας.

2.3.1. Επιλογές κινητήρων φυσικού αερίου

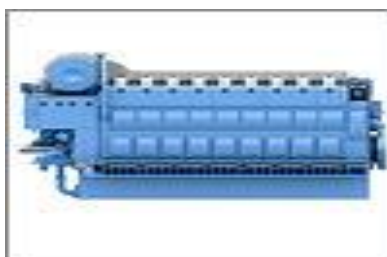
Η χρήση του LNG ως ναυτιλιακού καυσίμου ξεκίνησε από τα LNG carrier. Ο πρώτος κινητήρας DF παραδόθηκε το 2004 (GDF SUEZ GLOBAL ENERGY). Τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία κινητήρων διπλού καυσίμου έχει ενταχθεί στη θαλάσσια αγορά. Πρωτίστως διαμέσου των εφαρμογών στα LNG carrier στις μεσόστροφες μηχανές. Ακόμη, κινητήρες με

καύσιμο μόνο φυσικό αέριο έχουν εγκατασταθεί σε ferry και σε περιπολικά σκάφη στην Νορβηγία.



Εικόνα 12. Mitsubishi GS16R-MPTK, source Diesel Power

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)



Εικόνα 13. Rolls Royce Bergen C26:33, source: Rolls Royce

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)



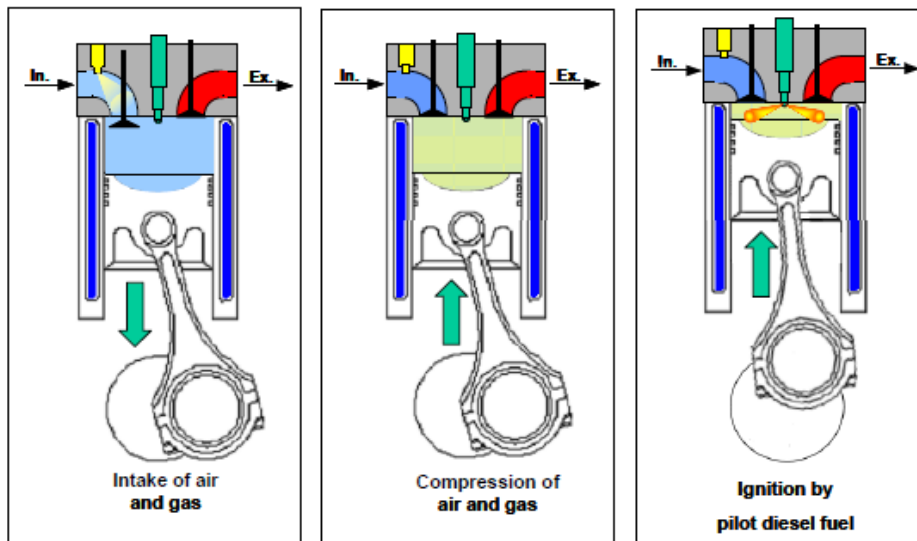
Εικόνα 14. . Wartsila 50DF, source: Wartsila

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)

Αν το πλοίο διαθέτει συμβατική μηχανή (Compact engine) τύπου MC-C (Camshaft controlled) τότε μπορεί να υποστεί μια μετατροπή και να γίνει ME-GI (Electronically controlled, Gas Injection) διαφορετικά θα πρέπει να αντικαταθεί από μία καινούργια DF.

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες κινητήρων για την χρήση LNG ως καύσιμου για την κίνηση πλοίων. Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται κινητήρες διπλού καυσίμου, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιούν είτε με πετρέλαιο είτε με LNG και η καύση μπορεί να γίνεται τόσο σε δύο όσο και σε τέσσερις χρόνους. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει κινητήρες οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν χρησιμοποιώντας μόνο καύσιμο σε αέρια μορφή.

Τετράχρονος Κινητήρας Διπλού καυσίμου (κύκλος Otto)

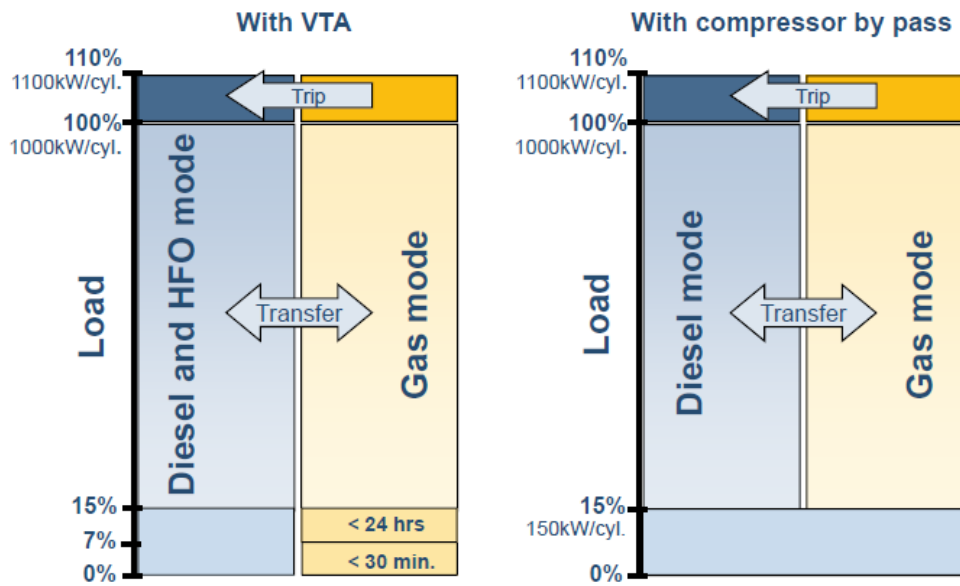


Εικόνα 15. Κύκλος Otto

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)

Οι ναυτικοί κινητήρες διπλού καυσίμου αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιούνται σε πλοία μεταφοράς LNG, προκειμένου να αξιοποιηθεί η εξάτμιση του μεταφερόμενου υγρού αερίου. Το LNG μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο, όταν το πλοίο λειτουργεί σε περιοχές SECA και το απλό πετρέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκτός SECA καθώς και σε περιοχές όπου το αέριο καύσιμο δεν είναι διαθέσιμο. Η αρχή λειτουργίας για χρήση LNG βασίζεται στον κύκλο Otto και ο κύκλος Diesel είναι η βάση για τη λειτουργία με καύσιμο πετρελαίου. Η πηγή ανάφλεξης κατά τη λειτουργία LNG είναι μια μικρή ποσότητα του πετρελαίου, “pilot fuel” (περίπου 1% MCR fuel), το οποίο εγχέεται και αναφλέγεται από τη θερμότητα που παράγεται από τη συμπίεση. Η καύση του πετρελαίου αποτελεί την πηγή ανάφλεξης για το αέριο που εγχέεται σε χαμηλή πίεση.

Οι μηχανές διπλού καυσίμου χαμηλής πίεσης έχουν την παρακάτω αναλογία καυσίμου σε διάφορες καταστάσεις φόρτισης της μηχανής.

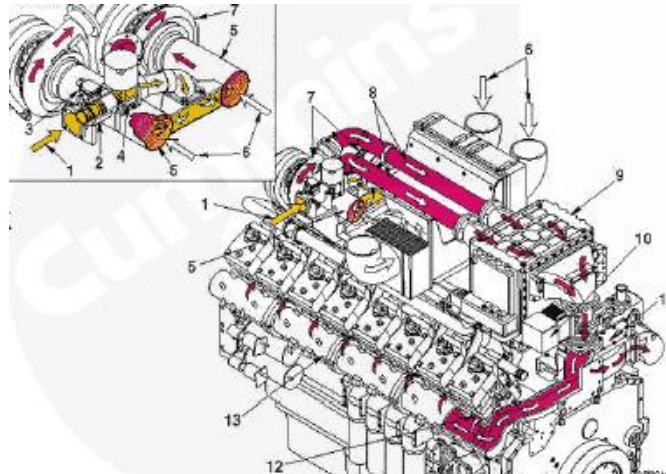


Εικόνα 16. Αναλογία καυσίμων σε διάφορες φορτίσεις

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)

Ο κύκλος Otto απαιτεί χαμηλής πίεσης αέριο καύσιμο. Στις μηχανές κύκλου Otto παρατηρείται το φαινόμενο “methane slip”. Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι οι μηχανές κύκλου Otto ικανοποιούν και τους κανονισμούς IMO Tier III που αφορούν τα NO_x Συστήματα χαμηλής πίεσης που χρησιμοποιούνται στις μηχανές κύκλου Otto:

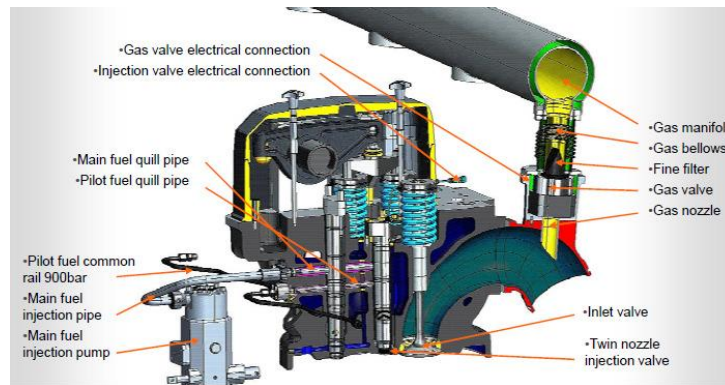
- Pre-mixed



Εικόνα 17. Σύστημα έκχυσης καυσίμου χαμηλής πίεσης

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)

- Port injection



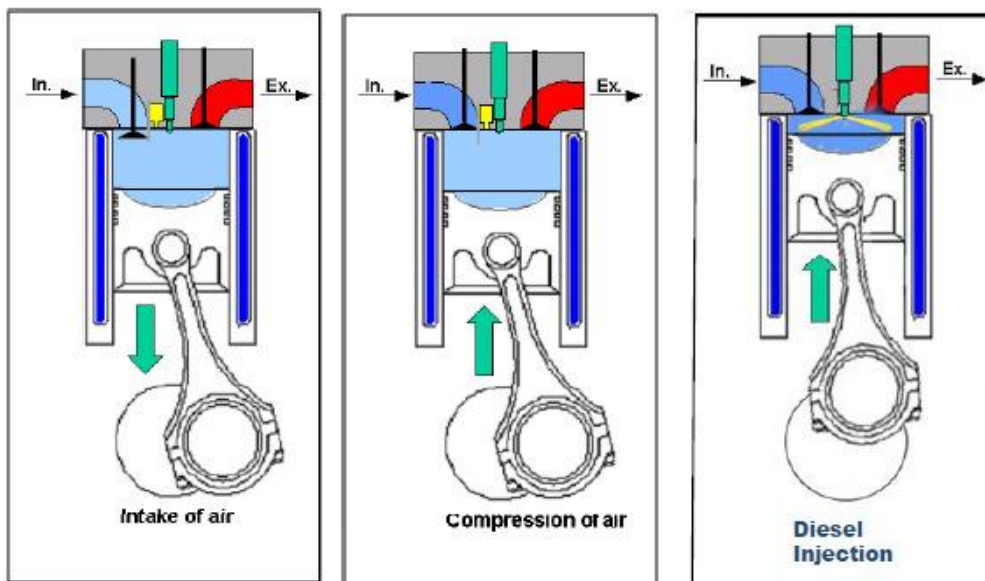
Εικόνα 18. Σύστημα έγχυσης καυσίμου χαμηλής πίεσης

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)

- Lean burn
- Pilot injection
- Spark ignition
- Micro pilot

Δίχρονος Κινητήρας Διπλού καυσίμου (κινητήρας Diesel)

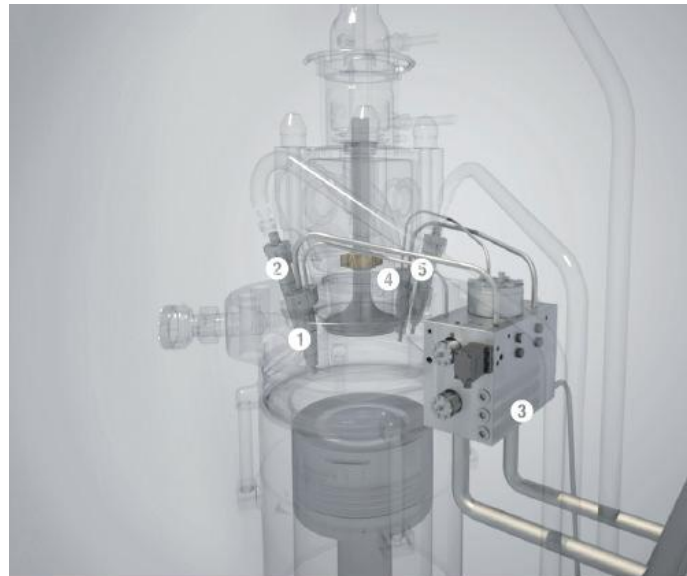
Η τεχνολογία αυτού του κινητήρα εφαρμόζει έγχυση αερίου σε υψηλή πίεση (περίπου 300 bar) μαζί με “pilot fuel” (5% MCR fuel). Το πετρέλαιο αναφλέγεται πρώτο και το αέριο αναφλέγεται από την καύση του πετρελαίου. Αυτή η μηχανή μπορεί να χρησιμοποιεί μόνο καύσιμο πετρελαίου ή μίγμα φυσικού αερίου και πετρελαίου.



Εικόνα 19. Κύκλος Diesel

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)

Ακόμη, έχει το πλεονέκτημα να μην παρατηρείται καθόλου το φαινόμενο του “methane slip”. Οι μηχανές κύκλου Diesel απαιτούν υψηλής πίεσης αέριο και υπάρχει μόνο ένα σύστημα, το direct injection.



1. Gas injection valve, 2. Fuel valve, 3. Gas control block (GCB), 4. Sealing oil, 5. Pilot oil i.e. HFP or DO

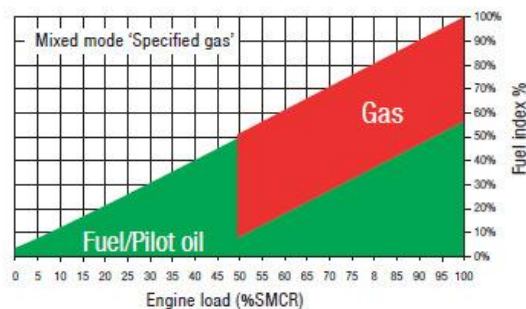
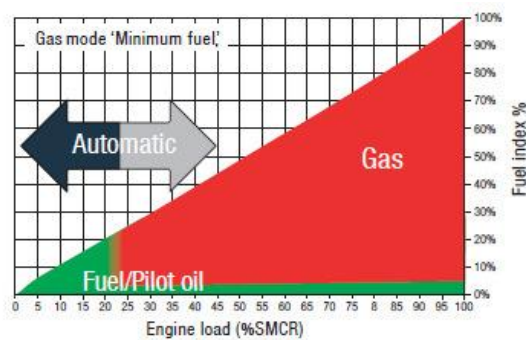
Εικόνα 20. Σύστημα έγχυσης καυσίμου

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for Gas fueled Ships)

Οι μηχανές διπλού καυσίμου υψηλής πίεσης έχουν την παρακάτω αναλογία καυσίμου σε διάφορες καταστάσεις φόρτισης της μηχανής.

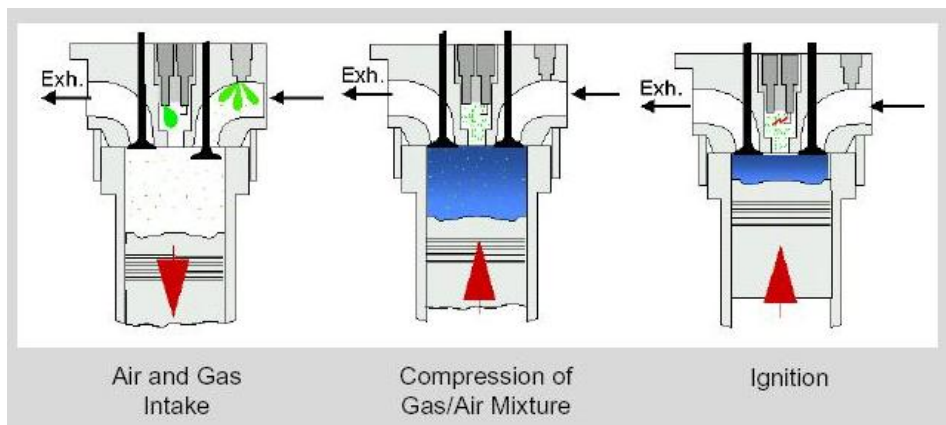
Πίνακας 5. Αναλογία καυσίμων σε διάφορες φορτίσεις

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for Gas fueled Ships)



Κινητήρας Καυσίμου Φυσικού Αερίου (Single fuel gas engines)

Ο κύκλος Otto/Miller αποτελεί τη βάση για τη λειτουργία αυτού του κινητήρα. Εφαρμόζεται τεχνολογία καύσης φτωχού μείγματος (lean burn) σε ένα κύκλο ανάφλεξης με σπινθήρα. Αντί ενός pilot fuel, ένα πλούσιο μίγμα αερίου/αέρα αναφλέγεται σε ένα προθάλαμο καύσεως, το οποίο σχηματίζει μια ισχυρή πηγή ανάφλεξης για το πολύ φτωχό μίγμα στον κύλινδρο. Αυτή η τεχνολογία εξασφαλίζει την υψηλή απόδοση και χαμηλές εκπομπές ρύπων (ικανοποιεί τους κανονισμούς IMO Tier III για τα διοξειδία του αζώτου), αλλά δεν επιτρέπει την ευελιξία της χρήσης και του πετρελαίου.



Εικόνα 21. Κύκλος Otto/Miller

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 6) διακρίνονται οι μειώσεις ανα αέριο ρύπο για τρεις μηχανές που καίνε LNG. Την single fuel (καταναλώνει μόνο LNG), την Dual Fuel medium speed (μεσόστροφες μηχανές που καίνε LNG και μικρές ποσότητες MGO) και την Dual Fuel slow speed (αργόστροφες μεσόστροφες μηχανές που καίνε LNG και μικρές ποσότητες MGO).

Πίνακας 6. Διαγραμματική απεικόνιση των ρύπων για κάθε μηχανή

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)

| | Single fuel spark ignition | Dual fuel medium speed | Dual fuel slow speed |
|------------|----------------------------|------------------------|----------------------|
| NOx | ↓ -85% | ↓ -85% | ↓ -24% |
| SOx | ↓ -99% | ↓ -95% | ↓ -92% |
| CO2 | ↓ -20% | ↓ -20% | ↓ -23% |
| Efficiency | ~ 40-48% | ~ 45% | ~ 50-55% |

2.3.2. Χώροι αποθήκευσης φυσικού αερίου

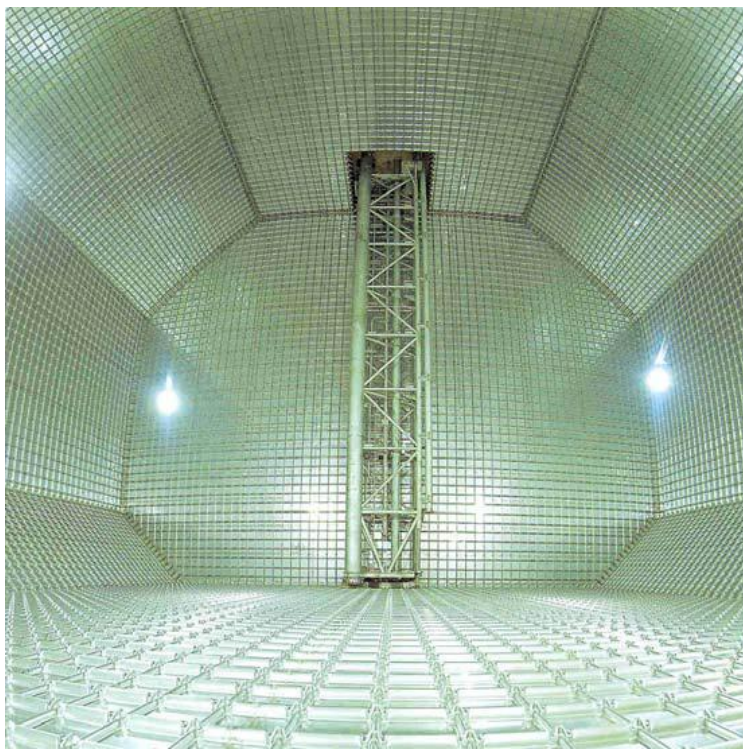
Οι προκλήσεις που υπάρχουν στην αποθήκευση του φυσικού αερίου είναι οι εξής :

- Η χαμηλή θερμοκρασία απαιτεί :
 - Ειδικά υλικά κατασκευής όπως ανοξείδωτο χαλυβα και αλουμίνιο
 - Ειδική μόνωση για να κρατηθεί το σημείο εξαέρωσης χαμηλά
 - Πρόβλεψη για την συστολή της δεξαμενής
- Η εύκολη ανάφλεξη και το χαμηλότερο βάρος όταν είναι πιο ζεστό από τον αέρα απαιτούν επαρκή εξαερισμό και άλλα μέτρα προστασίας
- Μεγαλύτερους όγκους δεξαμενών
- Τοποθεσία δεξαμενών

Υπάρχουν δύο ειδών δεξαμενές αποθήκευσης φυσικού αερίου στο πλοίο :

- a. Οι μεμβρανικές δεξαμενές
- b. Οι ανεξάρτητες δεξαμενές

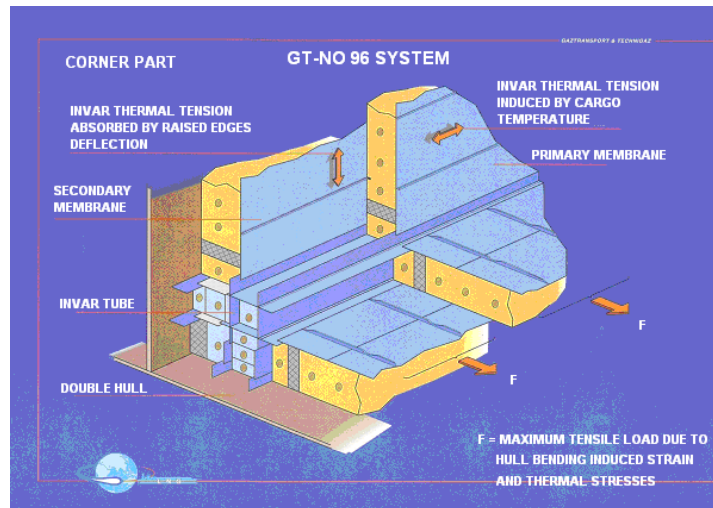
Μεμβρανικές δεξαμενές



Εικόνα 22. Δεξαμενή αποθήκευσης LNG

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)

Οι μεμβρανικές δεξαμενές χρησιμοποιούν τον διαθέσιμο χώρο αποτελεσματικά αλλά απαιτούν ένα δευτερογενές εμπόδιο σε περίπτωση διαρροής αερίου. Ακόμη, είναι ενισχυμένες με ένα σύστημα αζώτου και έναν ανιχνευτή αερίων για κάθε ξεχωριστό μονωμένο χώρο .



Εικόνα 23. Τομή μεμβρανικής δεξαμενής

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)

Ανεξάρτητες δεξαμενές

Υπάρχουν 2 ειδών ανεξάρτητες δεξαμενές οι:

- a. Type B και
- b. Type C (πεπεισμένες δεξαμενές)

Type B

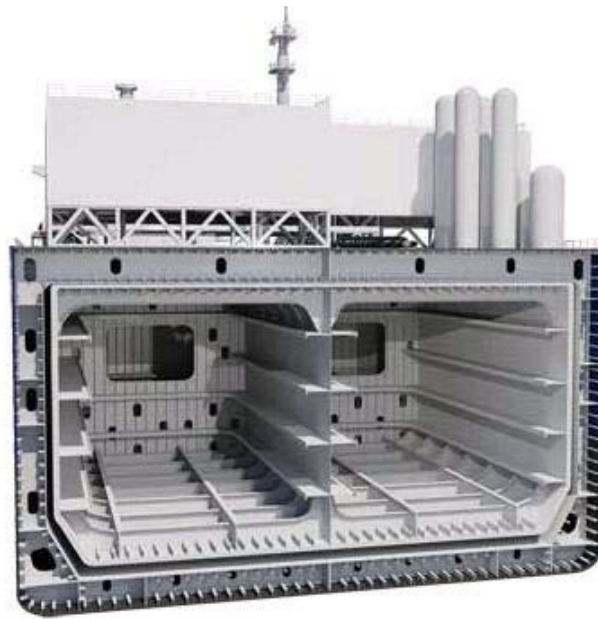


Εικόνα 24. Δεξαμενή αποθήκευσης LNG

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)

Για μεγάλη απαιτούμενη χωρητικότητα ενδείκνυται η Type B ανεξάρτητη δεξαμενή. Σύμφωνα με τον IGC Code η δεξαμενή πρέπει να είναι διαταγμένη έτσι ώστε να είναι δυνατή η παροχή πεπιεσμένου αδρανούς αερίου, να υπάρχει ένα δευτερογενές φράγμα και να παρέχεται επαρκή προστασία στον χάλυβα σε περίπτωση διαρροής αερίου.

Το πεπιεσμένο αδρανές αέριο αποτελείται από ξηρό αέρα και από το αδρανές αέριο πλήρωσης.



Εικόνα 25. Δεξαμενή αποθήκευσης LNG

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)

Type C



Εικόνα 26. Δεξαμενή αποθήκευσης LNG

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)

Οι ανεξάρτητες δεξαμενές τύπου C είναι οι πιο διαδεδομένες διότι κατασκευάζονται για περιορισμένη χωρητικότητα. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η υψηλή πίεση του αερίου (περίπου 5 bar). Αυτό επιτρέπει την παροχή του απευθείας στις μηχανές, χωρίς προηγουμένως να έχει περάσει μέσα από αντλίες.

Υπάρχουν δύο ειδών δεξαμενές οι double skinned cylinders χωρητικότητας από 10-10.000 m³ και οι bilobe tanks χωρητικότητας 100-20.000 m³ . Οι οποίες τοποθετούνται είτε εσωτερικά είτε πάνω στο κατάστρωμα.



Εικόνα 27. Δεξαμενή αποθήκευσης LNG double skinned cylinders.

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)



Εικόνα 28. Δεξαμενή αποθήκευσης LNG bilobe tank.

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for ZGas fueled Ships)

2.3.3. Διάταξη πλοίου

Οι δεξαμενές αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου μπορούν να τοποθετηθούν είτε σε κάποιο ανοικτό κατάστρωμα είτε σε κάποιο εσωτερικό χώρο.

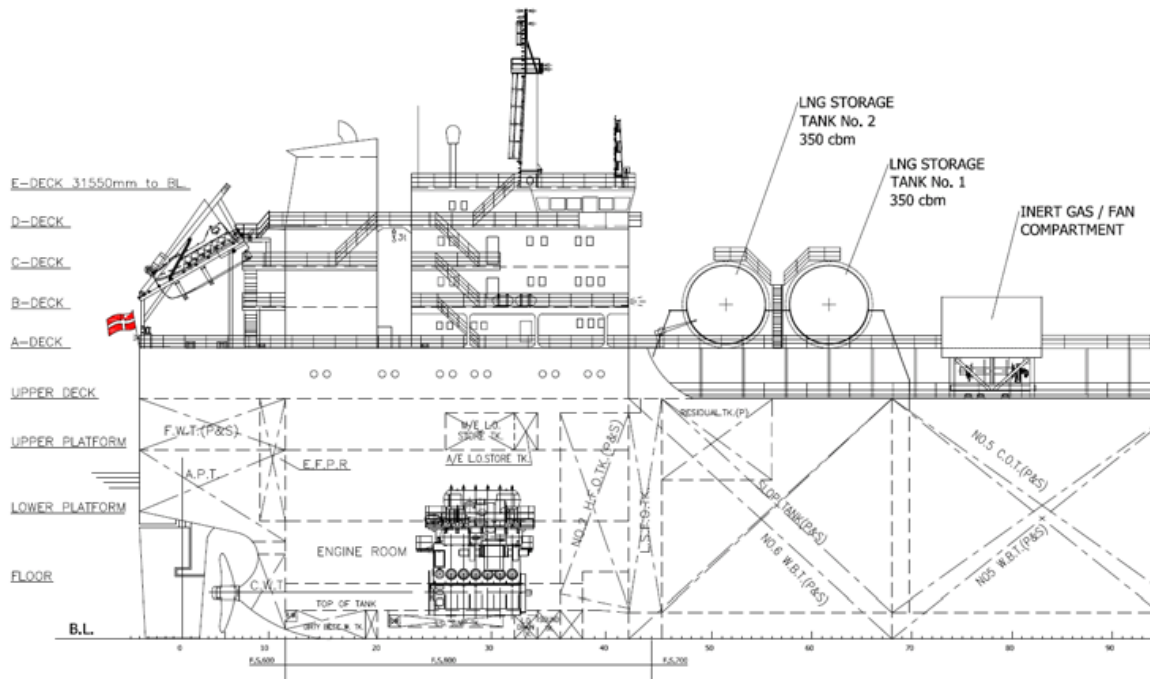
Οι δεξαμενές που θα τοποθετηθούν σε ανοικτό κατάστρωμα έχουν τους παρακάτω περιορισμούς.

- Να βρίσκονται Β/5 απόσταση από την γάστρα. Σε πλοία που δεν μεταφέρουν επιβάτες, οι δεξαμενές μπορούν να τοποθετηθούν πιο κοντά στην άκρη του καταστρώματος. Αυτό εξαρτάται από τον όγκο της δεξαμενής και κυμαίνεται από 0.8-2.0 m αλλά ποτέ λιγότερο από 800mm.
- Να βρίσκονται σε σημείο όπου υπάρχει επαρκής φυσικός αερισμός



Εικόνα 29. Δεξαμενές LNG σε bulk carrier

(Πηγή: Green Ship of the Future)

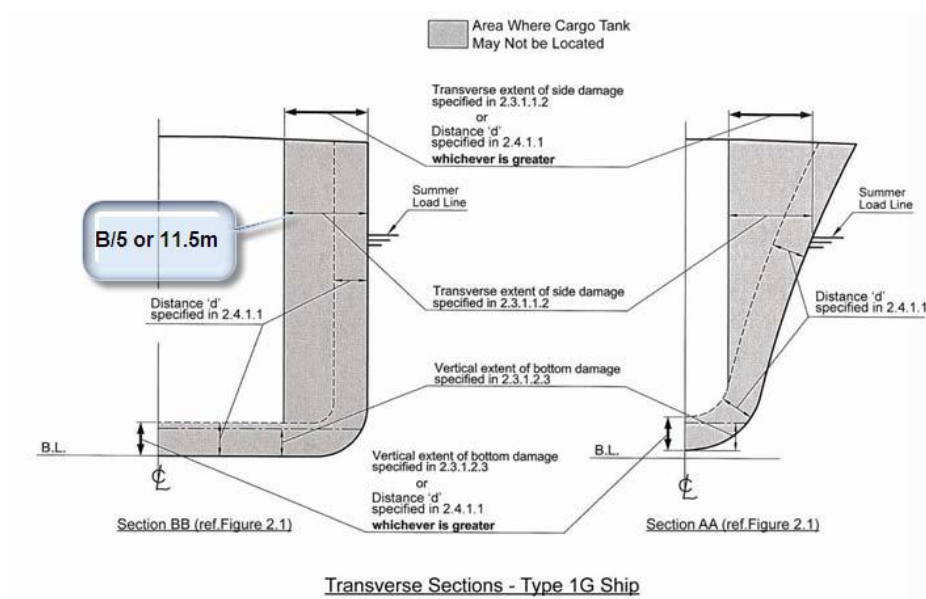


Εικόνα 30. Σχέδιο γενικής διάταξης στο χώρο του μηχανοστασίου.

(Πηγή: Green Ship of the Future)

Οι δεξαμενές που θα τοποθετηθούν σε κλειστούς χώρους πρέπει να ακολουθούν τους παρακάτω κανονισμούς:

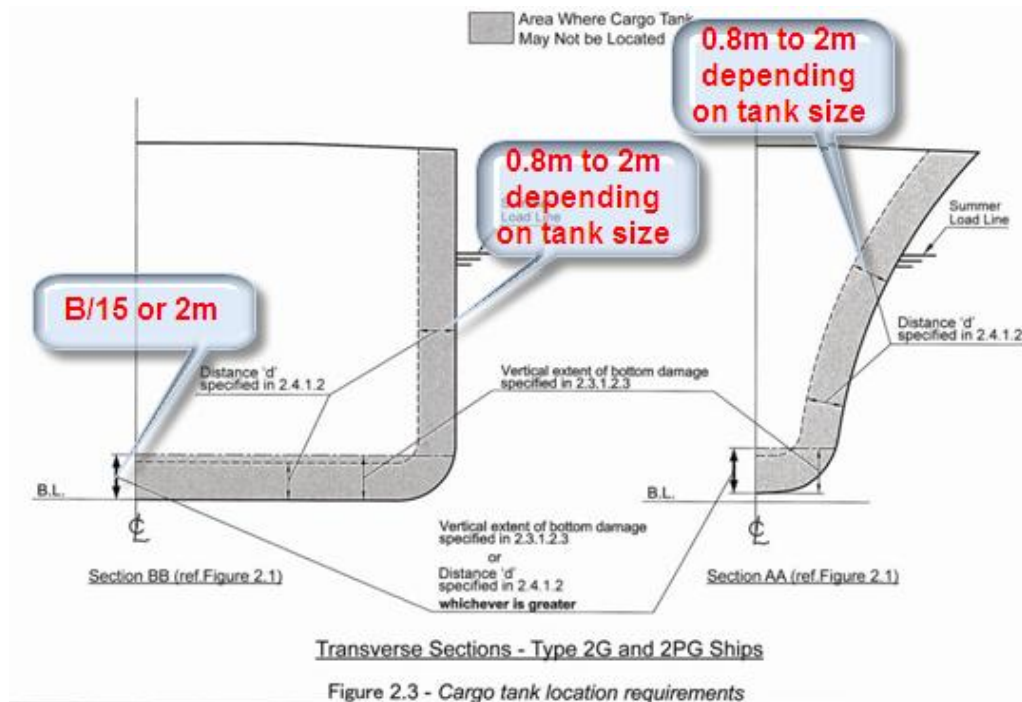
- Μέγιστη πίεση αερίου 10 bar
- Να βρίσκεται απόσταση $B/5$ ή 11.5 m από την γάστρα.



Εικόνα 31. Ελάχιστη απόσταση δεξαμενής LNG από το περίβλημα του πλοίου

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for Gas fueled Ships)

- Να βρίσκεται απόσταση $B/15$ ή 2 m από τον πυθμένα. Σε πλοία που δεν μεταφέρουν επιβάτες, οι δεξαμενές μπορούν να τοποθετηθούν πιο κοντά στην άκρη του καταστρώματος. Αυτό εξαρτάται από τον όγκο της δεξαμενής και κυμαίνεται από 0.8-2.0 m αλλά ποτέ λιγότερο από 800mm.



Εικόνα 32. Ελάχιστη απόσταση δεξαμενής LNG από το περίβλημα του πλοίου

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for Gas fueled Ships)

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η τοποθέτηση δεξαμενής LNG στο Viking Energy OSV όγκου 220 m^3 και πίεσης 9 bar.



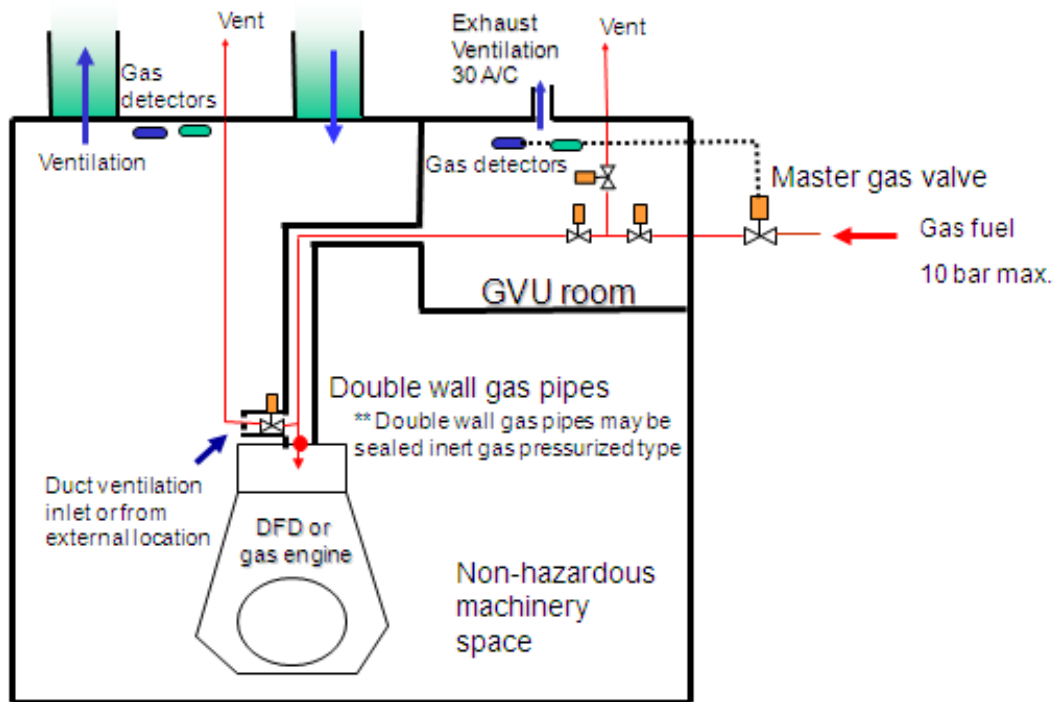
Εικόνα 33. Τοποθέτηση φορητής δεξαμενής LNG

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for Gas fueled Ships)

Εδώ πρέπει να αναφέρουμε πως η αμερικάνικη ακτοφυλακή δεν επιτρέπει την προσέγγιση των χωρικών της υδάτων από πλοία που φέρουν δεξαμενές κάτω από χώρους ενδιαίτησης καθώς και πλοία που φέρουν σώληνες μεταφοράς/παροχής φυσικού αερίου ή υγροποιημένου αερίου μονού τοιχώματος. Οι κατασκευαστικές λύσεις που υπάρχουν αναφέρουν είτε μονού είτε διπλού τοιχώματος. Για πρακτικούς λόγους θα ακολουθήσουμε τις επιταγές της αμερικανικής ακτοφυλακής.

2.3.3. Διάταξη μηχανοστασίου, χώρων παροχής και αποθήκευσης LNG και συστήματα ασφαλείας

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούν συνοπτικά οι κύριες αλλαγές που πρέπει να γίνουν για να χρησιμοποιηθεί το LNG ως καύσιμο αντί του HFO που χρησιμοποιείται μέχρι τώρα.



Εικόνα 34. Απεικόνιση μέσης τομής μηχανοστασίου

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for Gas fueled Ships)

Στο παραπάνω σχήμα φαίνονται τα κύρια τμήματα του μηχανοστασίου ενός πλοίου που καίει LNG. Διακρίνονται οι αγωγοί εξαερισμού και παροχής αέρα στην μηχανή, οι ανιχνευτές φωτιάς και αερίου και οι σωλήνες διπλού τοιχώματος. Στους σωλήνες αυτούς, υπάρχει χώρος όπου περιέχεται συμπιεσμένο αδρανές αέριο σε πίεση υψηλότερη αυτής του αερίου. Σε περίπτωση απώλειας πίεσεως του αδρανούς αερίου λόγω διαρροής του φυσικού αερίου ενεργοποιούνται τα συστήματα ασφαλείας. Ακόμη, στο σχήμα φαίνεται το GVU (Gas Valve Unit) room. Το GVU room είναι ένα πολύ σημαντικό τμήμα της εγκατάστασης του φυσικού αερίου καθώς ρυθμίζει την πίεση του τροφοδοτούμενου αερίου και διασφαλίζει την έγκαιρη και αξιόπιστη απενεργοποίηση του συστήματος παροχής αερίου.



Εικόνα 35. Εικόνα GVU room της Wartsila.

(Πηγή: ABS, 2011, LNG Powered Vessels and the ABS Guide for the propulsion and auxiliary Systems for Gas fueled Ships)

Για την παραπάνω δουλειά είναι υπεύθυνο ένα σετ “block and bleed” βαλβιδών. Το οποίο αποτελείται από δύο βαλβίδες ταχείας απενεργοποίησης και μια βαλβίδα εξαερισμού.

Το καύσιμο φτάνει στο GVU room μέσω του FGS (Fuel Gas Supply) System από τις δεξαμενές . Το σύστημα FGS πρέπει να είναι κατασκευασμένο κατάλληλα και να διαθέτει επαρκή συστήματα ασφαλείας προκειμένου να μπορεί να παρέχει στο αέριο με την απαιτούμενη πίεση και θερμοκρασία.

3. Οικονομικά στοιχεία retrofit και ανάλυση αποτελεσμάτων

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ασχοληθήκαμε με την μελέτη εφικτότητας μετατροπής συμβατικών πλοίων σε πλοία που καίνε LNG. Αφορμή στάθηκε η φημολογούμενη είσοδος της Μεσογείου και ενδεχομένως της Μαύρης θάλασσας στις ζώνες ECA. Έτσι, οδηγηθήκαμε στην ανάγκη να ερευνήσουμε, πάντα από την οικονομική σκοπιά σε συνδυασμό όμως με την τεχνολογική εφικτότητα, τρόπους αντιμετώπισης/συμμόρφωσης με τους νέους κανονισμούς.

Οι τύποι πλοίων που μελετήθηκαν είναι containership και RoRo/RoPax. Έχει θεωρηθεί ένα υποθετικό σενάριο λειτουργίας καθ'όλη την διάρκεια του έτους μέσα σε ζώνη ECA (100% ζώνη ECA). Η επιλογή των πλοίων έγινε με βάση τις περιοχές λειτουργίας τους, έτσι ώστε να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο υποθετικό σενάριο και με βάση την ηλικία τους.

Τα containership που επιλέχθηκαν ήταν κατηγορίας feeder ώστε να εκτελούν ως επί το πλείστον μεσογειακούς πλόες και η ηλικία τους επιλέχθηκε να είναι τα 5 έτη αφού η διάρκεια ζωής τέτοιων πλοίων είναι περί τα 20 χρόνια. Το ένα containership επιλέχθηκε να φέρει αργόστροφη, δίχρονη μηχανή ενώ το δεύτερο μεσόστροφη, τετράχρονη.

Ενώ τα RoRo/RoPax επιλέχθηκαν από την ακτοπλοία. Δηλαδή, μελετήθηκαν πλοία που ενεργούν στο Αιγαίο και στην Αδριατική (100% ζώνες ECA). Και η ηλικία τους επιλέχθηκε στα 10 έτη (διάρκεια ζωής 30 έτη).

Οι επιλογές για την συμμόρφωση με τους κανονισμούς αναφέρθηκαν παραπάνω και είναι MGO, Scrubber και LNG. Για κάθε μία λύση θα γίνει οικονομική μελέτη και θα γίνουν συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ τους. Η σύγκριση θα γίνει μέσω δύο δεικτών:

- a. PBP (PayBack Period)
- b. NPV (Net Present Value)

Εδώ πρέπει να αναφερθεί πως επειδή αναφερόμαστε στο ίδιο πλοίο αλλά για διαφορετικά σενάρια στα οικονομικά στοιχεία δεν λαμβάνουμε υπόψιν καθόλου τα έσοδα του πλοίου παρά μόνο τα έξοδα. Θεωρούμε δηλαδή πως οποιαδήποτε λύση και αν προτιμήσει ο πλοιοκτήτης ο ναύλος που θα πάρει για το πλοίο θα είναι ίδιος και για τις τρεις περιπτώσεις και πως οι ναυλώσεις δεν θα εξαρτώνται από το καύσιμο που θα καίει.

Άρα, ο δείκτης NPV αναφέρεται στις ροές των εξόδων από την στιγμή που θα ξεκινήσουν οι εργασίες μετατροπής μέχρι το 10^ο οικονομικό έτος και μας δείχνει την παρούσα αξία των κεφαλαίων που έχουν δαπανηθεί κατά την διάρκεια των 10 ετών. Αυτά, τα κεφάλαια αφορούν το αρχικό κόστος κτήσης και το κόστος καυσίμου.

Ο υπολογισμός του αρχικού κόστους κτήσης έγινε με βάση την εγκατεστημένη ισχύ της κύριας μηχανής και των βοηθητικών μηχανών. Και περιλαμβάνει όλα τα συστήματα, βοηθητικά και ασφαλείας, που απαιτούνται για την μετατροπή του πλοίου. Τα στοιχεία πάρθηκαν από την MAN και την Wärtsilä. Ο υπολογισμός του αρχικού κόστους κτήσης αναφέρεται αναλυτικά σε κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα προσπαθήσουμε να ερμηνεύσουμε την οικονομική συμπεριφορά των πλοίων σε σχέση με την διάμορφωση της εκάστοτε τιμής του spread.

Επιλογή MGO:

Πίνακας 7. Αρχικό κόστος MGO

(Πηγή: Danish Maritime Authority)

| | | |
|--|---------|--------------------------|
| Investment motor conversion/fuel cooler/fuel pumps | 130,000 | € |
| Investment SCR | 45 | €/kW _{main+aux} |
| Installation cost SCR/ EGR | 9 | €/kW _{main+aux} |

Επιλογή Scrubber

Πίνακας 8. Αρχικό κόστος Scrubber

(Πηγή: Danish Maritime Authority)

| | | |
|----------------------------|-----|--------------------------|
| Investment scrubber | 150 | €/kW _{main} |
| Investment SCR | 45 | €/kW _{main+aux} |
| Installation cost Scrubber | 225 | €/kW _{main} |
| Installation cost SCR/EGR | 9 | €/kW _{main+aux} |

Επιλογή LNG

a. Δίχρονος

Πίνακας 9. Αρχικό κόστος Scrubber

(Πηγή: Danish Maritime Authority)

| | | |
|--|-----|--------------------------|
| Investment LNG fuel gas supply system + tank | 245 | €/kW _{main} |
| Investment conversion HFO→LNG/HFO | 40 | €/kW _{main} |
| Installation cost | 150 | €/kW _{main+aux} |
| Investment SCR (incl.installation new built) | 45 | €/kW _{main+aux} |
| Installation cost SCR/EGR | 9 | €/kW _{main+aux} |

b. Τετράχρονος

Πίνακας 10. Αρχικό κόστος Scrubber

(Πηγή: Danish Maritime Authority)

| | | |
|--|-----|--------------------------|
| Investment LNG fuel gas supply system + tank | 245 | €/kW _{main} |
| Investment conversion HFO→LNG/HFO | 175 | €/kW _{main} |
| Installation cost | 150 | €/kW _{main+aux} |

Αναφορικά με τον υπολογισμό του κόστους καυσίμου έγινε ένας προσεγγιστικός υπολογισμός με βάση τις προσεγγίσεις που έκανε το κάθε πλοίο σε λιμένες το τελευταίο τρίμηνο. Αναλυτικότερα θα αναφερθούν παρακάτω, σε κάθε περίπτωση χωριστά.

Ο δείκτης PBP μας δείχνει σε πιο έτος θα κάνει απόσβεση η επένδυση. Αναγόμενο στην μέθοδο μας, δείχνει σε πιο έτος τα έξοδα της μίας επιλογής θα ισοσκελίσουν τα έξοδα της συγκρινόμενης άλλης επιλογής.

Όλα τα παραπάνω δίνονται με την μορφή διαγραμμάτων όπου στον άξονα X υπάρχει μία διασπορά τιμών μεταξύ των δύο συγκρινόμενων επιλογών. Η τιμή καυσίμου της μίας επιλογής μένει σταθερή και μεταβάλλεται η άλλη. Στον άξονα Y για τον δείκτη NPV υπάρχουν χρηματικές τιμές, ενώ στο PBP ο άξονας Y περιλαμβάνει έτη.

Ως ισοτιμία έχει επιλεγεί 1 euro = 1,3 dollars.

3.1 Οικονομική μελέτη πλοίων εμπορευματοκιβωτίων

Τα πλοία που μελετήθηκαν ήταν πλοία μεταφοράς container περίπου 1500 TEU. Τα ταξίδια που πραγματοποιήσαν ήταν κυρίως σε κοντινές αποστάσεις. Έτσι, μπορούν να θεωρηθούν ως πλοία που θα δρουν 100% σε μία ζώνη ECA. Το ένα πλοίο έφερε δίχρονο κινητήρα της MAN και το άλλο τετράχρονο κινητήρα της Wartsila.

3.1.1. Δίχρονο containership

Πίνακας 11. Διαστάσεις πλοίου και ισχύς μηχανής

(Πηγή: www.sea-web.com)

| Ship type | Containership |
|-----------------------|-----------------------|
| Year Built | 2008 |
| GT | 16162 |
| DWT (t) | 17,350 |
| Speed (kn) | 19.3 |
| L _{BP} | 149.6 |
| L _{OA} | 161.3 |
| B | 25 |
| D | 14.9 |
| T | 9.5 |
| Main Engine (kW) | 12640 |
| TEU | 1350 |
| Τύπος μηχανής | 2-X |
| Auxilliary generators | 2 x 1520, 2 x 1140 kW |

Υπολογισμός αρχικού κόστους κτήσης:

Πίνακας 12. Αρχικό κόστος retrofit 2X Containership για κάθε επιλογή

| Επιλογή | € | \$ |
|----------|-----------|-----------|
| MGO | 1,114,960 | 1,449,448 |
| Scrubber | 5,724,960 | 7,442,448 |
| LNG | 7,323,360 | 9,520,368 |

Το αρχικό κόστος κτήσης για την επιλογή του LNG είναι 1.3 φορές μεγαλύτερο από την επιλογή του Scrubber και απαιτεί περίπου 2 εκατ. Δολλάρια μεγαλύτερο αρχικό κεφάλαιο. Ακόμη, έχει 6,5 φορές μεγαλύτερο κόστος από αυτή που χρησιμοποιεί MGO και χρειάζεται περίπου 8 εκατ. Δολλάρια μεγαλύτερο αρχικό κεφάλαιο.

Η επιλογή του Scrubber είναι 5 φορές ακριβότερη από αυτήν του MGO με αρχικό κεφάλαιο περίπου 6 εκατ. Δολλάρια μεγαλύτερο.

Στον υπολογισμό των ετήσιων λειτουργικών εξόδων έχουν γίνει οι εξής παραδοχές :

A. Στην επιλογή Scrubber οι βοηθητικές μηχανές λειτουργούν με MGO

B. Ο ετήσιος χρόνος λειτουργίας του πλοίου έχει χωριστεί σε τέσσερις κατηγορίες:

- Λειτουργία σε ανοικτή θάλασσα όπου η κύρια μηχανή λειτουργεί στο 80% της μέγιστης συνεχόμενης φόρτωσης, ενώ οι βοηθητικές στο 85% του MCR. Από τις τρεις ηλεκτρογεννήτριες θεωρήθηκε πως είναι σε λειτουργία μόνο η μία. Αυτός ο χρόνος εκτιμήθηκε στις 4985 ώρες, περίπου 208 μέρες.

- Λειτουργία σε κατάσταση ρελαντί (idling και manuevering). Εδώ η μηχανή δουλεύει στο 35% του MCR. Οι βοηθητικές δουλεύουν στο 85% αλλά τώρα δουλεύουν δύο ηλεκτρογεννήτριες, προκειμένου να υποστηρίξουν την λειτουργία του bow thruster. Είναι το στάδιο κατά την προσέγγιση ή αναχώρηση από τον λιμένα. Ως χρόνος θεωρείται μισή ώρα έως μία ώρα πριν την άφιξη και μισή ώρα εως μία μετά την αναχώρηση. Αυτός ο χρόνος εκτιμήθηκε στις 1302 ώρες, περίπου 54 μέρες.

- Λειτουργία σε κατάσταση φόρτωσης-εκφόρτωσης. Εδώ η κύρια μηχανή είναι εκτός λειτουργίας και οι βοηθητικές μηχανές δουλεύουν στο 85% του MCR. Λόγω ίδιων φορτοεκφορτοτικών μέσων θεωρήθηκε πως θα δουλεύουν τρεις γεννήτριες. Εκτιμώμενος χρόνος 1860 ώρες, περίπου 78 μέρες.

- Δεξαμενισμός όπου θεωρήθηκε ότι καμία μηχανή δεν λειτουργεί. Περίπου 25 μέρες.

Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά οι ετήσιες καταναλώσεις στις προηγούμενες κατηγορίες. Στην επιλογή LNG το fuel που αναφέρεται είναι το pilot. Ενώ, στην επιλογή

scrubber το fuel που αναφέρεται στις βοηθητικές μηχανές είναι MGO διότι είμαστε εντός ζωνών ECA. Η κατανάλωση είναι σε ton/year.

Πίνακας 13. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση ανοικτής θαλάσσης 2X Containership

| | | Scrubber | MGO | LNG | |
|-----------------|------|----------|------------|----------|----------|
| | | | | | |
| Ανοιχτή θάλασσα | main | fuel | 9109.23008 | 8562.676 | 524.3103 |
| | | gas | 0 | 0 | 7038.469 |
| | aux | fuel | 1229.95503 | 1229.955 | 20.3388 |
| | | gas | 0 | 0 | 1010.16 |

Πίνακας 14. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση ρελαντί 2X Containership

| | | Scrubber | MGO | LNG | |
|---------|------|----------|------------|----------|----------|
| | | | | | |
| Ρελαντί | main | fuel | 1091.72596 | 1026.222 | 103.484 |
| | | gas | 0 | 0 | 781.274 |
| | aux | fuel | 642.488045 | 642.488 | 10.62432 |
| | | gas | 0 | 0 | 527.6746 |

Πίνακας 15. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση φόρτωσης 2X Containership

| | | Scrubber | MGO | LNG | |
|-------------------|------|----------|------------|----------|----------|
| | | | | | |
| Φόρτωση-εκφόρτωση | main | fuel | 0 | 0 | 0 |
| | | gas | 0 | 0 | 0 |
| | aux | fuel | 1253.11325 | 1253.113 | 20.8692 |
| | | gas | 0 | 0 | 1038.401 |

Πίνακας 16. Ετήσια κατανάλωση 2X Containership

| | | Solution | Scrubber | MGO | LNG |
|----------|-----|----------|------------|----------|----------|
| Συνολικά | HFO | | 10200.956 | - | - |
| | MGO | | 3125.55632 | 12714.46 | 679.6267 |
| | LNG | | - | - | 10395.98 |

Ήδη από τους παραπάνω πίνακες φαίνεται η μείωση στην κατανάλωση που επιτυγχάνει το LNG. Στους πίνακες που θα ακολουθήσουν θα φανούν οι οικονομικοί δείκτες με βάση την σύγκριση δύο σεναρίων κάθε φορά.

Τώρα θα εξεταστούν τα διαγράμματα NPV και PBP. Λόγω της μη καθορισμένης οικονομικής συμπεριφοράς της τιμής του LNG, θα δώσουμε έμφαση στα διαγράμματα

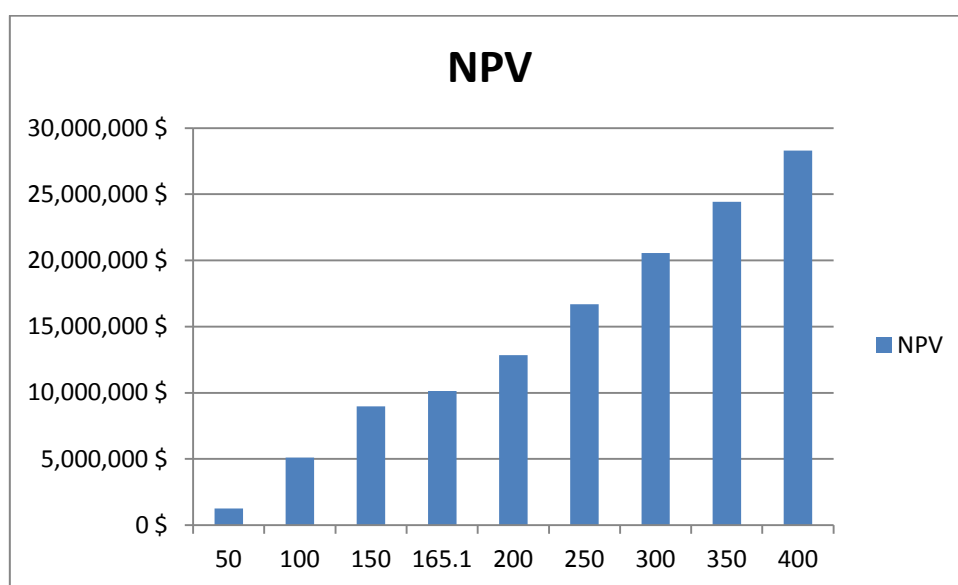
όπου αλλάζει η τιμή του LNG. Ενώ, όσον αφορά το σενάριο MGO VS Scrubber, θα αναφερθούμε στα διαγράμματα όπου μεταβάλλεται η τιμή του HFO.

Στις τιμές των καυσίμων έχουν συμπεριληφθεί και οι τιμές καυσίμων που αφορούν τα λιμάνια της Πάτρας και του Πειραιά σύμφωνα με την μελέτη του Αντώνιου Π.Δελλή.

MGO VS LNG

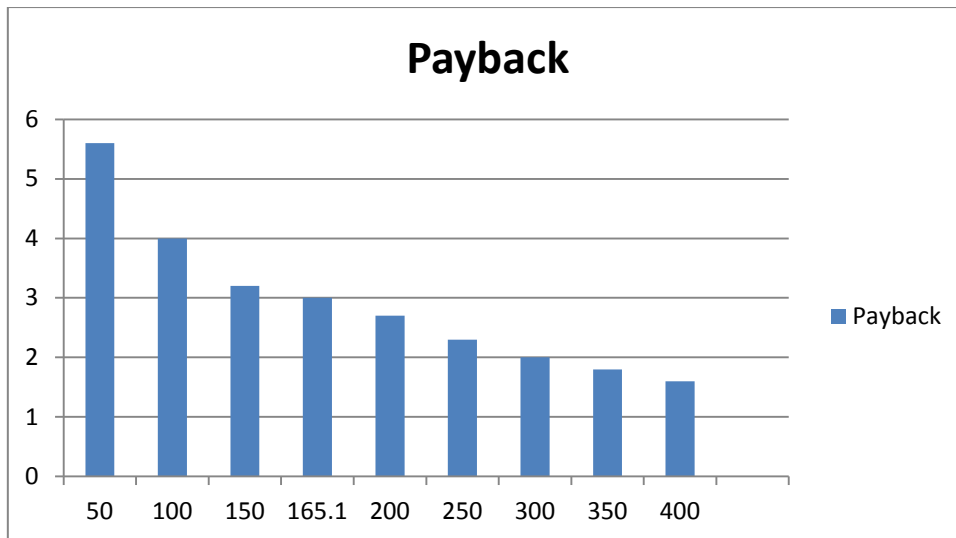
Στους πρώτους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του MGO, ενώ η τιμή του LNG παραμένει σταθερή (= 600\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή MGO} - \text{Τιμή LNG}$$



Εικόνα 36. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO

Τιμή MGO (\$/ton): 650, 700, 750, 765.1, 800, 850, 900, 950, 1000

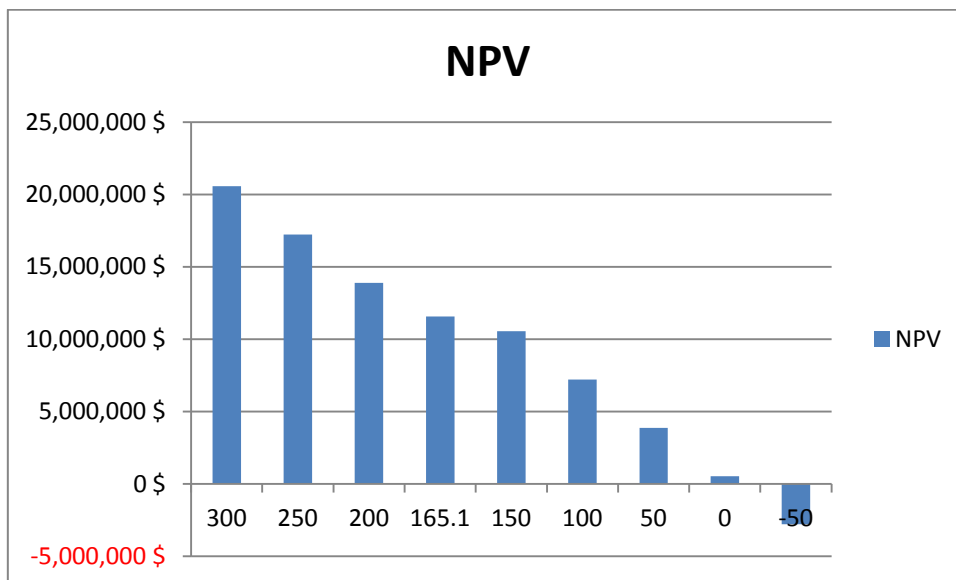


Εικόνα 37. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO

Τιμή MGO (\$/ton): 650, 700, 750, 765.1, 800, 850, 900, 950, 100

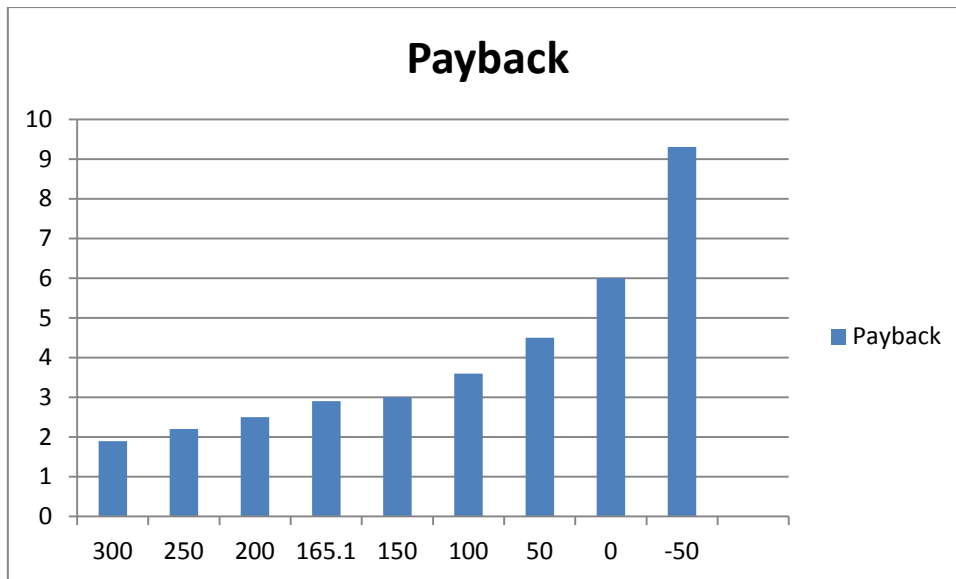
Στους επόμενους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του LNG, ενώ η τιμή του MGO παραμένει σταθερή (= 900\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή MGO} - \text{Τιμή LNG}$$



Εικόνα 38. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG

Τιμή LNG (\$/ton) : 600, 650, 700, 734.9, 750, 800, 850, 900, 950



Εικόνα 39. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG

Τιμή LNG (\$/ton) : 600, 650, 700, 734.9, 750, 800, 850, 900, 950

Η τιμή του spread 50 αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας και η τιμή του spread 165,1 αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά.

Στα διαγράμματα NPV και PBP γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του LNG τόσο πιο συμφέρουσα είναι η επένδυση σε αυτό παρά στο MGO. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την μελέτη μας παρουσιάζουν οι τιμές του Spread 165.1 που αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά και η τιμή 50 που αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας.

Για την τιμή του Πειραιά και σύμφωνα με το μοντέλο μας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το LNG έναντι του MGO είναι περίπου 11.5 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε MGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 3 χρόνια.

Παρόλο την μεγάλη διαφορά στο ύψος του αρχικού κεφαλαίου, η χρήση του LNG καταφέρνει να γίνει πιο επικερδής εξαιτίας της μειωμένης κατανάλωσης κυρίως και δευτερευόντως εξαιτίας της μικρότερης τιμής του LNG κατά 165.1 δολλάρια.

Για το spread του λιμανιού της Πάτρας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το LNG έναντι του MGO είναι περίπου 4 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε MGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 4.5 χρόνια. Όπως γράφτηκε προηγουμένως, η κύρια αιτία που κάνει ανταγωνιστικό το LNG είναι η μειωμένη κατανάλωση.

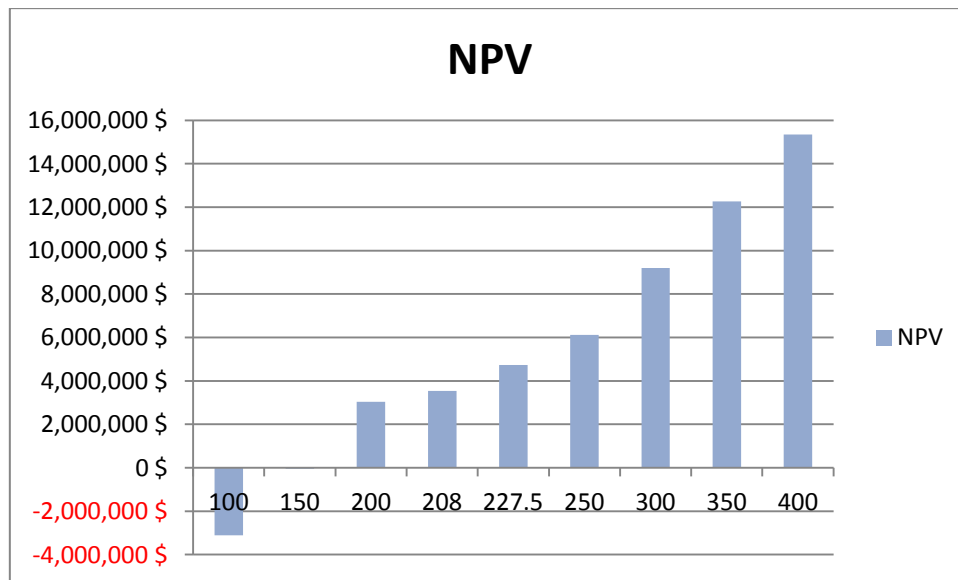
Έτσι, παρά την μικρή διαφορά του spread του LNG εξακολουθεί να παραμένει πιο ανταγωνιστικό από το MGO.

(Εδώ να τονίσουμε ότι για τον υπολογισμό του PBP γίνεται αθροιστικά μια πρόσθεση των ροών ανά έτος για κάθε μία επιλογή ξεχωριστά, οι οποίες δεν είναι ανηγμένες στο παρόν. Στη χρονική περίοδο που τα δύο αθροίσματα θα είναι ίσα, θεωρούμε το σημείο PBP).

MGO VS SCRUBBER

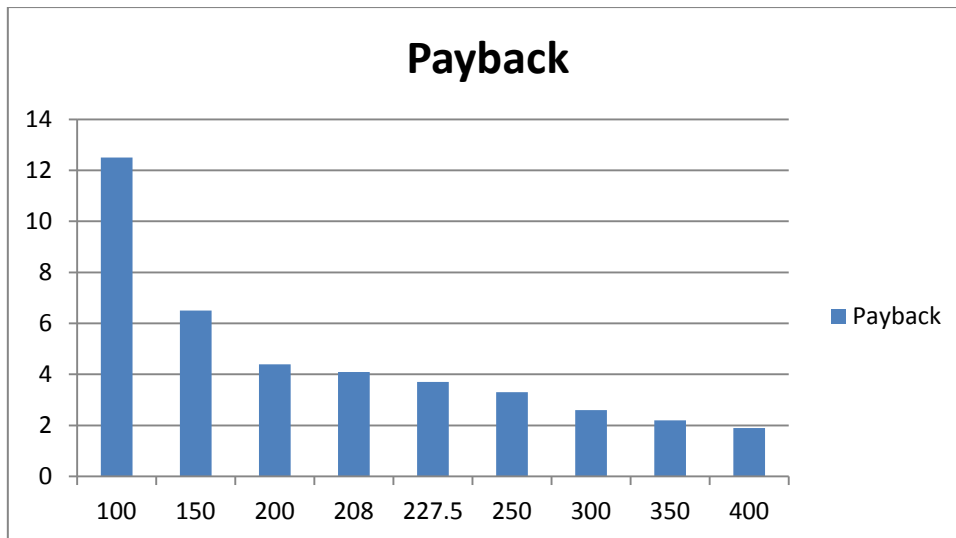
Στους πρώτους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του MGO, ενώ η τιμή του HFO παραμένει σταθερή (= 600\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή MGO} - \text{Τιμή HFO}$$



Εικόνα 40. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO

Τιμή MGO (\$/ton) : 700, 750, 800, 808, 827.5, 850, 900, 950, 1000

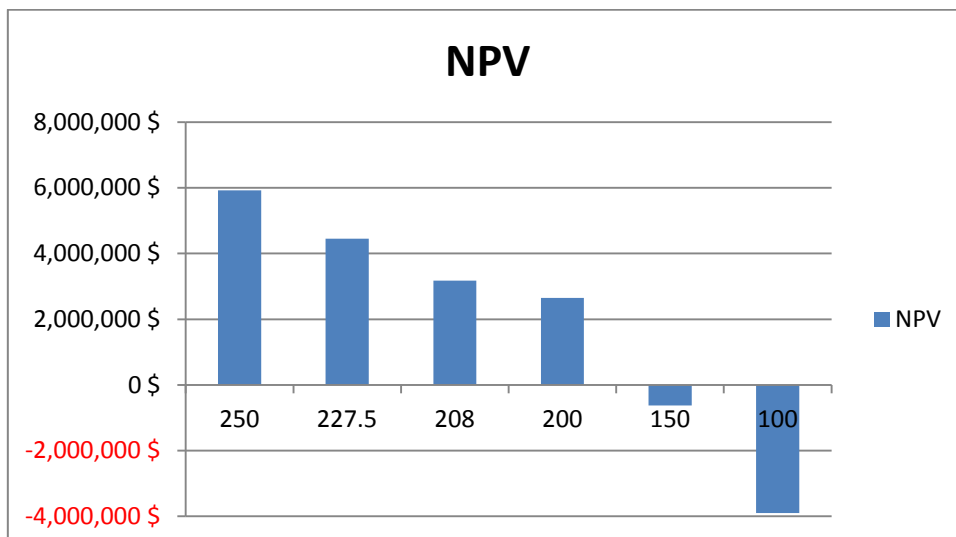


Εικόνα 41. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO

Τιμή MGO (\$/ton) : 700, 750, 800, 808, 827.5, 850, 900, 950, 1000

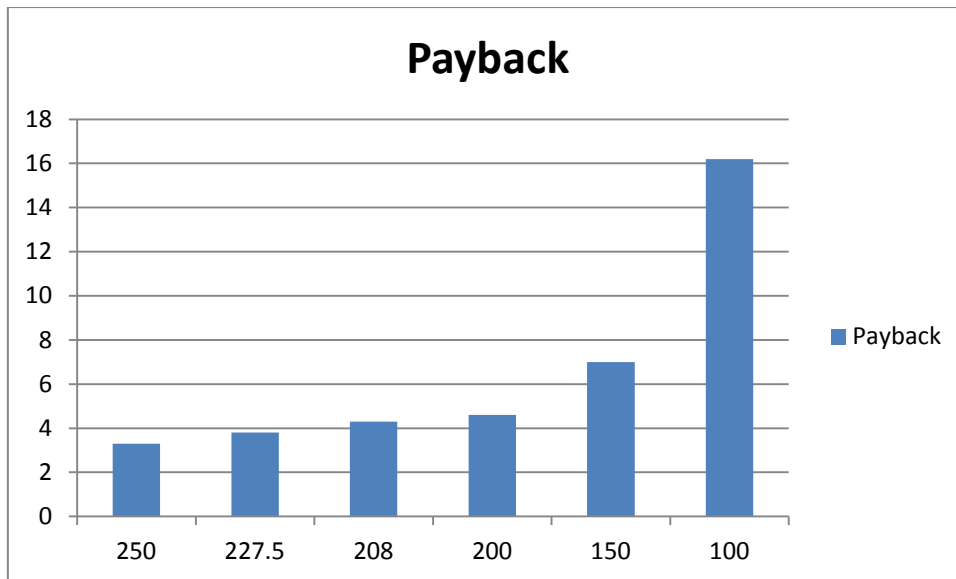
Στους επόμενους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του HFO, ενώ η τιμή του MGO παραμένει σταθερή (= 900\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή MGO} - \text{Τιμή HFO}$$



Εικόνα 42. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του HFO

Τιμή HFO (\$/ton) : 650, 672.5, 692, 700, 750, 800



Εικόνα 43. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του HFO

Τιμή HFO (\$/ton) : 650, 672.5, 692, 700, 750, 800

Η τιμή του spread 227,5 αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας και η τιμή του spread 208 αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά.

Στα διαγράμματα NPV και PBP γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του HFO τόσο πιο συμφέρουσα είναι η επένδυση σε αυτό παρά στο MGO. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την μελέτη μας παρουσιάζουν οι τιμές του Spread 208 που αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά και η τιμή 227.5 που αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας.

Για την τιμή του Πειραιά και σύμφωνα με το μοντέλο μας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το Scrubber έναντι του MGO είναι περίπου 3 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε MGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε scrubber κοντά στα 4.5 χρόνια.

Παρόλο την μεγάλη διαφορά στο ύψος του αρχικού κεφαλαίου, η χρήση του HFO καταφέρνει να γίνει πιο επικερδής εξαιτίας της αρκετά μικρότερης τιμής από αυτήν του MGO (περίπου 200 δολλάρια). Η μείωση στην κατανάλωση που επιφέρει η χρήση του MGO είναι πολύ μικρή για να συνεισφέρει σημαντικά στην μείωση των εξόδων.

Για το spread του λιμανιού της Πάτρας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το Scrubber έναντι του MGO είναι περίπου 4.5 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε MGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 4 χρόνια. Αυτή η

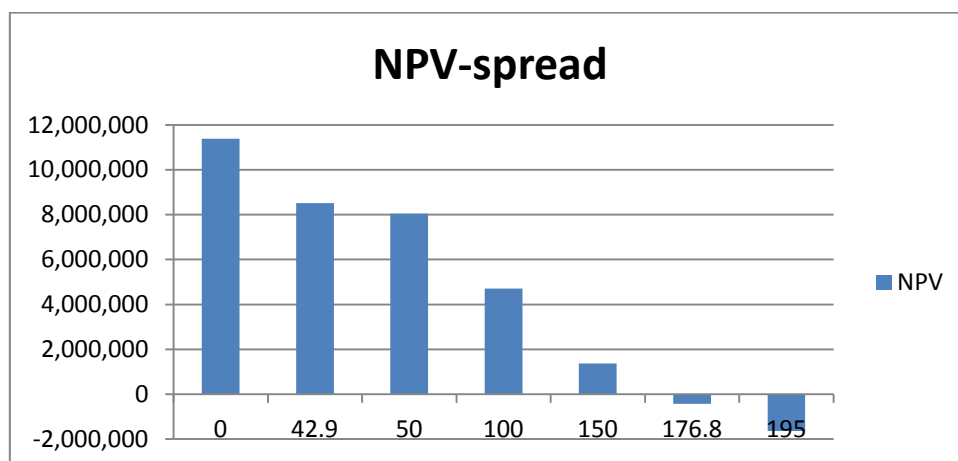
βελτίωση που παρατηρείται στα νούμερα σε σχέση με το λιμάνι της Πάτρας οφείλεται στην μεγαλύτερη τιμή που διαπραγματεύεται το MGO στο λιμάνι της Πάτρας σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή στο λιμάνι του Πειραιά. Όπως γράφτηκε προηγούμενως, η κύρια αιτία που κάνει ανταγωνιστικό το HFO σε σχέση με το MGO είναι η μειωμένη του τιμή καθώς η μείωση στην κατανάλωση είναι πολύ μικρή.

(Εδώ να τονίσουμε ότι για τον υπολογισμό του PBP γίνεται αθροιστικά μια πρόσθεση των ροών ανά έτος για κάθε μία επιλογή ξεχωριστά, οι οποίες δεν είναι ανηγμένες στο παρόν. Στη χρονική περίοδο που τα δύο αθροίσματα θα είναι ίσα, θεωρούμε το σημείο PBP).

LNG VS SCRUBBER

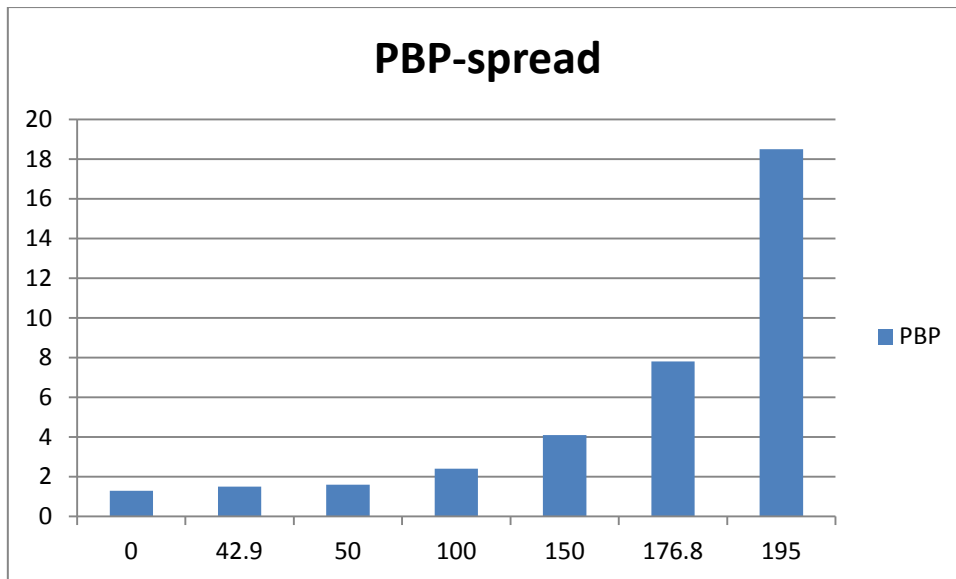
Στους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του LNG, ενώ η τιμή του HFO παραμένει σταθερή (= 600\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή LNG} - \text{Τιμή HFO}$$



Εικόνα 44. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG

Τιμή LNG (\$/ton) : 600, 642.9, 650, 700, 750, 776.8, 795



Εικόνα 45. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG

Τιμή LNG (\$/ton) : 600, 642.9, 650, 700, 750, 776.8, 795

Η τιμή του spread 176,8 αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας και η τιμή του spread 42,9 αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, αυτό το σενάριο θα μπορούσε κάλλιστα να ονομαστεί μειωμένη κατανάλωση εναντίον μειωμένης τιμής.

Στα διαγράμματα NPV και PBP γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του LNG τόσο πιο συμφέρουσα είναι η επένδυση σε αυτό παρά στο Scrubber. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την μελέτη μας παρουσιάζουν οι τιμές του Spread 42.9 που αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά και η τιμή 176.8 που αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας.

Για την τιμή του Πειραιά και σύμφωνα με το μοντέλο μας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μίας δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το LNG έναντι του HFO είναι περίπου 8.5 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε MGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στον 1.5 χρόνο.

Παρόλο την διαφορά στο ύψος του αρχικού κεφαλαίου, η χρήση του LNG καταφέρνει να γίνει πιο επικερδής εξαιτίας της μειωμένης κατανάλωσης αλλά και της ευθέως ανταγωνιστικής τιμής πώλησης του. Τα 42.9 παραπάνω δολλάρια στην τιμή πώλησης του δεν αρκούν για κάνουν την επένδυση σε LNG λιγότερο ελκυστική.

Για το spread του λιμανιού της Πάτρας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το LNG έναντι του Scrubber είναι αρνητική. Το NPV παίρνει την τιμή -0.5 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε Scrubber θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 8 χρόνια. Όπως γράφτηκε προηγούμενως, η κύρια αιτία που κάνει ανταγωνιστικό το LNG είναι η μειωμένη κατάλωση. Όμως η μεγάλη διαφορά στην τιμή πώλησης, περίπου 175 δολλάρια, αναιρεί αυτό το πλεονέκτημα και καθιστά την επένδυση μη κερδοφόρα σε βάθος δεκαετίας.

(Εδώ να τονίσουμε ότι για τον υπολογισμό του PBP γίνεται αθροιστικά μια πρόσθεση των ροών ανά έτος για κάθε μία επιλογή ξεχωριστά, οι οποίες δεν είναι ανηγμένες στο παρόν. Στη χρονική περίοδο που τα δύο αθροίσματα θα είναι ίσα, θεωρούμε το σημείο PBP).

3.1.2. Τετράχρονο containership

Πίνακας 17. Κύριες διαστάσεις και ισχύς μηχανής 4X containership

(Πηγή: www.sea-web.com)

| | |
|------------------------------|---------------------|
| Ship type | containership |
| Year Built | 2008 |
| GT | 14016 |
| DWT (t) | 18,091 |
| Speed (kn) | 18 |
| LBP | 143 |
| LOA | 159.4 |
| B | 24.81 |
| D | 14 |
| T | 9.5 |
| Main Engine (kW) | 10395 |
| TEU | 1267 |
| Τύπος μηχανής | 4-X |
| Auxilliary generators | 1 x 1600,3 x 804 kW |

Υπολογισμός αρχικού κόστους κτήσης:

Πίνακας 18. Αρχικό κόστος retrofit 2X Containership για κάθε επιλογή

| Επιλογή | € | \$ |
|----------|-----------|-----------|
| MGO | 907,330 | 1,179,529 |
| Scrubber | 4,675,455 | 6,078,091 |
| LNG | 6,525,150 | 8,482,695 |

Το αρχικό κόστος κτήσης για την επιλογή του LNG είναι 1.4 φορές μεγαλύτερο από την επιλογή του Scrubber και απαιτεί περίπου 2.4 εκατ. Δολλάρια μεγαλύτερο αρχικό κεφάλαιο. Ακόμη, έχει 7 φορές μεγαλύτερο κόστος από αυτή που χρησιμοποιεί MGO και χρειάζεται περίπου 7 εκατ. Δολλάρια μεγαλύτερο αρχικό κεφάλαιο.

Η επιλογή του Scrubber είναι 5 φορές ακριβότερη από αυτήν του MGO με αρχικό κεφάλαιο περίπου 5 εκατ. Δολλάρια μεγαλύτερο.

Στον υπολογισμό των ετήσιων λειτουργικών εξόδων έχουν γίνει οι εξής παραδοχές :

A. Στην επιλογή Scrubber οι βοηθητικές μηχανές λειτουργούν με MGO

B. Ο ετήσιος χρόνος λειτουργίας του πλοίου έχει χωριστεί σε τέσσερις κατηγορίες:

- Λειτουργία σε ανοικτή θάλασσα όπου η κύρια μηχανή λειτουργεί στο 80% της μέγιστης συνεχόμενης φόρτωσης, ενώ οι βοηθητικές στο 85% του MCR. Από τις τρεις ηλεκτρογεννήτριες θεωρήθηκε πως είναι σε λειτουργία μόνο η μία. Αυτός ο χρόνος εκτιμήθηκε στις 4985 ώρες, περίπου 208 μέρες.

- Λειτουργία σε κατάσταση ρελαντί (idling και manuevering). Εδώ η μηχανή δουλεύει στο 35% του MCR. Οι βοηθητικές δουλεύουν στο 85% αλλά τώρα δουλεύουν δύο ηλεκτρογεννήτριες, προκειμένου να υποστηρίξουν την λειτουργία του bow thruster. Είναι το στάδιο κατά την προσέγγιση ή αναχώρηση από τον λιμένα. Ως χρόνος θεωρείται μισή ώρα έως μία ώρα πριν την άφιξη και μισή ώρα εως μία μετά την αναχώρηση. Αυτός ο χρόνος εκτιμήθηκε στις 1302 ώρες, περίπου 54 μέρες.

- Λειτουργία σε κατάσταση φόρτωσης-εκφόρτωσης. Εδώ η κύρια μηχανή είναι εκτός λειτουργίας και οι βοηθητικές μηχανές δουλεύουν στο 85% του MCR. Λόγω ίδιων φορτοεκφορτωτικών μέσων θεωρήθηκε πως θα δουλεύουν τρεις γεννήτριες. Εκτιμώμενος χρόνος 1860 ώρες, περίπου 78 μέρες.

- Δεξαμενισμός όπου θεωρήθηκε ότι καμία μηχανή δεν λειτουργεί. Περίπου 25 μέρες.

Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά οι ετήσιες καταναλώσεις στις προηγούμενες κατηγορίες. Στην επιλογή LNG το fuel που αναφέρεται είναι το pilot. Ενώ, στην επιλογή

scrubber το fuel που αναφέρεται στις βοηθητικές μηχανές είναι MGO διότι είμαστε εντός ζωνών ECA. Η κατανάλωση είναι σε ton/year.

Πίνακας 19. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση ανοικτής θαλάσσης 4X Containership

| | | Scrubber | MGO | LNG | |
|-----------------|------|----------|------------|----------|----------|
| | | | | | |
| Ανοικτή θάλασσα | main | fuel | 7379.03628 | 6936.294 | 58.03736 |
| | | gas | 0 | 0 | 5845.192 |
| | aux | fuel | 1229.95503 | 1229.955 | 20.3388 |
| | | gas | 0 | 0 | 1010.16 |

Πίνακας 20. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση ρελαντί 4X Containership

| | | Scrubber | MGO | LNG | |
|---------|------|----------|------------|----------|----------|
| | | | | | |
| Ρελαντί | main | fuel | 876.345278 | 823.7646 | 0 |
| | | gas | 0 | 0 | 0 |
| | aux | fuel | 642.488045 | 642.488 | 10.62432 |
| | | gas | 0 | 0 | 527.6746 |

Πίνακας 21. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση φόρτωσης 4X Containership

| | | Scrubber | MGO | LNG | |
|-------------------|------|----------|------------|--------|----------|
| | | | | | |
| Φόρτωση-εκφόρτωση | main | fuel | 0 | 0 | 0 |
| | | gas | 0 | 0 | 0 |
| | aux | fuel | 1147.30008 | 1147.3 | 18.972 |
| | | gas | 0 | 0 | 946.0704 |

Πίνακας 22. Ετήσια κατανάλωση 4X Containership

| | | Solution | Scrubber | MGO | LNG |
|----------|-----|----------|------------|---------|----------|
| Συνολικά | HFO | | 8255.38156 | - | - |
| | MGO | | 3019.74316 | 10779.8 | 107.9725 |
| | LNG | | - | - | 8329.097 |

Ήδη από τους παραπάνω πίνακες φαίνεται η μείωση στην κατανάλωση που επιτυγχάνει το LNG. Στους πίνακες που θα ακολουθήσουν θα φανούν οι οικονομικοί δείκτες με βάση την σύγκριση δύο σεναρίων κάθε φορά.

Τώρα θα εξεταστούν τα διαγράμματα NPV και PBP. Λόγω της μη καθορισμένης οικονομικής συμπεριφοράς της τιμής του LNG, θα δώσουμε έμφαση στα διαγράμματα

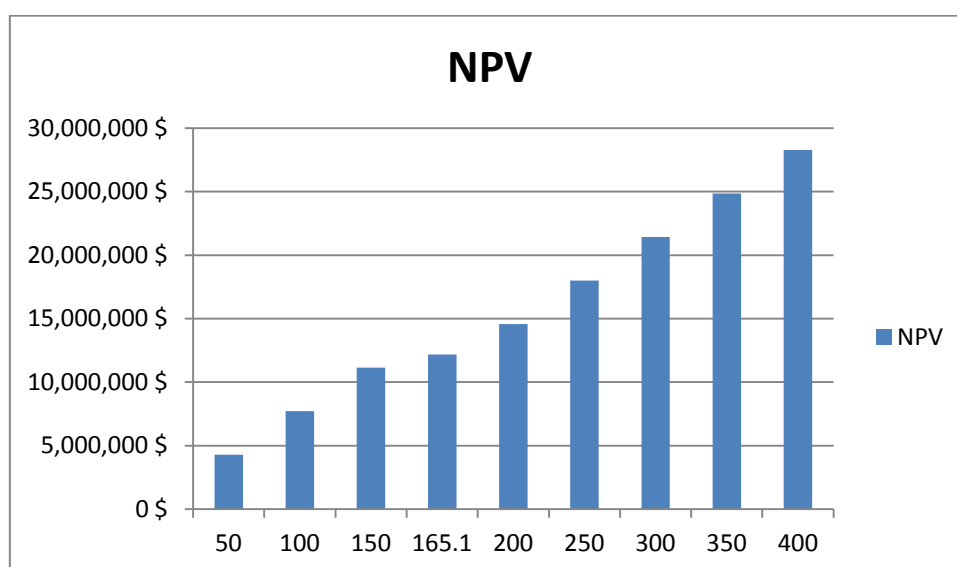
όπου αλλάζει η τιμή του LNG. Ενώ, όσον αφορά το σενάριο MGO VS Scrubber, θα αναφερθούμε στα διαγράμματα όπου μεταβάλλεται η τιμή του HFO.

Στις τιμές των καυσίμων έχουν συμπεριληφθεί και οι τιμές καυσίμων που αφορούν τα λιμάνια της Πάτρας και του Πειραιά σύμφωνα με την μελέτη του Αντώνιου Π.Δελλή.

MGO VS LNG

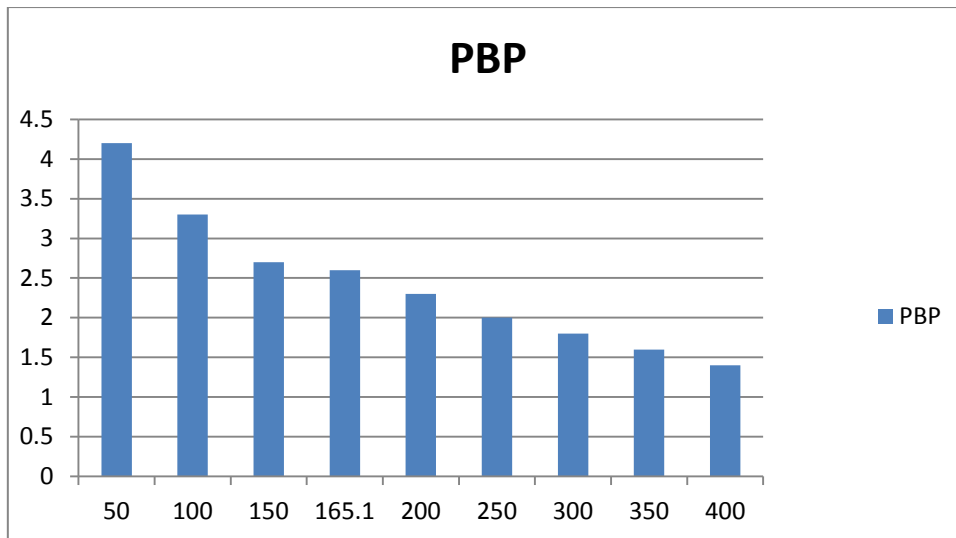
Στους πρώτους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του MGO, ενώ η τιμή του LNG παραμένει σταθερή (= 600\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή MGO} - \text{Τιμή LNG}$$



Εικόνα 46. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO

Τιμή MGO (\$/ton) : 650, 700, 750, 765,1, 800, 850, 900, 950, 1000

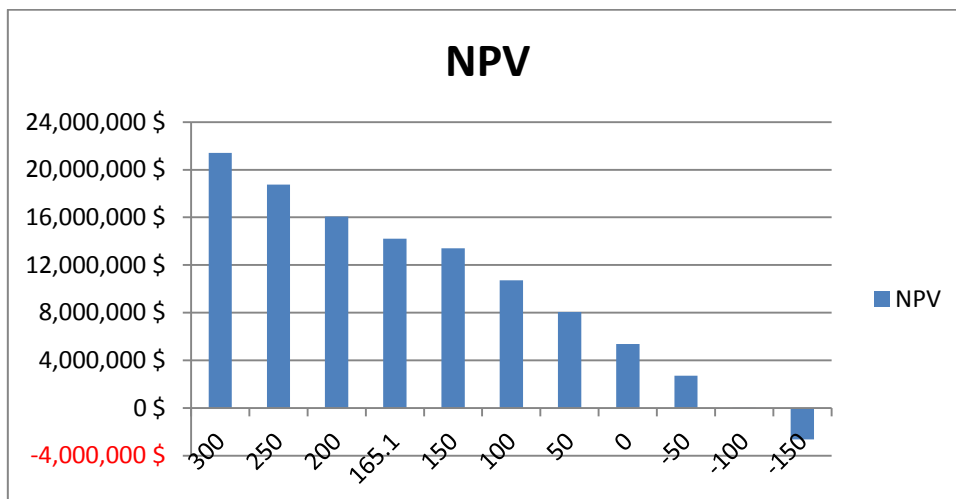


Εικόνα 47. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του ΜΟΧ

Τιμή ΜΟΧ (€/ton) : 650, 700, 750, 765,1, 800, 850, 900, 950, 1000

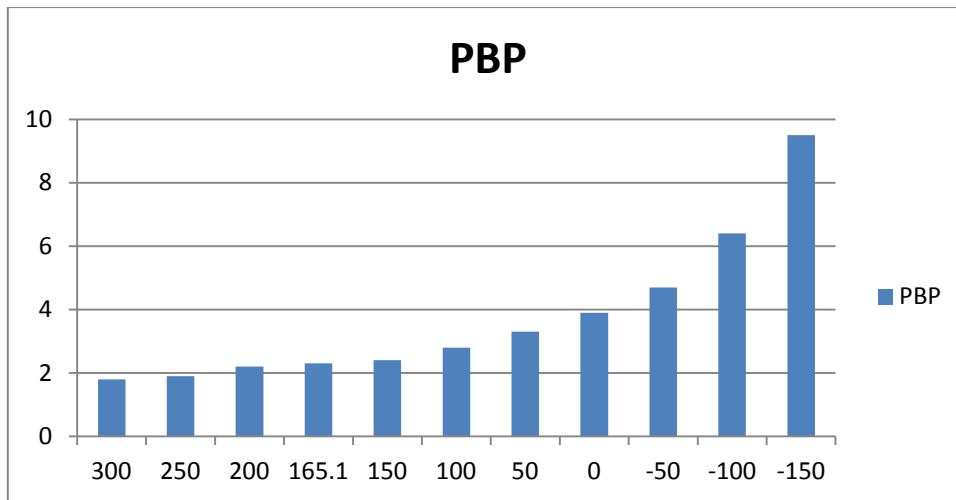
Στους επόμενους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του LNG, ενώ η τιμή του ΜΟΧ παραμένει σταθερή (= 900€/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή ΜΟΧ} - \text{Τιμή LNG}$$



Εικόνα 48. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG

Τιμή LNG (€/ton) : 600, 650, 700, 734.9, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1050



Εικόνα 49. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG

Τιμή LNG (\$/ton) : 600, 650, 700, 734.9, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1050

Η τιμή του spread 50 αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας και η τιμή του spread 165,1 αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά.

Στα διαγράμματα NPV και PBP γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του LNG τόσο πιο συμφέρουσα είναι η επένδυση σε αυτό παρά στο MGO. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την μελέτη μας παρουσιάζουν οι τιμές του Spread 165.1 που αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά και η τιμή 50 που αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας.

Για την τιμή του Πειραιά και σύμφωνα με το μοντέλο μας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μίας δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το LNG έναντι του MGO είναι περίπου 14 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε MGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 2.5 χρόνια.

Παρόλο την μεγάλη διαφορά στο ύψος του αρχικού κεφαλαίου, η χρήση του LNG καταφέρνει να γίνει πιο επικερδής εξαιτίας της μειωμένης κατανάλωσης κυρίως και δευτερευόντως εξαιτίας της μικρότερης τιμής του LNG κατά 165.1 δολλάρια.

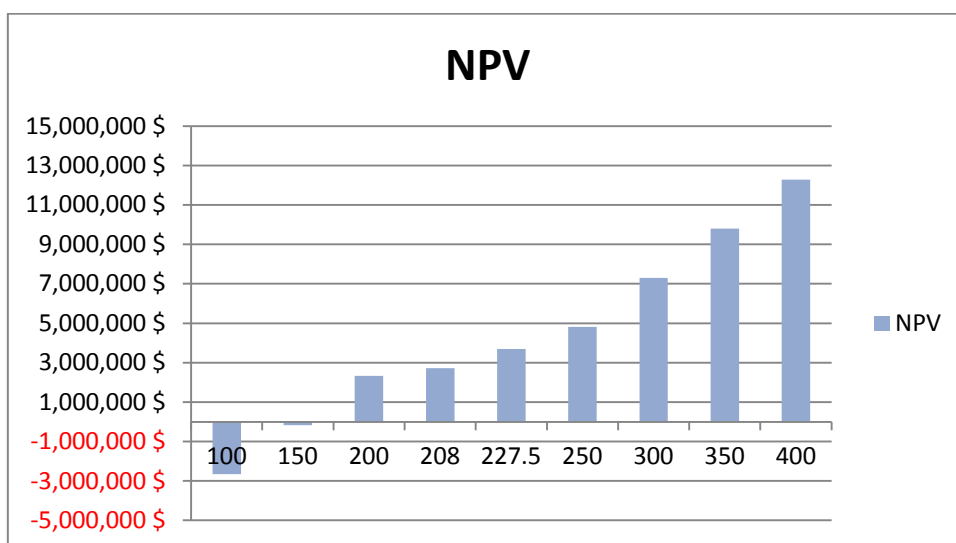
Για το spread του λιμανιού της Πάτρας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μίας δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το LNG έναντι του MGO είναι περίπου 8 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε MGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 3.5 χρόνια. Όπως γράφτηκε προηγούμενως, η κύρια αιτία που κάνει ανταγωνιστικό το LNG είναι η μειωμένη κατανάλωση. Έτσι, παρά την μικρή διαφορά του spread του LNG εξακολουθεί να παραμένει πιο ανταγωνιστικό από το MGO.

(Εδώ να τονίσουμε ότι για τον υπολογισμό του PBP γίνεται αθροιστικά μια πρόσθεση των ρών ανά έτος για κάθε μία επιλογή ξεχωριστά, οι οποίες δεν είναι ανηγμένες στο παρόν. Στη χρονική περίοδο που τα δύο αθροίσματα θα είναι ίσα, θεωρούμε το σημείο PBP).

MGO VS SCRUBBER

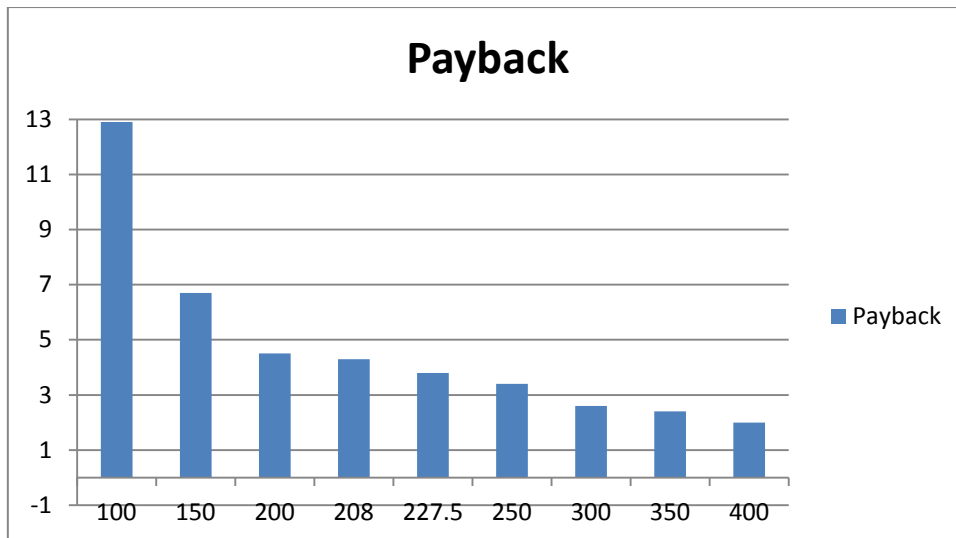
Στους πρώτους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του MGO, ενώ η τιμή του HFO παρμένει σταθερή (= 600\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή MGO} - \text{Τιμή HFO}$$



Εικόνα 50. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO

Τιμή MGO (\$/ton) : 700, 750, 800, 808, 827,5, 850, 900, 950, 1000

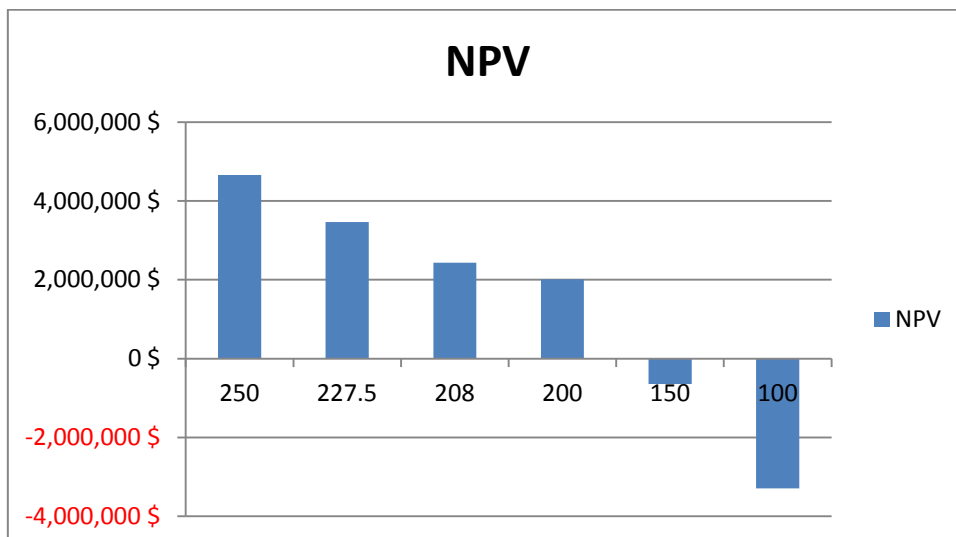


Εικόνα 51. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO

Τιμή MGO (\$/ton) : 700, 750, 800, 808, 827,5, 850, 900, 950, 1000

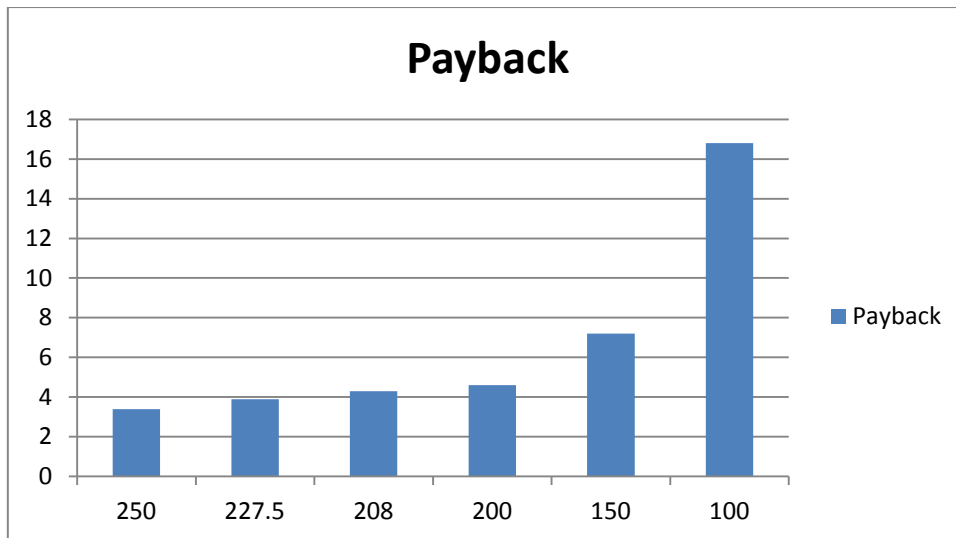
Στους επόμενους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του HFO, ενώ η τιμή του MGO παραμένει σταθερή (= 900\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή MGO} - \text{Τιμή HFO}$$



Εικόνα 52. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του HFO

Τιμή HFO (\$/ton) : 650, 672.5, 692, 700, 750, 800



Εικόνα 53. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του ΗΦΟ

Τιμή ΗΦΟ (\$/ton) : 650, 672.5, 692, 700, 750, 800

Η τιμή του spread 227,5 αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας και η τιμή του spread 208 αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά.

Στα διαγράμματα NPV και PBP γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του ΗΦΟ τόσο πιο συμφέρουσα είναι η επένδυση σε αυτό παρά στο ΜGO. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την μελέτη μας παρουσιάζουν οι τιμές του Spread 208 που αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά και η τιμή 227.5 που αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας.

Για την τιμή του Πειραιά και σύμφωνα με το μοντέλο μας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το Scrubber έναντι του ΜGO είναι περίπου 2.5 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε ΜGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 4.5 χρόνια.

Παρόλο την μεγάλη διαφορά στο ύψος του αρχικού κεφαλαίου, η χρήση του ΗΦΟ καταφέρνει να γίνει πιο επικερδής εξαιτίας της αρκετά μικρότερης τιμής από αυτήν του ΜGO (περίπου 200 δολλάρια). Η μείωση στην κατανάλωση που επιφέρει η χρήση του ΜGO είναι πολύ μικρή για να συνεισφέρει σημαντικά στην μείωση των εξόδων.

Για το spread του λιμανιού της Πάτρας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το Scrubber έναντι του ΜGO είναι περίπου 3.5 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε ΜGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 4 χρόνια. Αυτή η βελτίωση που παρατηρείται στα νούμερα σε σχέση με το λιμάνι του Πειραιά οφείλεται

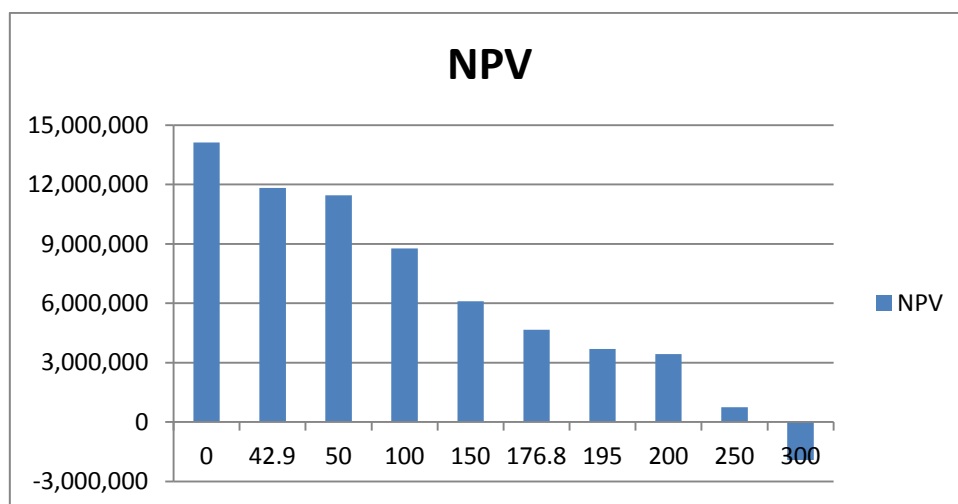
στην μεγαλύτερη τιμή που διαπραγματεύεται το MGO στο λιμάνι της Πάτρας σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή στο λιμάνι του Πειραιά. Όπως γράφτηκε προηγουμένως, η κύρια αιτία που κάνει ανταγωνιστικό το HFO σε σχέση με το MGO είναι η μειωμένη του τιμή καθώς η μείωση στην κατανάλωση είναι πολύ μικρή.

(Εδώ να τονίσουμε ότι για τον υπολογισμό του PBP γίνεται αθροιστικά μια πρόσθεση των ροών ανά έτος για κάθε μία επιλογή ξεχωριστά, οι οποίες δεν είναι ανηγμένες στο παρόν. Στη χρονική περίοδο που τα δύο αθροίσματα θα είναι ίσα, θεωρούμε το σημείο PBP).

LNG VS SCRUBBER

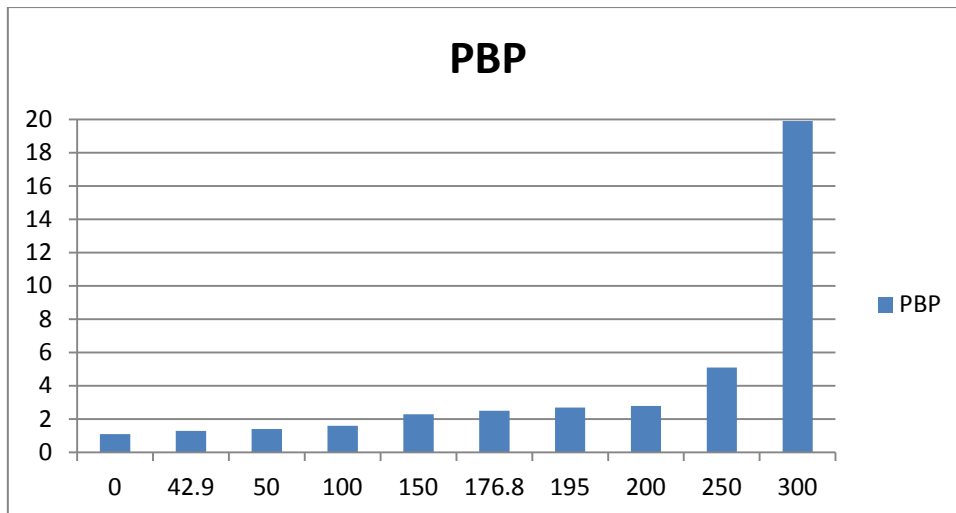
Στους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του LNG, ενώ η τιμή του HFO παραμένει σταθερή (= 600\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή LNG} - \text{Τιμή HFO}$$



Εικόνα 54. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG

Τιμή LNG (\$/ton) : 600, 642.9, 650, 700, 750, 776.8, 795, 800, 850, 900



Εικόνα 55. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG

Τιμή LNG (\$/ton) : 600, 642.9, 650, 700, 750, 776.8, 795, 800, 850, 900

Η τιμή του spread 176,8 αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας και η τιμή του spread 42,9 αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα αυτό το σενάριο θα μπορούσε κάλλιστα να ονομαστεί μειωμένη κατανάλωση εναντίον μειωμένης τιμής.

Στα διαγράμματα NPV και PBP γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του LNG τόσο πιο συμφέρουσα είναι η επένδυση σε αυτό παρά στο Scrubber. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την μελέτη μας παρουσιάζουν οι τιμές του Spread 42.9 που αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά και η τιμή 176.8 που αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας.

Για την τιμή του Πειραιά και σύμφωνα με το μοντέλο μας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το LNG έναντι του HFO είναι περίπου 11.8 εκατ. Δολάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε MGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στον 1.5 χρόνο.

Παρόλο την διαφορά στο ύψος του αρχικού κεφαλαίου, η χρήση του LNG καταφέρνει να γίνει πιο επικερδής εξαιτίας της μειωμένης κατανάλωσης αλλά και της ευθέως ανταγωνιστικής τιμής πώλησης του. Τα 42.9 παραπάνω δολάρια στην τιμή πώλησης του δεν αρκούν για κάνουν την επένδυση σε LNG λιγότερο ελκυστική.

Για το spread του λιμανιού της Πάτρας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το

LNG έναντι του Scrubber είναι 4.5 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε Scrubber θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 2.5 χρόνια. Όπως γράφτηκε προηγουμένως, η κύρια αιτία που κάνει ανταγωνιστικό το LNG είναι η μειωμένη κατάλωση ειδικά όταν πρόκειται για μεσόστροφο κίνητρα. Εξαιτίας αυτής της μεγάλης μείωσης, η διαφορά στην τιμή πώλησης των δύο καυσίμων δεν επιδρά αρνητικά στην επένδυση του LNG.

(Εδώ να τονίσουμε ότι για τον υπολογισμό του PBP γίνεται αθροιστικά μια πρόσθεση των ροών ανά έτος για κάθε μία επιλογή ξεχωριστά, οι οποίες δεν είναι ανηγμένες στο παρόν. Στη χρονική περίοδο που τα δύο αθροίσματα θα είναι ίσα, θεωρούμε το σημείο PBP).

3.2 Οικονομική μελέτη πλοίων RoRo-RoPax

Τα πλοία που μελετήθηκαν ήταν πλοία RoRo/RoPax της ακτοπολοίας. Τα ταξίδια που πραγματοποιήσαν ήταν κυρίως σε κοντινές αποστάσεις. Το ένα πλοίο που επιλέχθηκε εκτελεί δρομολόγια από το λιμάνι του Πειραιά προς τις Κυκλάδες. Ενώ, το άλλο εκτελεί δρομολόγια Πατρα-Ιταλία. Έτσι, μπορούν να θεωρηθούν ως πλοία που θα δρουν 100% σε μία ζώνη ECA. Και τα δύο πλοία έφεραν τετράχρονους κινητήρες.

3.2.1. RoRo/RoPax που εκτελεί δρομολόγια στις Κυκλάδες

Πίνακας 23. Κύριες διαστάσεις και ισχύς μηχανής 4X containership

(Πηγή: www.sea-web.com)

| | |
|------------------------------|-----------------|
| Ship type | Passenger/Ro-Ro |
| Year Built | 2002 |
| GT | 10,438 |
| DWT (t) | 1,896 |
| Speed (kn) | 24.42 |
| LBP | 117 |
| LOA | 124.2 |
| B | 18.9 |
| D | 12.45 |
| T | 5.1 |
| Main Engine (kW) | 17400 |
| TEU | 1474 |
| Τύπος μηχανής | 4-x |
| Auxilliary generators | 3 x 1020 |

Το συγκεκριμένο πλοίο πραγματοποίησε 302 αναχωρήσεις από το λιμάνι του Πειραιά κατά το έτος 2012.

Φέρει 4 μηχανές της MAN ισχύος 4.350 kW η καθεμία.

Υπολογισμός αρχικού κόστους κτήσης:

Πίνακας 24 Αρχικό κόστος retrofit RoRo/RoPax κυκλάδων για κάθε επιλογή

| Solution | € | \$ |
|----------|------------|------------|
| MGO | 1,249,420 | 1,624,246 |
| Scrubber | 7,644,420 | 9,937,746 |
| LNG | 10,417,500 | 13,542,750 |

Το αρχικό κόστος κτήσης για την επιλογή του LNG είναι 1.4 φορές μεγαλύτερο από την επιλογή του Scrubber και απαιτεί περίπου 3.5 εκατ. Δολλάρια μεγαλύτερο αρχικό κεφάλαιο. Ακόμη, έχει 8 φορές μεγαλύτερο κόστος από αυτή που χρησιμοποιεί MGO και χρειάζεται περίπου 12 εκατ. Δολλάρια μεγαλύτερο αρχικό κεφάλαιο.

Η επιλογή του Scrubber είναι 6 φορές ακριβότερη από αυτήν του MGO με αρχικό κεφάλαιο περίπου 8.3 εκατ. Δολλάρια μεγαλύτερο.

Στον υπολογισμό των ετήσιων λειτουργικών εξόδων έχουν γίνει οι εξής παραδοχές :

A. Στην επιλογή Scrubber οι βοηθητικές μηχανές λειτουργούν με MGO

B. Ο ετήσιος χρόνος λειτουργίας του πλοίου έχει χωριστεί σε τέσσερις κατηγορίες:

- Λειτουργία σε ανοικτή θάλασσα όπου οι κύριες μηχανές λειτουργούν στο 80% της μέγιστης συνεχόμενης φόρτωσης, ενώ οι βοηθητικές στο 85% του MCR. Από τις τρεις ηλεκτρογεννήτριες θεώρηθηκε πως είναι σε λειτουργία μόνο οι δύο, λόγω των αναγκών του πλοίου αλλά και της πρόσθετης ζήτησης των επιβατών. Αυτός ο χρόνος εκτιμήθηκε στις 2718 ώρες (302 αναχωρήσεις * 9 ώρες το κάθε ταξίδι = 2718 ώρες), περίπου 113 μέρες.

- Λειτουργία σε κατάσταση ρελαντί (idling και manuevering). Εδώ οι κύριες μηχανές δουλεύουν στο 35% του MCR. Οι βοηθητικές δουλεύουν στο 85% αλλά τώρα δουλεύουν και οι τρεις ηλεκτρογεννήτριες, προκειμένου να υποστηρίξουν την λειτουργία του bow thruster. Είναι το στάδιο κατά την προσέγγιση ή αναχώρηση από τον λιμένα. Ως χρόνος θεωρείται μισή ώρα έως μία ώρα πριν την άφιξη και μισή ώρα έως μία μετά την αναχώρηση. Αυτός ο χρόνος εκτιμήθηκε στις 906 ώρες, περίπου 38 μέρες.

- Λειτουργία σε κατάσταση φόρτωσης-εκφόρτωσης και αναμονής. Εδώ η κύρια μηχανή είναι εκτός λειτουργίας και οι βοηθητικές μηχανές δουλεύουν στο 85% του MCR. Λόγω μικρών ενεργειακών αναγκών θεωρήθηκε πως θα δουλεύει μόνο η μία ηλεκτρογεννήτρια. Εκτιμώμενος χρόνος 4500 ώρες, περίπου 188 μέρες.

- Δεξαμενισμός όπου θεωρήθηκε ότι καμία μηχανή δεν λειτουργεί. Περίπου 25 μέρες.

Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά οι ετήσιες καταναλώσεις στις προηγούμενες κατηγορίες. Στην επιλογή LNG το fuel που αναφέρεται είναι το pilot. Ενώ, στην επιλογή scrubber το fuel που αναφέρεται στις βοηθητικές μηχανές είναι MGO διότι είμαστε εντός ζωνών ECA. Η κατανάλωση είναι σε ton/year.

Πίνακας 25. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση ανοικτής θαλάσσης RoRo/RoPax Κυκλάδων

| | | Scrubber | MGO | LNG | |
|-----------------|------|----------|------------|----------|-----------|
| | | | | | |
| Ανοιχτή θάλασσα | main | fuel | 6696.71712 | 6294.914 | 105.93677 |
| | | gas | 0 | 0 | 5561.6803 |
| | aux | fuel | 902.985376 | 902.9854 | 15.24798 |
| | | gas | 0 | 0 | 767.48166 |

Πίνακας 26. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση ρελαντί RoRo/RoPax Κυκλάδων

| | | Scrubber | MGO | LNG | |
|---------|------|----------|------------|----------|-----------|
| | | | | | |
| Ρελαντί | main | fuel | 1020.7449 | 959.5002 | 33.10524 |
| | | gas | 0 | 0 | 882.8064 |
| | aux | fuel | 451.492688 | 451.4927 | 7.62399 |
| | | gas | 0 | 0 | 383.74083 |

Πίνακας 27. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση φόρτωσης RoRo/RoPax Κυκλάδων

| | | Scrubber | MGO | LNG | |
|------------------------------------|------|----------|-----------|----------|----------|
| | | | | | |
| Φόρτωση- Εκφόρτωση / Αναμονή | main | fuel | 0 | 0 | 0 |
| | | gas | 0 | 0 | 0 |
| | aux | fuel | 747.50445 | 747.5045 | 12.6225 |
| | | gas | 0 | 0 | 635.3325 |

Πίνακας 28. Ετήσια κατανάλωση RoRo/RoPax Κυκλάδων

| | Solution | Scrubber | MGO | LNG |
|----------|----------|------------|----------|-----------|
| Συνολικά | HFO | 7717.46202 | - | - |
| | MGO | 2101.98251 | 9356.397 | 174.53648 |
| | LNG | - | - | 8231.0417 |

Ήδη από τους παραπάνω πίνακες φαίνεται η μείωση στην κατανάλωση που επιτυγχάνει το LNG. Στους πίνακες που θα ακολουθήσουν θα φανούν οι οικονομικοί δείκτες με βάση την σύγκριση δύο σεναρίων κάθε φορά.

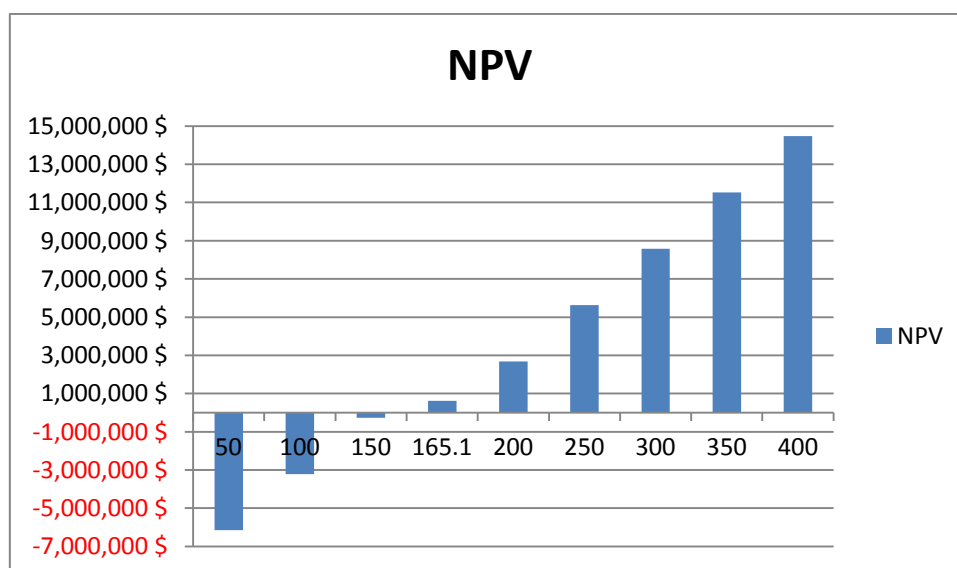
Τώρα θα εξεταστούν τα διαγράμματα NPV και PBP. Λόγω της μη καθορισμένης οικονομικής συμπεριφοράς της τιμής του LNG, θα δώσουμε έμφαση στα διαγράμματα όπου αλλάζει η τιμή του LNG. Ενώ, όσον αφορά το σενάριο MGO VS Scrubber, θα αναφερθούμε στα διαγράμματα όπου μεταβάλλεται η τιμή του HFO.

Στις τιμές των καυσίμων έχουν συμπεριληφθεί και οι τιμές καυσίμων που αφορούν τα λιμάνια της Πάτρας και του Πειραιά σύμφωνα με την μελέτη του Αντώνιου Π.Δελλή.

MGO VS LNG

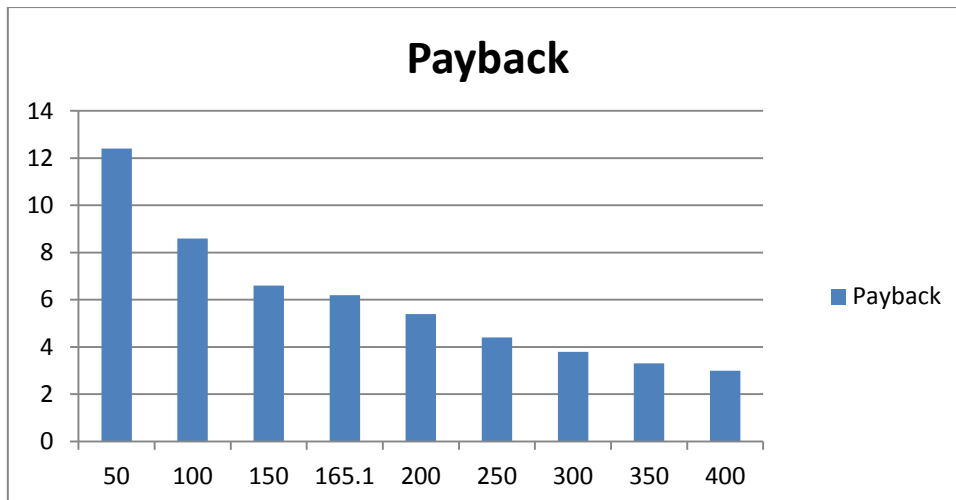
Στους πρώτους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του MGO, ενώ η τιμή του LNG παραμένει σταθερή (= 600\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή MGO} - \text{Τιμή LNG}$$



Εικόνα 56. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO

Τιμή MGO (\$/ton) : 650, 700, 750, 765.1 800, 850, 850, 900, 950, 1000

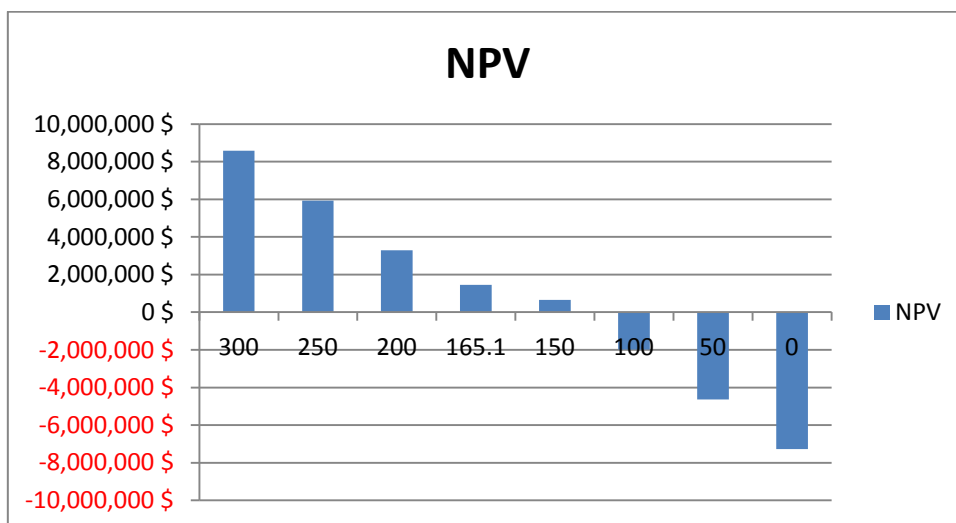


Εικόνα 57. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του ΜΟΧ

Τιμή ΜΟΧ (€/ton) : 650, 700, 750, 765.1 800, 850, 850, 900, 950, 1000

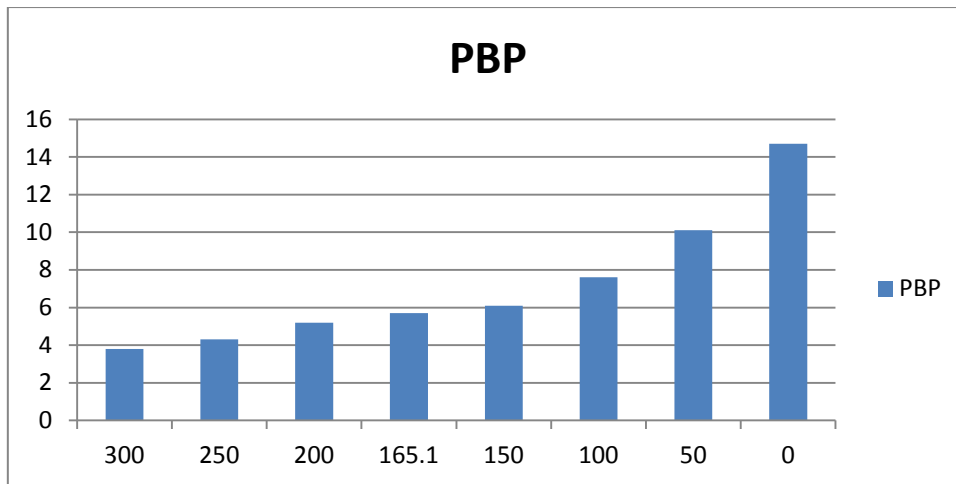
Στους επόμενους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του LNG, ενώ η τιμή του ΜΟΧ παραμένει σταθερή (= 900€/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή ΜΟΧ} - \text{Τιμή LNG}$$



Εικόνα 58. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG

Τιμή LNG (€/ton) : 600, 650, 700, 734.9, 750, 800, 850, 900



Εικόνα 59. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG

Τιμή LNG (\$/ton) : 600, 650, 700, 734.9, 750, 800, 850, 900

Η τιμή του spread 50 αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας και η τιμή του spread 165,1 αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά.

Στα διαγράμματα NPV και PBP γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του LNG τόσο πιο συμφέρουσα είναι η επένδυση σε αυτό παρά στο MGO. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την μελέτη μας παρουσιάζουν οι τιμές του Spread 165.1 που αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά και η τιμή 50 που αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας.

Για την τιμή του Πειραιά και σύμφωνα με το μοντέλο μας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το LNG έναντι του MGO είναι περίπου 1.5 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε MGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 5.7 χρόνια.

Παρόλο την μεγάλη διαφορά στο ύψος του αρχικού κεφαλαίου, η χρήση του LNG καταφέρνει να γίνει πιο επικερδής εξαιτίας της μειωμένης κατανάλωσης κυρίως και δευτερευόντως στην μικρότερη τιμή του LNG κατά 165.1 δολλάρια.

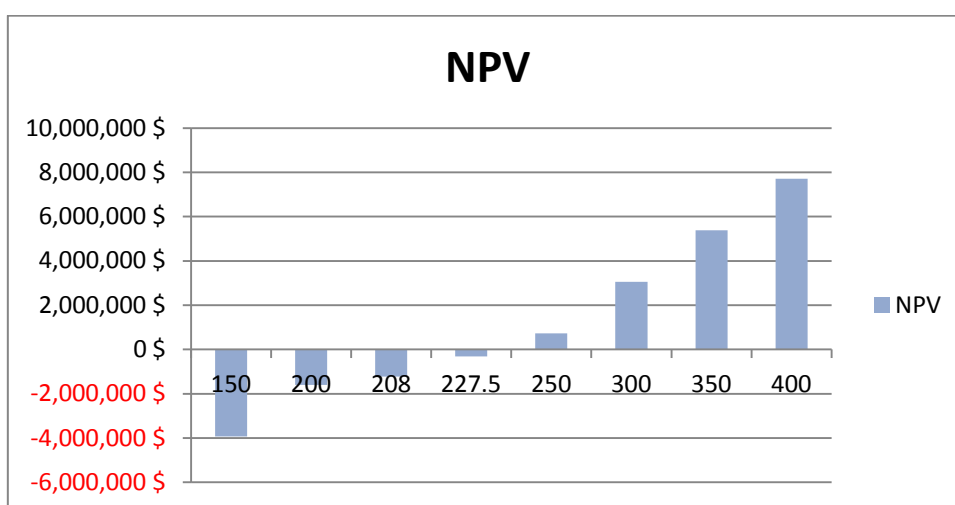
Για το spread του λιμανιού της Πάτρας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το LNG έναντι του MGO είναι αρνητική. Το NPV είναι περίπου -4.5 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε MGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 10 χρόνια. Η κύρια αιτία που κάνει ανταγωνιστικό το LNG είναι η μειωμένη κατάλωση. Το πολύ υψηλό αρχικό κτήσης και η υψηλή του τιμή (όσον αφορά το λιμάνι της Πάτρας) αναιρούν το αρχικό πλεονέκτημα του LNG.

(Εδώ να τονίσουμε ότι για τον υπολογισμό του PBP γίνεται αθροιστικά μια πρόσθεση των ρών ανά έτος για κάθε μία επιλογή ξεχωριστά, οι οποίες δεν είναι ανηγμένες στο παρόν. Στη χρονική περίοδο που τα δύο αθροίσματα θα είναι ίσα, θεωρούμε το σημείο PBP).

MGO VS SCRUBBER

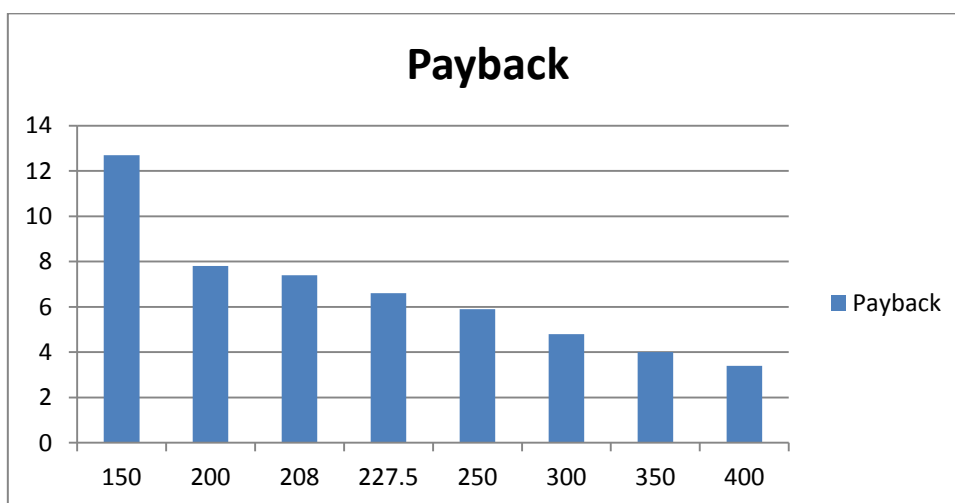
Στους πρώτους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του MGO, ενώ η τιμή του HFO παραμένει σταθερή (= 600\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή MGO} - \text{Τιμή HFO}$$



Εικόνα 60. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO

Τιμή MGO (\$/ton) : 750, 800, 808, 827,5, 850, 900, 950, 1000

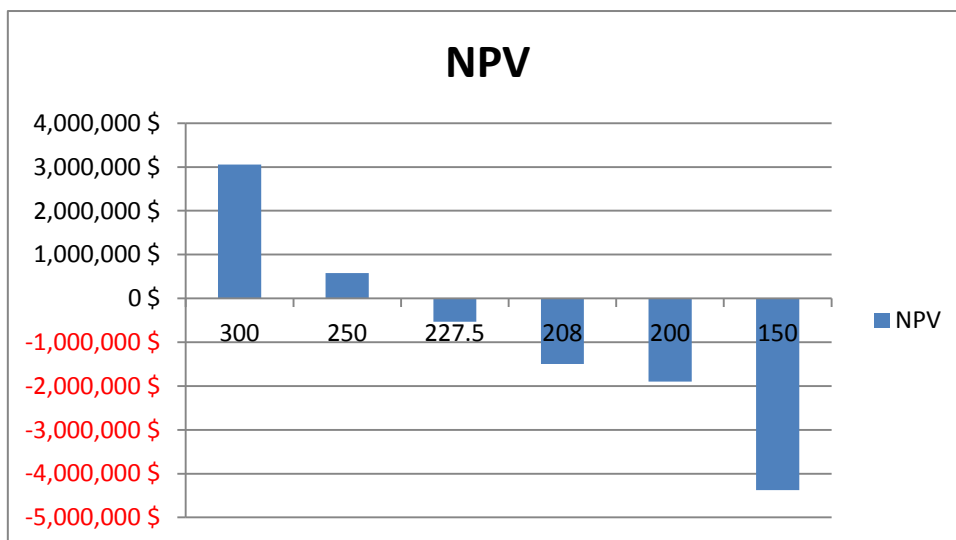


Εικόνα 61. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO

Τιμή MGO (\$/ton) : 750, 800, 808, 827,5, 850, 900, 950, 1000

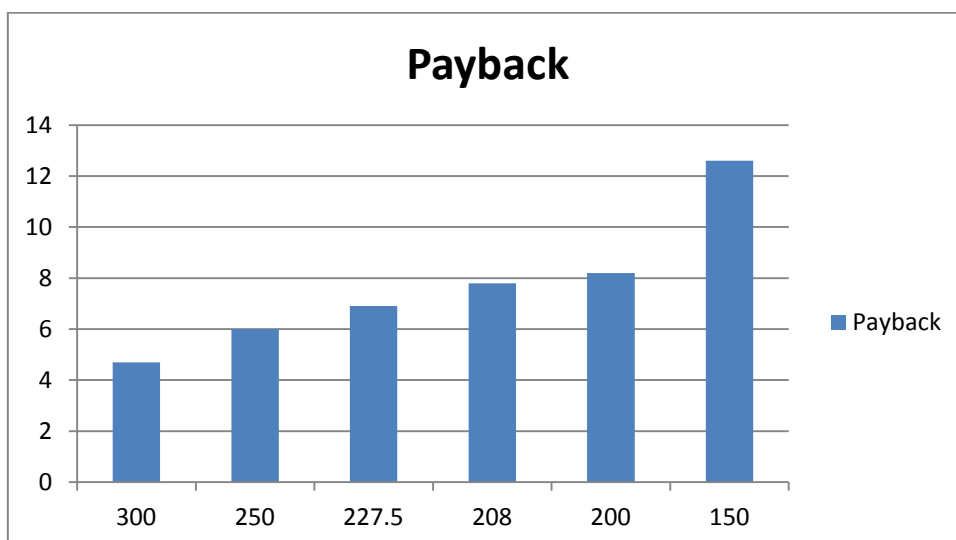
Στους επόμενους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του HFO, ενώ η τιμή του MGO παραμένει σταθερή (= 900\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή MGO} - \text{Τιμή HFO}$$



Εικόνα 62. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του HFO

Τιμή HFO (\$/ton) : 600, 650, 672.5, 692, 700, 750



Εικόνα 63. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του HFO

Τιμή HFO (\$/ton) : 600, 650, 672.5, 692, 700, 750

Η τιμή του spread 227,5 αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας και η τιμή του spread 208 αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά.

Στα διαγράμματα NPV και PBP γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του HFO τόσο πιο συμφέρουσα είναι η επένδυση σε αυτό παρά στο MGO. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την μελέτη μας παρουσιάζουν οι τιμές του Spread 208 που αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά και η τιμή 227.5 που αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας.

Για την τιμή του Πειραιά και σύμφωνα με το μοντέλο μας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το Scrubber έναντι του MGO είναι περίπου -1.5 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε MGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 8 χρόνια.

Η μεγάλη διαφορά στο ύψος του αρχικού κεφαλαίου και η μειωμένη κατανάλωση κάνουν την επένδυση σε Scrubber λιγότερο ελκυστική σε σχέση με το MGO παρά την μικρότερη τιμή πώλησης καυσίμου.

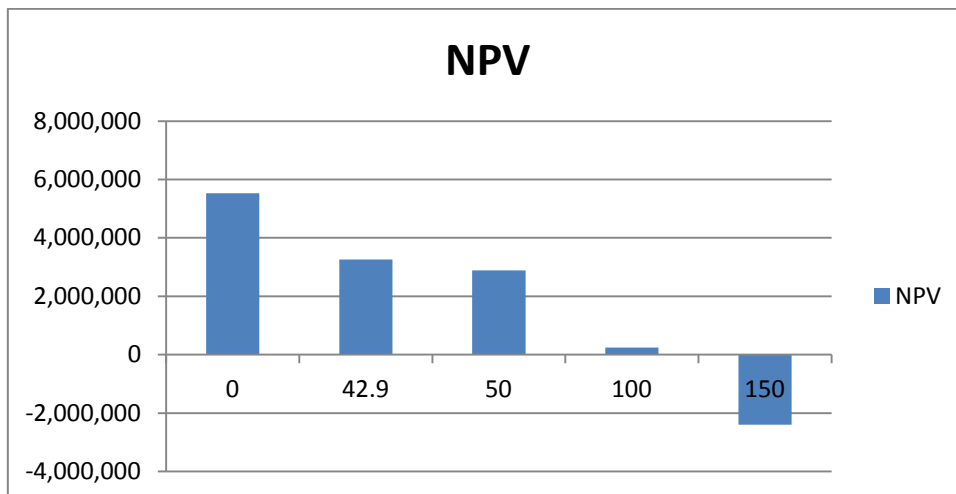
Για το spread του λιμανιού της Πάτρας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το Scrubber έναντι του MGO είναι περίπου -0.5 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε MGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 7 χρόνια. Αυτή η βελτίωση που παρατηρείται στα νούμερα σε σχέση με το λιμάνι του Πειραιά οφείλεται στην μεγαλύτερη τιμή που διαπραγματεύεται το MGO στο λιμάνι της Πάτρας. Όπως γράφτηκε προηγούμενως, η κύρια αιτία που κάνει ανταγωνιστικό το HFO σε σχέση με το MGO είναι η μειωμένη του τιμή. Παρόλα αυτά εξακολουθεί το MGO να είναι πιο κερδοφόρο λόγω του μεγάλου αρχικού κτήσης του Scrubber.

(Εδώ να τονίσουμε ότι για τον υπολογισμό του PBP γίνεται αθροιστικά μια πρόσθεση των ρών ανά έτος για κάθε μία επιλογή ξεχωριστά, οι οποίες δεν είναι ανηγμένες στο παρόν. Στη χρονική περίοδο που τα δύο αθροίσματα θα είναι ίσα, θεωρούμε το σημείο PBP).

LNG VS SCRUBBER

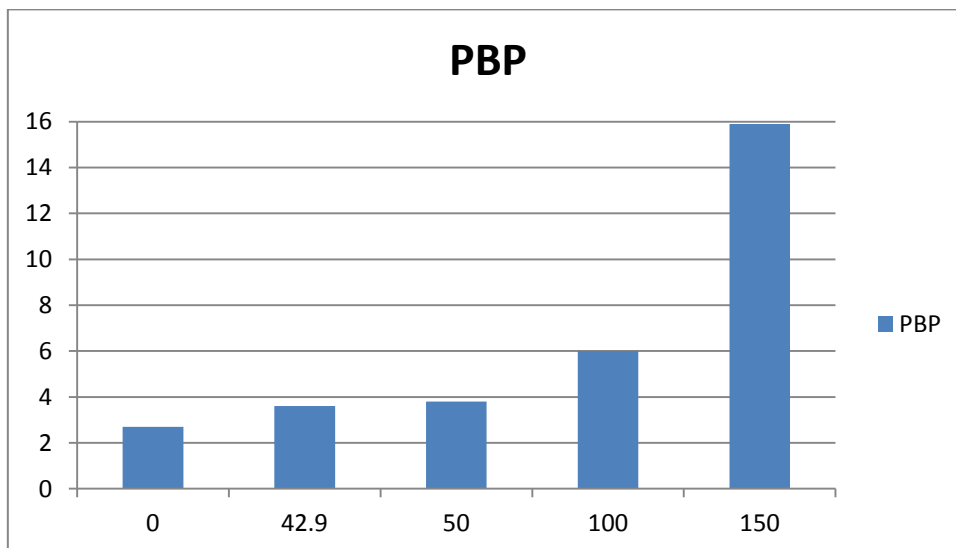
Στους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του LNG, ενώ η τιμή του HFO παραμένει σταθερή (= 600\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

Spread = Τιμή LNG- Τιμή ΗFO



Εικόνα 64. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG

Τιμή LNG (\$/ton) : 600, 642.9, 650, 700, 750



Εικόνα 65. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG

Τιμή LNG (\$/ton) : 600, 642.9, 650, 700, 750

Η τιμή του spread 176,8 αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας και η τιμή του spread 42,9 αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα αυτό το σενάριο θα μπορούσε κάλλιστα να ονομαστεί μειωμένη κατανάλωση εναντίον μειωμένης τιμής.

Στα διαγράμματα NPV και PBP γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του LNG τόσο πιο συμφέρουσα είναι η επένδυση σε αυτό παρά στο Scrubber. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την μελέτη μας παρουσιάζουν οι τιμές του Spread 42.9 που

αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά και η τιμή 176.8 που αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας.

Για την τιμή του Πειραιά και σύμφωνα με το μοντέλο μας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μίας δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το LNG έναντι του HFO είναι περίπου 3 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε HFO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 3.5 χρόνια.

Παρόλο την διαφορά στο ύψος του αρχικού κεφαλαίου, η χρήση του LNG καταφέρνει να γίνει πιο επικερδής εξαιτίας της μειωμένης κατανάλωσης αλλά και της ευθέως ανταγωνιστικής τιμής πώλησης του. Τα 42.9 παραπάνω δολλάρια στην τιμή πώλησης του δεν αρκούν για κάνουν την επένδυση σε LNG λιγότερο ελκυστική.

Για το spread του λιμανιού της Πάτρας το κόστος για την λειτουργία ενός πλοίου είναι εξωπραγματικό. Σαν όριο στο μοντέλο για τον δείκτη PBP έχουμε θεωρήσει τα 20 έτη. Το συγκεκριμένο spread δίνει PBP πάνω από 20 έτη. Ένα ενδεικτικό spread που υπολογίσθηκε ήταν το 150. Αυτό το spread δίνει καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μίας δεκαετίας, που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης εάν επιλέξει το LNG έναντι του Scrubber, -2.5 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε Scrubber θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 16 χρόνια. Όπως γράφτηκε προηγούμενως, η κύρια αιτία που κάνει ανταγωνιστικό το LNG είναι η μειωμένη κατανάλωση ειδικά όταν πρόκειται για μεσόστροφο κίνητηρα. Όμως τόσο το μεγαλύτερο αρχικό κόστος κτήσης, όσο και η πολύ μεγάλη τιμή πώλησης του LNG υπερκερνούν την μείωση στην κατανάλωση.

(Εδώ να τονίσουμε ότι για τον υπολογισμό του PBP γίνεται αθροιστικά μια πρόσθεση των ροών ανά έτος για κάθε μία επιλογή ξεχωριστά, οι οποίες δεν είναι ανηγμένες στο παρόν. Στη χρονική περίοδο που τα δύο αθροίσματα θα είναι ίσα, θεωρούμε το σημείο PBP).

3.2.2. RoRo/RoPax που εκτελεί δρομολόγια στην Αδριατική

Πίνακας 29. Κύριες διαστάσεις και ισχύς μηχανής 4X containership

(Πηγή: www.sea-web.com)

| | |
|------------------------------|-----------------------|
| Ship type | Passenger/Ro-Ro |
| Year Built | 2001 |
| GT | 32,694 |
| DWT (t) | 6,524 |
| Speed (kn) | 27.5 |
| LBP | 186 |
| LOA | 204 |
| B | 25.8 |
| D | 9.8 |
| T | 6.75 |
| Main Engine (kW) | 50,400 |
| Τύπος μηχανής | 4-x |
| Auxilliary generators | 2x1680kW, 3 x 1,470kW |

Το συγκεκριμένο πλοίο πραγματοποίησε 114 αναχωρήσεις από το λιμάνι της Πάτρας κατά το έτος 2012.

Φέρει 4 μηχανές της Wartsila ισχύος 12,600 kW η καθεμία.

Υπολογισμός αρχικού κόστους κτήσης:

Πίνακας 30. Αρχικό κόστος retrofit RoRo/RoPax Αδριατικής για κάθε επιλογή

| Solution | € | \$ |
|----------|------------|------------|
| MGO | 3,285,760 | 4,271,488 |
| Scrubber | 22,055,760 | 28,672,488 |
| LNG | 29,934,000 | 38,914,200 |

Το αρχικό κόστος κτήσης για την επιλογή του LNG είναι 1.4 φορές μεγαλύτερο από την επιλογή του Scrubber και απαιτεί περίπου 10 εκατ. Δολλάρια μεγαλύτερο αρχικό κεφάλαιο. Ακόμη, έχει 9 φορές μεγαλύτερο κόστος από αυτή που χρησιμοποιεί MGO και χρειάζεται περίπου 35 εκατ. Δολλάρια μεγαλύτερο αρχικό κεφάλαιο.

Η επιλογή του Scrubber είναι 6.7 φορές ακριβότερη από αυτήν του MGO με αρχικό κεφάλαιο περίπου 25 εκατ. Δολλάρια μεγαλύτερο.

Στον υπολογισμό των ετήσιων λειτουργικών εξόδων έχουν γίνει οι εξής παραδοχές :

A. Στην επιλογή Scrubber οι βοηθητικές μηχανές λειτουργούν με MGO

B. Ο ετήσιος χρόνος λειτουργίας του πλοίου έχει χωριστεί σε τέσσερις κατηγορίες:

- Λειτουργία σε ανοικτή θάλασσα όπου οι κύριες μηχανές λειτουργούν στο 80% της μέγιστης συνεχόμενης φόρτωσης, ενώ οι βοηθητικές στο 85% του MCR. Από τις πέντε ηλεκτρογεννήτριες θεωρήθηκε πως είναι σε λειτουργία μόνο οι τρεις, λόγω των αναγκών του πλοίου αλλά και της πρόσθετης ζήτησης των επιβατών. Αυτός ο χρόνος εκτιμήθηκε στις 4560 ώρες (114 αναχωρήσεις * 40 ώρες το κάθε ταξίδι = 4560 ώρες), περίπου 190 μέρες.

- Λειτουργία σε κατάσταση ρελαντί (idling και maneuvering). Εδώ οι κύριες μηχανές δουλεύουν στο 35% του MCR. Οι βοηθητικές δουλεύουν στο 85% αλλά τώρα δουλεύουν τέσσερις ηλεκτρογεννήτριες, προκειμένου να υποστηρίξουν την λειτουργία του bow thruster. Είναι το στάδιο κατά την προσέγγιση ή αναχώρηση από τον λιμένα. Ως χρόνος θεωρείται μισή ώρα έως μία ώρα πριν την άφιξη και μισή ώρα εως μία μετά την αναχώρηση. Αυτός ο χρόνος εκτιμήθηκε στις 456 ώρες, περίπου 19 μέρες.

- Λειτουργία σε κατάσταση φόρτωσης-εκφόρτωσης και αναμονής. Εδώ η κύρια μηχανή είναι εκτός λειτουργίας και οι βοηθητικές μηχανές δουλεύουν στο 85% του MCR. Λόγω μικρών ενεργειακών αναγκών θεωρήθηκε πως θα δουλεύουν μόνο δύο ηλεκτρογεννήτριες. Εκτιμώμενος χρόνος 3000 ώρες, περίπου 125 μέρες.

- Δεξαμενισμός όπου θεωρήθηκε ότι καμία μηχανή δεν λειτουργεί. Περίπου 31 μέρες.

Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά οι ετήσιες καταναλώσεις στις προηγούμενες κατηγορίες. Στην επιλογή LNG το fuel που αναφέρεται είναι το pilot. Ενώ, στην επιλογή scrubber το fuel που αναφέρεται στις βοηθητικές μηχανές είναι MGO διότι είμαστε εντός ζωνών ECA. Η κατανάλωση είναι σε ton/year.

Πίνακας 31. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση ανοικτής θαλάσσης RoRo/RoPax Αδριατικής

| | | Scrubber | MGO | LNG | |
|-----------------|------|----------|------------|----------|----------|
| Ανοικτή θάλασσα | main | fuel | 31256.064 | 29380.7 | 257.4029 |
| | | gas | 0 | 0 | 26659.58 |
| | aux | fuel | 3522.04058 | 3522.041 | 59.07024 |
| | | gas | 0 | 0 | 2939.558 |

Πίνακας 32. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση ρελαντί RoRo/RoPax Αδριατικής

| | | Scrubber | MGO | LNG | |
|---------|------|----------|------------|----------|----------|
| | | | | | |
| Ρελαντί | main | fuel | 1431.80352 | 1345.895 | 28.15344 |
| | | gas | 0 | 0 | 1254.839 |
| | aux | fuel | 455.19682 | 455.1968 | 7.627968 |
| | | gas | 0 | 0 | 380.003 |

Πίνακας 33. Ετήσια κατανάλωση σε κατάσταση φόρτωσης RoRo/RoPax Αδριατικής

| | | Scrubber | MGO | LNG | |
|--------------------------------|------|----------|------------|----------|---------|
| | | | | | |
| Φορτωση-Εκφόρτωση / Αναμονή | main | fuel | 0 | 0 | 0 |
| | | gas | 0 | 0 | 0 |
| | aux | fuel | 1497.35796 | 1497.358 | 25.092 |
| | | gas | 0 | 0 | 1250.01 |

Πίνακας 34. Ετήσια κατανάλωση RoRo/RoPax Αδριατικής

| | Solution | Scrubber | MGO | LNG |
|----------|----------|------------|----------|----------|
| Συνολικά | HFO | 32687.8675 | - | - |
| | MGO | 5474.59536 | 36201.19 | 377.3465 |
| | LNG | - | - | 32483.99 |

Ήδη από τους παραπάνω πίνακες φαίνεται η μείωση στην κατανάλωση που επιτυγχάνει το LNG. Στους πίνακες που θα ακολουθήσουν θα φανούν οι οικονομικοί δείκτες με βάση την σύγκριση δύο σεναρίων κάθε φορά.

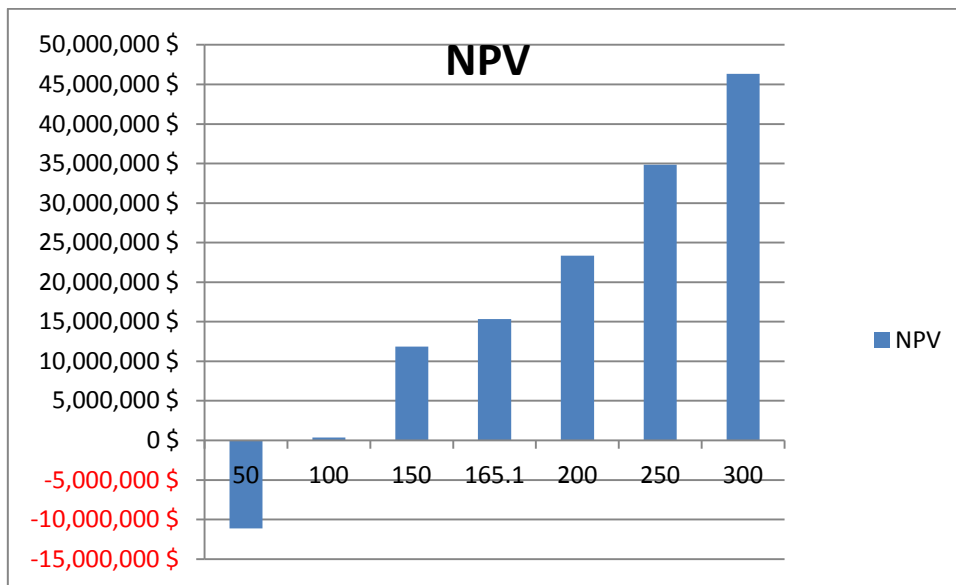
Τώρα θα εξεταστούν τα διαγράμματα NPV και PBP. Λόγω της μη καθορισμένης οικονομικής συμπεριφοράς της τιμής του LNG, θα δώσουμε έμφαση στα διαγράμματα όπου αλλάζει η τιμή του LNG. Ενώ, όσον αφορά το σενάριο MGO VS Scrubber, θα αναφερθούμε στα διαγράμματα όπου μεταβάλλεται η τιμή του HFO.

Στις τιμές των καυσίμων έχουν συμπεριληφθεί και οι τιμές καυσίμων που αφορούν τα λιμάνια της Πάτρας και του Πειραιά σύμφωνα με την μελέτη του Αντώνιου Π.Δελλή.

MGO VS LNG

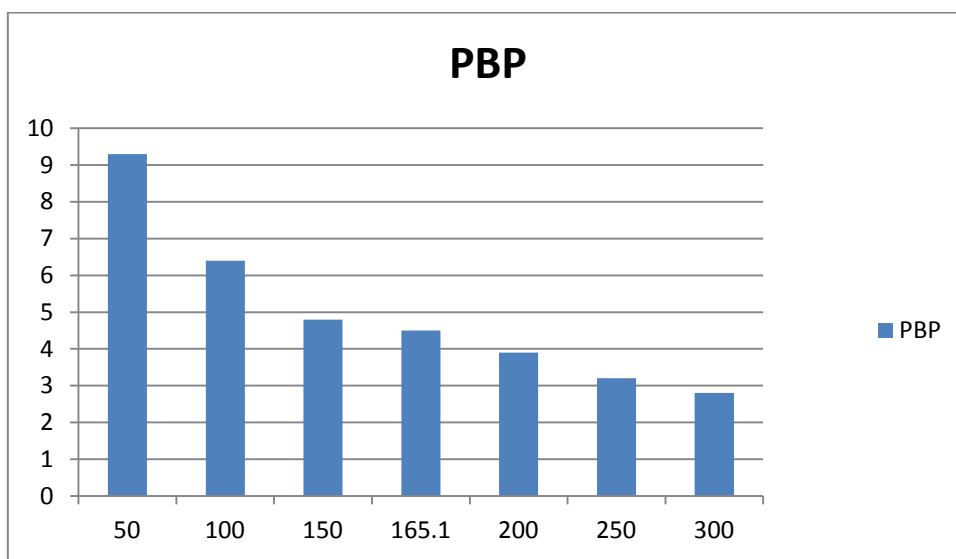
Στους πρώτους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του MGO, ενώ η τιμή του LNG παραμένει σταθερή (= 600\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή MGO} - \text{Τιμή LNG}$$



Εικόνα 66. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO

Τιμή MGO (\$/ton) : 650, 700, 750, 765.1 800, 850, 900

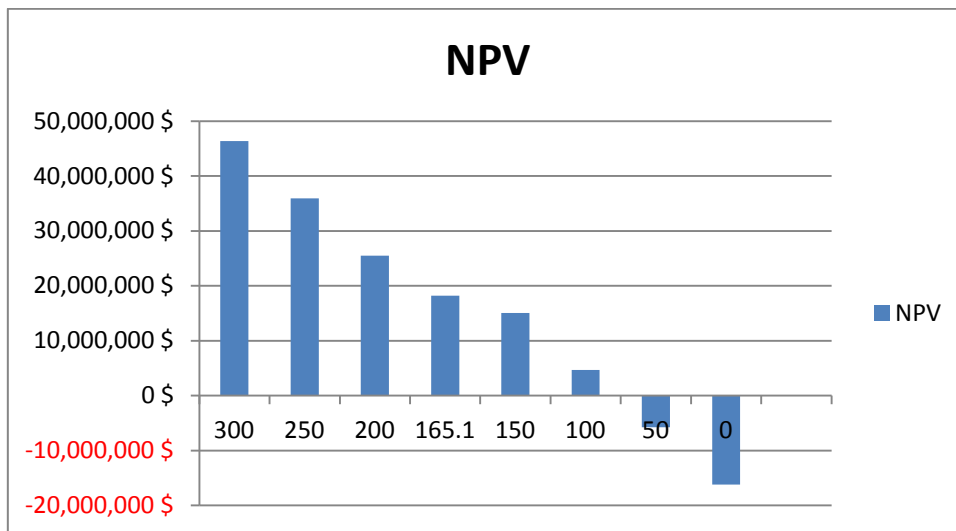


Εικόνα 67. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO

Τιμή MGO (\$/ton) : 650, 700, 750, 765.1 800, 850, 900

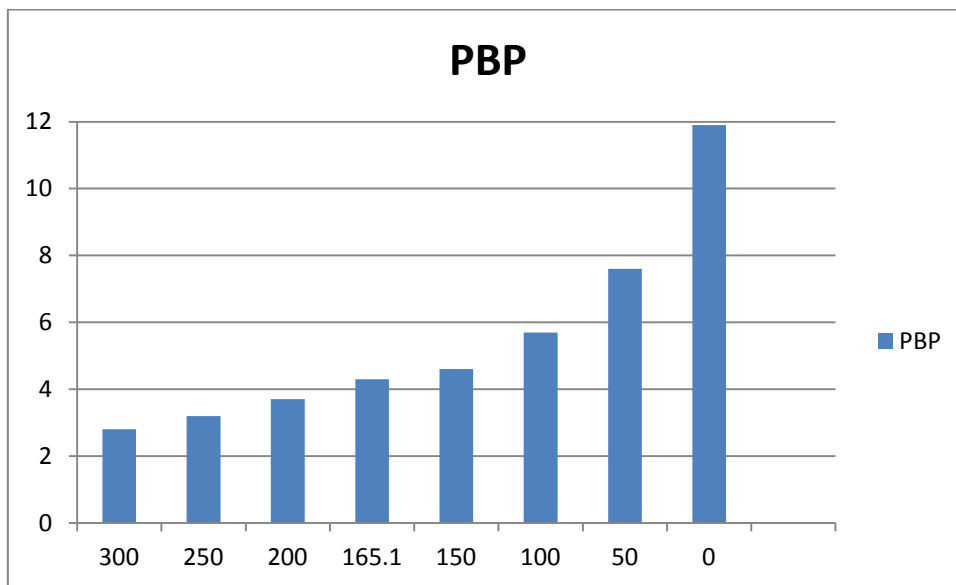
Στους επόμενους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του LNG, ενώ η τιμή του MGO παραμένει σταθερή (= 900\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή MGO} - \text{Τιμή LNG}$$



Εικόνα 68. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG

Τιμή LNG (\$/ton) : 600, 650, 700, 734.9, 750, 800, 850, 900



Εικόνα 69. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG

Τιμή LNG (\$/ton) : 600, 650, 700, 734.9, 750, 800, 850, 900

Η τιμή του spread 50 αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας και η τιμή του spread 165,1 αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά.

Στα διαγράμματα NPV και PBP γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του LNG τόσο πιο συμφέρουσα είναι η επένδυση σε αυτό παρά στο MGO. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την μελέτη μας παρουσιάζουν οι τιμές του Spread 165.1 που αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά και η τιμή 50 που αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας.

Για την τιμή του Πειραιά και σύμφωνα με το μοντέλο μας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το LNG έναντι του MGO είναι περίπου 18 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε MGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 4.5 χρόνια.

Παρόλο την μεγάλη διαφορά στο ύψος του αρχικού κεφαλαίου, η χρήση του LNG καταφέρνει να γίνει πιο επικερδής εξαιτίας της μειωμένης κατανάλωσης κυρίως και δευτερευόντως εξαιτίας της μικρότερης τιμής του LNG κατά 165.1 δολλάρια.

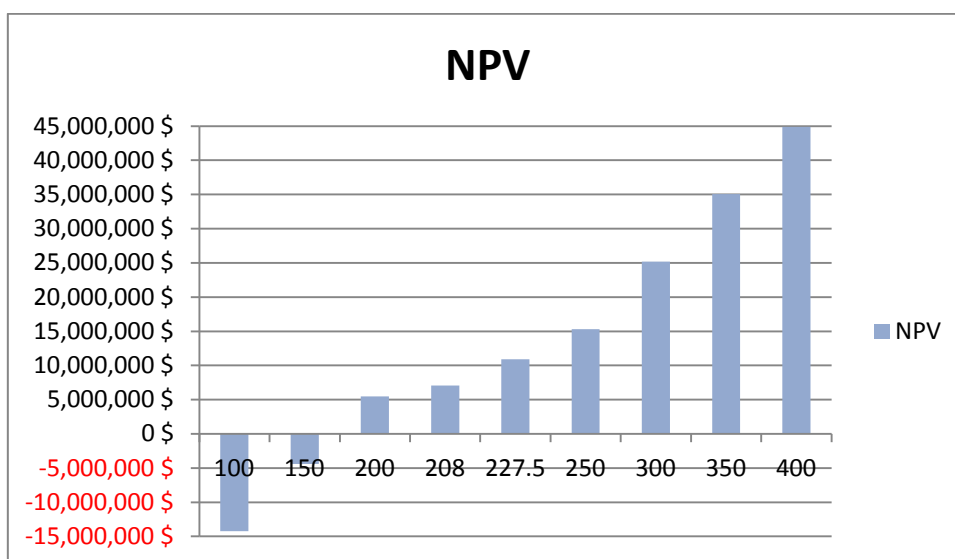
Για το spread του λιμανιού της Πάτρας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το LNG έναντι του MGO είναι αρνητική. Το NPV είναι περίπου -5.5 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε MGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 7.5 χρόνια. Η κύρια αιτία που κάνει ανταγωνιστικό το LNG είναι η μειωμένη κατανάλωση. Το πολύ υψηλό αρχικό κτήσης και η υψηλή του τιμή (όσον αφορά το λιμάνι της Πάτρας) αναιρούν το αρχικό πλεονέκτημα του LNG.

(Εδώ να τονίσουμε ότι για τον υπολογισμό του PBP γίνεται αθροιστικά μια πρόσθεση των ροών ανά έτος για κάθε μία επιλογή ξεχωριστά, οι οποίες δεν είναι ανηγμένες στο παρόν. Στη χρονική περίοδο που τα δύο αθροίσματα θα είναι ίσα, θεωρούμε το σημείο PBP).

MGO VS SCRUBBER

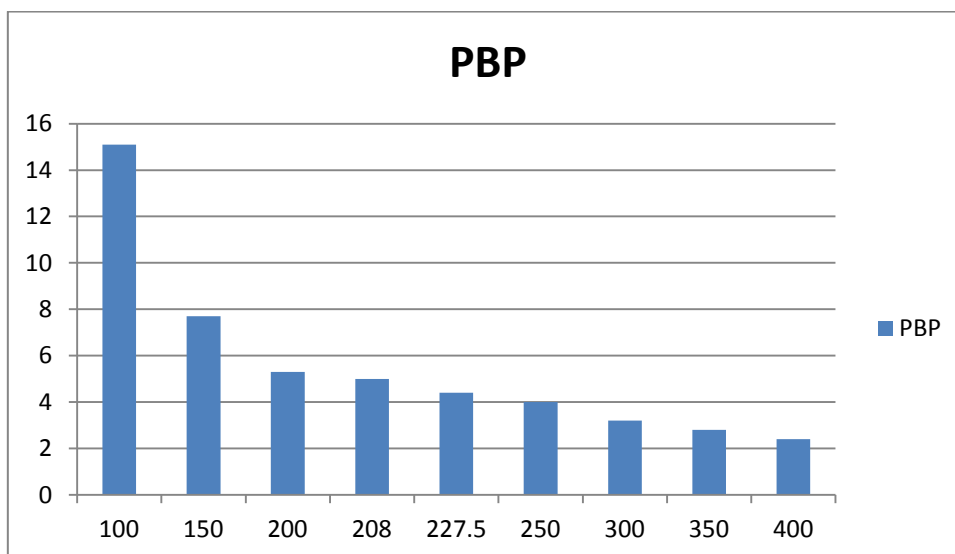
Στους πρώτους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του MGO, ενώ η τιμή του HFO παραμένει σταθερή (= 600\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή MGO} - \text{Τιμή HFO}$$



Εικόνα 70. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO

Τιμή MGO (\$/ton) : 700, 750, 800, 808, 827,5, 850, 900, 950, 1000

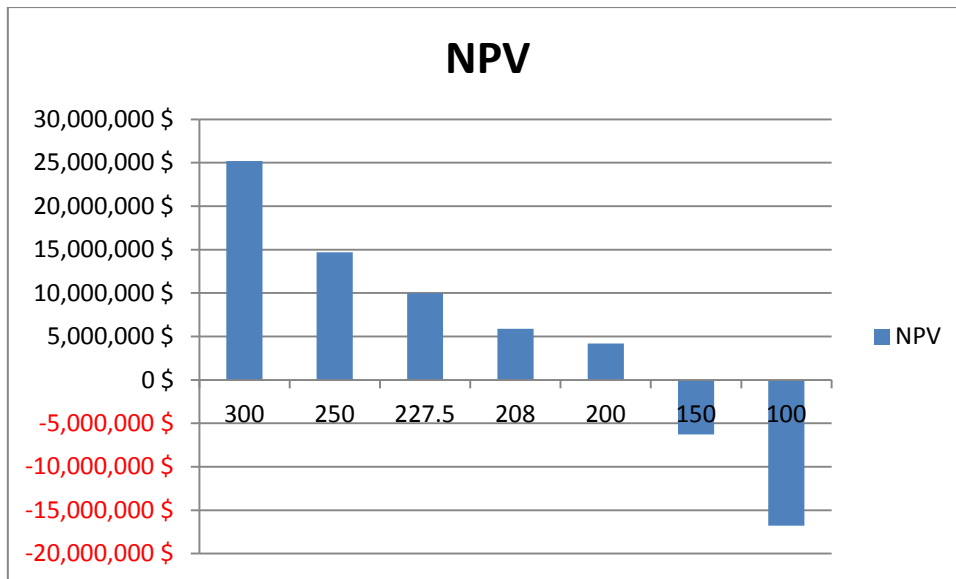


Εικόνα 71. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του MGO

Τιμή MGO (\$/ton) : 700, 750, 800, 808, 827,5, 850, 900, 950, 1000

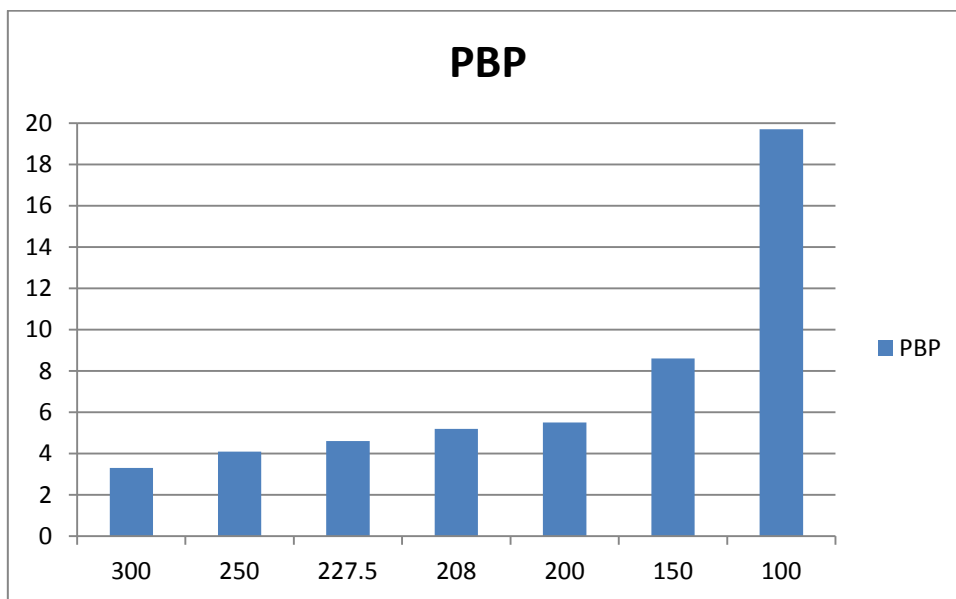
Στους επόμενους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του HFO, ενώ η τιμή του MGO παραμένει σταθερή (= 900\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή MGO} - \text{Τιμή HFO}$$



Εικόνα 72. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του HFO

Τιμή HFO (\$/ton) : 600, 650, 672.5, 692, 700, 750, 800



Εικόνα 73. Διάγραμμα PBP – Spread με μεταβλητή την τιμή του HFO

Τιμή HFO (\$/ton) : 600, 650, 672.5, 692, 700, 750, 800

Η τιμή του spread 227,5 αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας και η τιμή του spread 208 αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά.

Στα διαγράμματα NPV και PBP γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του HFO τόσο πιο συμφέρουσα είναι η επένδυση σε αυτό παρά στο MGO. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την μελέτη μας παρουσιάζουν οι τιμές του Spread 208 που αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά και η τιμή 227.5 που αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας.

Για την τιμή του Πειραιά και σύμφωνα με το μοντέλο μας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το Scrubber έναντι του MGO είναι περίπου 6 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε MGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 5 χρόνια.

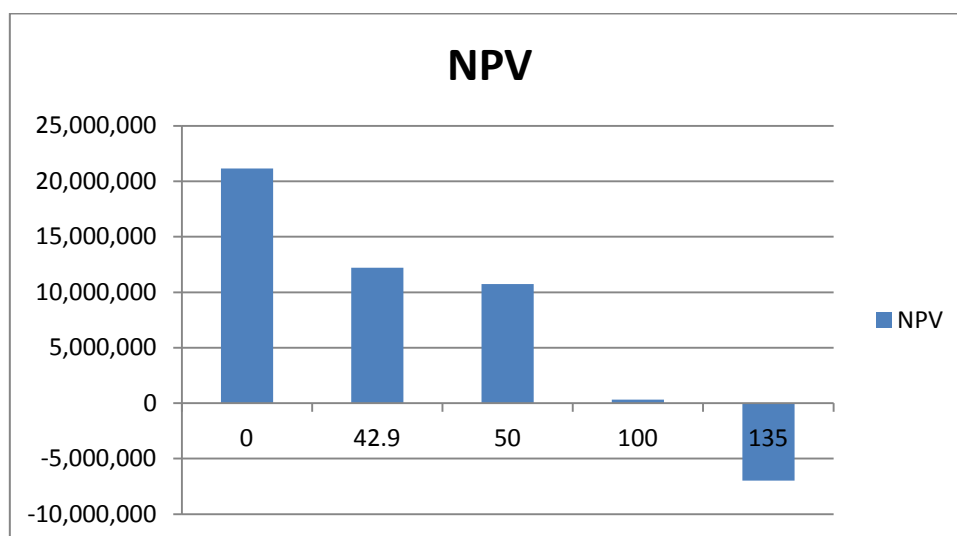
Για το spread του λιμανιού της Πάτρας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το Scrubber έναντι του MGO είναι περίπου 10 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε MGO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 4.5 χρόνια. Αυτή η βελτίωση που παρατηρείται στα νούμερα σε σχέση με το λιμάνι του Πειραιά οφείλεται στην μεγαλύτερη τιμή που διαπραγματεύεται το MGO στο λιμάνι της Πάτρας σε σχέση με το λιμάνι του Πειραιά. Όπως γράφτηκε προηγούμενως, η κύρια αιτία που κάνει ανταγωνιστικό το HFO σε σχέση με το MGO είναι η μειωμένη του τιμή.

(Εδώ να τονίσουμε ότι για τον υπολογισμό του PBP γίνεται αθροιστικά μια πρόσθεση των ροών ανά έτος για κάθε μία επιλογή ξεχωριστά, οι οποίες δεν είναι ανηγμένες στο παρόν. Στη χρονική περίοδο που τα δύο αθροίσματα θα είναι ίσα, θεωρούμε το σημείο PBP).

LNG VS SCRUBBER

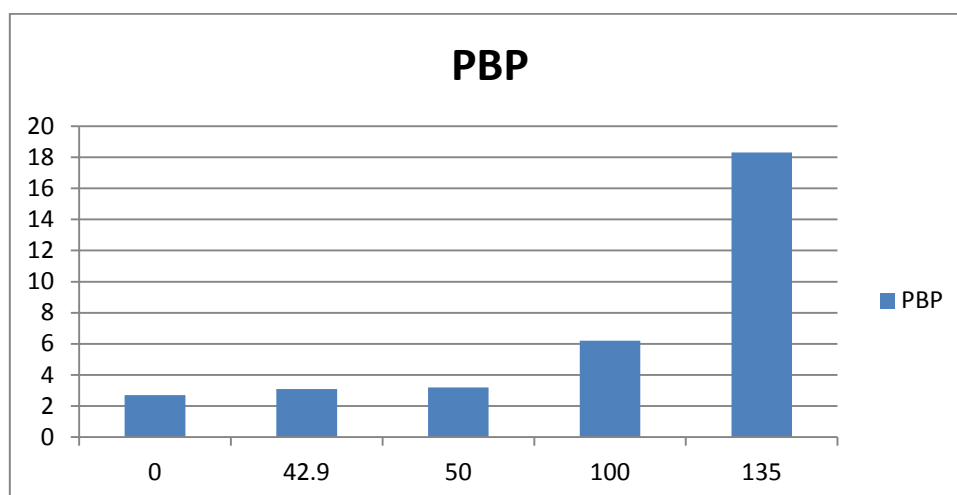
Στους δύο πίνακες μεταβάλλεται η τιμή του LNG, ενώ η τιμή του HFO παραμένει σταθερή (= 600\$/ton). Η τιμή του spread διαμορφώνεται από την ακόλουθη πράξη:

$$\text{Spread} = \text{Τιμή LNG} - \text{Τιμή HFO}$$



Εικόνα 74. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG

Τιμή LNG (\$/ton) : 600, 642.9, 650, 700, 750



Εικόνα 75. Διάγραμμα NPV – Spread με μεταβλητή την τιμή του LNG

Τιμή LNG (\$/ton) : 600, 642.9, 650, 700, 750

Η τιμή του spread 176,8 αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας και η τιμή του spread 42,9 αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα αυτό το σενάριο θα μπορούσε κάλλιστα να ονομαστεί μειωμένη κατανάλωση εναντίον μειωμένης τιμής.

Στα διαγράμματα NPV και PBP γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του LNG τόσο πιο συμφέρουσα είναι η επένδυση σε αυτό παρά στο Scrubber. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την μελέτη μας παρουσιάζουν οι τιμές του Spread 42.9 που αναφέρεται στο λιμάνι του Πειραιά και η τιμή 176.8 που αναφέρεται στο λιμάνι της Πάτρας.

Για την τιμή του Πειραιά και σύμφωνα με το μοντέλο μας, η καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μιάς δεκαετίας που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης που θα επιλέξει το LNG έναντι του HFO είναι περίπου 12 εκατ. Δολλάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε HFO θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 3 χρόνια.

Παρόλο την διαφορά στο ύψος του αρχικού κεφαλαίου, η χρήση του LNG καταφέρνει να γίνει πιο επικερδής εξαιτίας της μειωμένης κατανάλωσης αλλά και της ευθέως ανταγωνιστικής τιμής πώλησης του. Τα 42.9 παραπάνω δολλάρια στην τιμή πώλησης του δεν αρκούν για κάνουν την επένδυση σε LNG λιγότερο ελκυστική.

Για το spread του λιμανιού της Πάτρας το κόστος για την λειτουργία ενός πλοίου είναι εξωπραγματικό. Σαν όριο στο μοντέλο για τον δείκτη PBP έχουμε θεωρήσει τα 20 έτη.

Το συγκεκριμένο spread δίνει PBP πάνω από 20 έτη. Ένα ενδεικτικό spread που υπολογίσθηκε ήταν το 135. Αυτό το spread δίνει καθαρή παρούσα αξία των χρημάτων σε χρονική περίοδο μίας δεκαετίας, που θα εξοικονομήσει ο πλοιοκτήτης αν επιλέξει το LNG έναντι του Scrubber, -7 εκατ. Δολάρια. Τα έξοδα για την επένδυση σε Scrubber θα ισοσκελίσουν τα έξοδα για την επένδυση σε LNG κοντά στα 18 χρόνια. Όπως γράφτηκε προηγούμενως, η κύρια αιτία που κάνει ανταγωνιστικό το LNG είναι η μειωμένη κατάλωση ειδικά όταν πρόκειται για μεσόστροφο κίνητηρα. Όμως τόσο το μεγάλο αρχικό κόστος κτήσης, όσο και η πολύ μεγάλη τιμή πώλησης του LNG υπερκερνούν την μείωση στην κατανάλωση.

(Εδώ να τονίσουμε ότι για τον υπολογισμό του PBP γίνεται αθροιστικά μια πρόσθεση των ροών ανά έτος για κάθε μία επιλογή ξεχωριστά, οι οποίες δεν είναι ανηγμένες στο παρόν. Στη χρονική περίοδο που τα δύο αθροίσματα θα είναι ίσα, θεωρούμε το σημείο PBP).

4. Σύγκριση Αποτελεσμάτων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνουν συγκρίσεις μεταξύ των πλοίων ίδιας κατηγορίας.

4.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων πλοίων εμπορευματοκιβωτίων

Σε αυτή την υποενότητα θα επιχειρήσουμε να συγκρίνουμε τα δύο υπό μελέτη containership, το τετράχρονο και το δίχρονο, σε κάθε σενάριο ξεχωριστά για τους δυο οικονομικούς δείκτες που έχουν υπολογισθεί.

A. Σύγκριση βάση του αρχικού κόστους κτήσης.

Υπολογισμός αρχικού κόστους κτήσης δίχρονο containership:

Πίνακας 35. Αρχικό κόστος retrofit 2X Containership για κάθε επιλογή

| Επιλογή | € | \$ |
|----------|-----------|-----------|
| MGO | 1,114,960 | 1,449,448 |
| Scrubber | 5,724,960 | 7,442,448 |
| LNG | 7,323,360 | 9,520,368 |

Υπολογισμός αρχικού κόστους κτήσης τετράχρονου containership:

Πίνακας 36. Αρχικό κόστος retrofit 2X Containership για κάθε επιλογή

| Επιλογή | € | \$ |
|----------|-----------|-------------|
| MGO | 907,330 | 1,179,529 |
| Scrubber | 4,675,455 | 6,078,091.5 |
| LNG | 6,525,150 | 8,482,695 |

Στο τετράχρονο containership παρουσιάζεται μία μείωση στα αρχικά κόστη κτήσης. Στις επιλογές Scrubber και MGO είναι της τάξης του 20% και η οποία οφείλεται αποκλειστικά στην ισχύ της κύριας μηχανής και των βοηθητικών, καθώς το τετράχρονο έχει μικρότερη κύρια μηχανή. Στην επιλογή LNG η μείωση είναι περίπου 12% και οφείλεται στην μειωμένη ισχύ αλλά και στον τύπο του κινητήρα. Καθώς, οι τετράχρονοι κινητήρες δεν χρειάζονται τους πρόσθετους καταλύτες για να πιάσουν τα όρια των κανονισμών για τα NO_x αλλά, έχουν μεγαλύτερο κόστος μετασκευής σε σχέση με ένα δίχρονο.

B. Σύγκριση βάση των ετήσιων καταναλώσεων καυσίμου.

Υπολογισμός ετήσιων καταναλώσεων καυσίμου δίχρονου containership:

Πίνακας 37. Ετήσια κατανάλωση 2X containership

| | Solution | Scrubber | MGO | LNG |
|----------|----------|------------|----------|----------|
| Συνολικά | HFO | 10200.956 | - | - |
| | MGO | 3125.55632 | 12714.46 | 679.6267 |
| | LNG | - | - | 10395.98 |

Υπολογισμός ετήσιων καταναλώσεων καυσίμου τετράχρονου containership:

Πίνακας 38. Ετήσια κατανάλωση 4X containership

| | Solution | Scrubber | MGO | LNG |
|----------|----------|------------|---------|----------|
| Συνολικά | HFO | 8255.38156 | - | - |
| | MGO | 3019.74316 | 10779.8 | 107.9725 |
| | LNG | - | - | 8329.097 |

Αναλυτικότερα :

- Για την επιλογή Scrubber έχουμε μείωση της κατανάλωσης κατά 24% στην χρήση του HFO και κατά 3.5% στο MGO
- Για την επιλογή MGO έχουμε μείωση κατά 18%
- Για την επιλογή LNG έχουμε μείωση της κατανάλωσης κατά 25% στην χρήση του φυσικού αερίου και κατά 600% στο MGO.

MGO VS LNG

Πίνακας 39. NPV, PBP για τα λιμάνια του Πειραιά και της Πάτρας

| Λιμάνια | Δίχρονο containership | | Τετράχρονο containership | |
|----------|-----------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| | NPV(εκατ. Δολ.) | PBP (χρόνια) | NPV(εκατ. Δολ.) | PBP (χρόνια) |
| Πειραιάς | 11.5 | 3 | 14 | 2.5 |
| Πατρα | 4 | 4.5 | 8 | 3.5 |

Τα αποτελέσματα δείχνουν πως για τις ίδιες ώρες λειτουργίας το τετράχρονο containership εμφανίζει καλύτερη οικονομική συμπεριφορά και άρα είναι επενδυτικά πιο ελκυστικό.

MGO VS SCRUBBER

Πίνακας 40. NPV, PBP για τα λιμάνια του Πειραιά και της Πάτρας

| Λιμάνια | Δίχρονο containership | | Τετράχρονο containership | |
|----------|-----------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| | NPV(εκατ. Δολ.) | PBP (χρόνια) | NPV(εκατ. Δολ.) | PBP (χρόνια) |
| Πειραιάς | 3 | 4.5 | 2.5 | 3.5 |
| Πατρα | 4.5 | 4 | 4.5 | 4 |

Η ταύτιση των δεικτών σε αυτό το σενάριο οφείλεται στις παρόμοιες μειώσεις που υφίστανται όλοι οι δείκτες. Η μικρή απόκλιση που εμφανίζεται στο λιμάνι του Πειραιά οφείλεται στην μικρή μείωση του Spread σε σχέση με το λιμάνι της Πάτρας (208 έναντι 227.5). Η μείωση του NPV οφείλεται στην μικρή μείωση των ετήσιων λειτουργικών εξόδων του τετράχρονου.

LNG VS SCRUBBER

Πίνακας 41. NPV, PBP για τα λιμάνια του Πειραιά και της Πάτρας

| Λιμάνια | Δίχρονο containership | | Τετράχρονο containership | |
|----------|-----------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| | NPV(εκατ. Δολ.) | PBP (χρόνια) | NPV(εκατ. Δολ.) | PBP (χρόνια) |
| Πειραιάς | 8.5 | 1.5 | 11.8 | 1.5 |
| Πατρα | -0.5 | 8 | 4.5 | 2.5 |

Η αύξηση του δείκτη NPV στον Πειραιά και στην Πάτρα και του PBP στην Πάτρα εξηγείται από την μείωση της κατανάλωσης. Ο δείκτης PBP παραμένει σταθερός διότι η χρονική περίοδος είναι τόσο κοντά στην περίοδο που θεωρήθηκε το αρχικό κόστος κτήσης και το μοντέλο που έχει θεωρηθεί δεν προλαβαίνει να αντιληφθεί τις αλλαγές.

4.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων πλοίων RoRo/RoPax

Σε αυτή την υποενότητα θα επιχειρήσουμε να συγκρίνουμε τα δύο υπό μελέτη RoRo/RoPax, αυτό που δρομολογείται στις Κυκλάδες και αυτό που δρομολογείται στην Αδριατική, σε κάθε σενάριο ξεχωριστά για τους δυο οικονομικούς δείκτες που έχουν υπολογισθεί.

Σύγκριση του αρχικού κόστους κτήσης.

Υπολογισμός αρχικού κόστους κτήσης για το RoRo/RoPax που δρομολογείται στις

Κυκλάδες:

Πίνακας 42. Αρχικό κόστος retrofit RoRo/RoPax Κυκλάδων για κάθε επιλογή

| Solution | € | \$ |
|----------|------------|------------|
| MGO | 1,249,420 | 1,624,246 |
| Scrubber | 7,644,420 | 9,937,746 |
| LNG | 10,417,500 | 13,542,750 |

Υπολογισμός αρχικού κόστους κτήσης για το RoRo/RoPax που δρομολογείται στην Αδριατική:

Πίνακας 43. Αρχικό κόστος retrofit RoRo/RoPax Κυκλάδων για κάθε επιλογή

| Solution | € | \$ |
|----------|------------|------------|
| MGO | 3,285,760 | 4,271,488 |
| Scrubber | 22,055,760 | 28,672,488 |
| LNG | 29,934,000 | 38,914,200 |

Το RoRo/RoPax που δρομολογείται στην Αδριατική έχει τριπλάσιο κόστος κτήσης σε κάθε επιλογή. Αυτό είναι αναμενόμενο διότι η συνολική ισχύς του είναι περίπου τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτήν του RoRo/RoPax που δρομολογείται στις Κυκλάδες.

MGO VS LNG

Πίνακας 44. NPV, PBP για τα λιμάνια του Πειραιά και της Πάτρας

| Λιμάνια | RoRo/RoPax Κυκλάδες | | RoRo/RoPax Αδριατική | |
|----------|---------------------|--------------|----------------------|--------------|
| | NPV(εκατ. Δολ.) | PBP (χρόνια) | NPV(εκατ. Δολ.) | PBP (χρόνια) |
| Πειραιάς | 1.5 | 5.7 | 18 | 4.3 |
| Πατρα | -4.6 | 10.1 | -5.7 | 7.6 |

Και τα δύο RoRo/RoPax φαίνονται πιο ελκυστικά για χρήση του LNG όταν το spread βρλίσκεται στην τιμή του 165.1. Αντίθετα, με την τιμή 50 όπου εμφανίζουν και τα δύο αρνητικό NPV σε βάθος δεκαετίας.

MGO VS SCRUBBER

Πίνακας 45. NPV, PBP για τα λιμάνια του Πειραιά και της Πάτρας

| Λιμάνια | RoRo/RoPax Κυκλάδες | | RoRo/RoPax Αδριατική | |
|----------|---------------------|--------------|----------------------|--------------|
| | NPV(εκατ. Δολ.) | PBP (χρόνια) | NPV(εκατ. Δολ.) | PBP (χρόνια) |
| Πειραιάς | -1.5 | 7.8 | 5.8 | 5.2 |
| Πατρα | -0.5 | 6.9 | 9.9 | 4.6 |

Το RoRo/Pax των κυκλάδων και για τις δύο τιμές του spread βγάζει αρνητικό NPV. Αυτό σημαίνει πως η επιλογή MGO θα έχει μεγαλύτερα κέρδη. Αντίθετα, με το RoRo/RoPax της αδριατικής που εμφανίζει θετικό NPV και στα δύο spread.

LNG VS SCRUBBER

Πίνακας 46. NPV, PBP για τα λιμάνια του Πειραιά και της Πάτρας

| Λιμάνια | RoRo/RoPax Κυκλάδες | | RoRo/RoPax Αδριατική | |
|----------|---------------------|--------------|----------------------|--------------|
| | NPV(εκατ. Δολ.) | PBP (χρόνια) | NPV(εκατ. Δολ.) | PBP (χρόνια) |
| Πειραιάς | 3.2 | 3.6 | 12.2 | 3.1 |
| Πατρα | -2.4 | 16 | -7 | 18.3 |

Και τα δύο πλοία για την τιμή του spread 42.9 εμφανίζουν θετικό NPV. Την τιμή όμως του spread της Πάτρας δεν μπορούμε να την θεωρήσουμε διότι και τα δύο πλοία βγαίνουν εκτός ορίου του μοντέλου. Έτσι, θεωρήθηκε για το πλοίο των Κυκλάδων spread 150, ενώ για αυτό της Αδριατικής 135.

5.Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα από την ανάλυση των προηγούμενων κεφαλαίων καθώς επίσης γίνεται αναφορά στα στοιχεία που απαιτούνταν και σε περαιτέρω μελέτες.

5.1. Γενικά Συμπεράσματα

Οι επερχόμενοι κανονισμοί που θα επιβάλλουν περιορισμούς στις εκπομπές αέριων ρύπων μας ωθούν στην ανάγκη εξεύρεσης μιας βιώσιμης λύσης. Υπό αυτό το πρίσμα εκπονήθηκε η παρούσα διπλωματική εργασία. Η έρευνα επικεντρώθηκε σε δύο τύπους πλοίων τα containership και τα RoRo/RoPax. Στα containership επιλέξαμε δύο πλοία τύπου feeder, ένα δίχρονο και ένα τετράχρονο. Ενώ στα RoRo/RoPax η επιλογή έγινε βάση της περιοχής λειτουργίας τους. Έτσι, επιλεχθηκε ένα της Αδριατικής και ένα των Κυκλάδων. Σε αυτά τα τέσσερα πλοία εξετάσαμε τους οικονομικούς δείκτες σε σχέση με την τιμή των καυσίμων. Οι δείκτες που εξετάσαμε ήταν ο δείκτης Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) και ο δείκτης Περιόδου Αποπληρωμής (PBP). Οι τιμές των καυσίμων που δώσαμε έμφαση αφορούσαν τα λιμάνια της Πάτρας και του Πειραιά και προήλθαν από την διπλωματική εργασία του Αντώνιου Π. Δελλή.

Η μελέτη αφορούσε την λειτουργία του πλοίου σε ζώνη ECA καθόλη την διάρκεια της ζωής του. Τα αποτελέσματα όσον αφορά τα containership είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά με μόνο ένα προβληματικό σημείο στο σενάριο LNG vs Scrubber. Εκεί, σε περίπτωση που η τιμή του Spread φτάσει το 200 (LNG=800 \$/ton , HFO= 600\$/ton) το δίχρονο container σταματάει να είναι αποδοτικό ως προς την χρήση LNG έναντι της χρήσης HFO με Scrubber. Το τετράχρονο containership αρχίζει να εμφανίζει προβλήματα για spread 300 (LNG= 900\$/ton , HFO=600\$/ton).

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα RoRo/RoPax δεν είναι τόσο ενθαρρυντικά. Για μικρές τιμές του LNG τα αποτελέσματα είναι άκρως θετικά, όμως όταν αυξάνεται η τιμή του LNG τότε αρχίζουν να εμφανίζονται αδυναμίες οικονομικής φύσεως. Πιο συγκεκριμένα, για το RoRo/RoPax που δραστηριοποιείται στις Κυκλάδες. Όταν η τιμή του LNG φτάσει ή ξεπεράσει τα 750\$/ton τότε η χρήση του LNG σταματά να είναι αποδοτική σε σχέση με την επιλογή Scrubber και αν ξεπεράσει και τα 800\$/ton σταματά να είναι αποδοτική και σε σχέση με το MGO.

Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα και για το RoRo/RoPax που λειτουργεί στην περιοχή της Αδριατικής. Η αποδοτικότητα της επένδυσης μειώνεται καθώς αυξάνεται η τιμή

του LNG. Η χρήση του HFO γίνεται αποδοτικότερη εάν η τιμή του LNG ξεπεράσει τα 735\$/ton. Ενώ, αν ξεπεράσει τα 850 \$/ton η χρήση του MGO φαντάζει πιο ελκυστική.

Ένα ακόμη αξιοσημείωτο που προκύπτει από την μελέτη είναι το πολύ μεγάλο αρχικό κόστος κτήσης. Το οποίο, πολλές φορές είναι συγκρίσιμο με την εμπορική αξία του πλοίου. Τα containership που έχουμε μελετήσει έχουν αξία κοντά στα 10 εκατ. δολάρια με τα αντίστοιχα κόστη κτήσης να είναι στα 9.5 εκατ. δολάρια για το δίχρονο και στα 8.5 εκατ.δολλάρια για το τετράχρονο. Ενώ τα RoRo/RoPax έχουν αρχικά κόστη κτήσης 13.5 εκατ. Δολάρια το πλοίο των Κυκλάδων με εμπορική αξία κοντά στα 20 εκατ. Δολάρια, και 39 εκατ. Δολάρια το πλοίο της Αδριατικής με εμπορική αξία κοντά στα 35 εκατ. Δολάρια.

Εδώ προκύπτει ένα σημαντικό θέμα. Πόσοι επενδυτές θα προθυμοποιηθούν να πραγματοποιήσουν μια επένδυση της όποιας το αρχικό απαιτούμενο κεφάλαιο θα είναι παρόμοιο με την αξία του παγίου. Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο που πιθανώς να αποτρέψει αρκετές επενδυτικές προσπάθειες παρόλα τα θετικά αποτελέσματα που προκύπτουν.

Επίσης, πρέπει να αναφερθεί η ηλικία του στόλου των containership και των RoRo/RoPax που δραστηριοποιούνται στη Μεσόγειο. Πιο συγκεκριμένα, ο μέσος όρος ηλικίας των containership κατηγορίας feeder που κατέπλευσαν στο λιμάνι του Πειραιά το έτος 2012 ήταν κοντά στα 15 έτη. Αυτό είναι ένα επιπλέον πρόβλημα για την χρήση του LNG ως καυσίμου καθώς σε αρκετές περιπτώσεις το PBP ξεπερνά τα 5 έτη. Δηλαδή, η υπολειπόμενη διάρκεια ζωής του πλοίου δεν επαρκεί για να γίνει κερδοφόρα η επένδυση. Το ίδιο πρόβλημα εμφανίζεται και στα RoRo/RoPax. Η πλειονότητα των πλοίων που δραστηριοποιούνται στις Κυκλάδες έχουν μέσο όρο ηλικίας δέκα εως δεκαπέντε χρόνια, με κάποια πλοία να ξεπερνούν τα 25 έτη. Εδώ το πρόβλημα μεγενθύνεται λόγω και του αυξημένου αρχικού κόστους κτήσης. Αντίθετα, τα πλοία που ενεργούν στην Αδριατική δεν έχουν να αντιμετωπίσουν αυτό το πρόβλημα, καθώς είναι πολύ μικρής σχετικά ηλικίας. Βέβαια, υπάρχουν και σε αυτή την γραμμή πλοία άνω των 25 ετών αλλά είναι λίγα σε αριθμό.

Αυτά τα δύο αρνητικά στοιχεία μπορούν να εξαληφθούν μόνο με την βοήθεια των επίσημων φορέων. Επιχορηγήσεις από χρηματοπιστωτικά ιδρύματα και την Ε.Ε. κρίνονται αναγκαίες. Επίσης τα κράτη-μέλη θα πρέπει να δημιουργήσουν τα απαραίτητα κίνητρα για την πραγματοποίηση επενδύσεων σε χερσαίες υποδομές ανεφοδιασμού LNG.

Σύμφωνα με τον εκπρόσωπο της Ε.Ε. για Θέματα Μεταφορών, η Ε.Ε. αποφάσισε να χρηματοδοτήσει, σε πρώτη φάση με 1,5 δισ. ευρώ έργα που αφορούν την περαιτέρω

ανάπτυξη του τομέα της ναυτιλίας. Οι επενδύσεις που χρηματοδοτεί η Ε.Ε αφορούν οτιδήποτε φιλικό προς το περιβάλλον, σχετικά με τον εξοπλισμό, τη σύνδεση των λιμένων με τους υδάτινους δρόμους της ενδοχώρας, τα πληροφοριακά συστήματα, τη ασφάλεια στη θάλασσα και την ενίσχυση της ναυπηγοεπισκευής για την υποστήριξη της ναυτιλίας με την υιοθέτηση βιώσιμων, πράσινων τεχνολογιών σε υπάρχοντα πλοία. Επιπρόσθετα πρέπει να αναφέρουμε για την πραγματοποίηση μελετών διατίθενται κεφάλαια τα οποία μπορεί καλύπτουν έως και το 50 % του κόστους της μελέτης, ενώ η χρηματοδότηση για εφαρμογή των λύσεων ξεκινάει από 30%.

5.2. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η διάθεση της Ευρωπαϊκής Ένωσης να στηρίξει νέες και φιλικότερες προς το περιβάλλον πηγές ενέργειας είναι δεδομένη. Αρα, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η συγχρηματοδότηση που θα υπάρχει τόσο ως προς την μετασκευή των πλοίων, όσο και ως προς την δημιουργία των απαραίτητων εγκαταστάσεων λειτουργίας φυσικού αερίου.

Ακόμη, η τιμή του LNG είναι ένα αντικείμενο συζήτησης. Καθώς, όσο πιο διαδεδομένη γίνεται η χρήση του, θα αυξάνεται η ζήτηση του και τότε ίσως η τιμή του κινηθεί ανοδικά.

Τέλος, σίγουρα θα αξίζει της προσοχής μας το αρχικό κόστος κτήσης. Με τα τωρινά δεδομένα είναι αρκετά υψηλό. Όμως, αν ξεκινήσει μια πιο ευρεία παραγωγή μηχανημάτων και εξοπλισμών που θα στηρίζουν την χρήση του LNG τότε σίγουρη η τιμή αυτή θα μειωθεί.

Αναφορές

Βιβλιογραφία

- [1] DUAL FUEL NOWADAYS DEVELOPMENTS, *HELLENIC MARINE TECHNICAL COMMITTEE, Jacques DESDOUITS, 20 October 2010*
- [2] Lloyd's Register, LNG – fuelled deep sea shipping, August 2012
- [3] ABS, LNG Powered Vessels and the ABS guide for propulsion and auxiliary Systems for Gas fueled ships, November 2011
- [4] ABS, The class perspective , December 2011
- [5] Green ship of the future, ECA retrofit technology, May 2012
- [6] GL, Costs ana benefits of LNG as ship fuel for container vessels
- [7] Johan Gahnstrom, LNG as a fuel: Case studies in Korea and Sweden and partially from TEN-T project, September 2011
- [8] GL, Powering the future of shipping
- [9] Jesper Aagesen, Methods to comply with Future Enviromental Regulations, October 2012
- [10] TRI-ZEN, LNG markets Perspective, January 2012
- [11] RINA, The fuel Bug:LNG as Alternative fuel, May 2011
- [12] Det Norske Veritas, 2012. *Shipping 2020*. DNV
- [13] Consuegra, S. C. & Paalvast, M.S. M., November 2010. *Sustainability in Inland Shipping-The use of LNG as Marine Fuel*. Delft University of Technology, Delft.
- [14] European Commission, January 2013. *SWD (2013) 4 final: Actions towards a comprehensive EU framework on LNG for shipping*. Brussels.
- [15] Levander O. & Sipilä T., February 2008. *LNG auxiliary power in port for container vessels*. In Detail
- [16] Lloyd's Register, June 2012. *Understanding exhaust gas treatment systems: Guidance for shipowners and operators*.
- [17] MAN Diesel & Turbo, *Propulsion Trends in Container Vessels*. Copenhagen

- [18] Maritime Gas Fuel Logistics, December 2008. *Developing LNG as a clean fuel for ships in the Baltic and North Seas.*
- [19] SAFEMED, July 2008. *Study of Maritime Traffic Flows in the Mediterranean Sea.* EU-Funded MEDA Regional Project: Euromed Cooperation on Maritime Safety and Prevention of Pollution from Ships - SAFEMED (MED 2005/109-573).
- [20] Schinas O. & Bani J., May 2012. *The impact of a possible extension at EU level of SECA's to the entire European coastline.* European Parliament, Policy Department B: Structural and Cohesion Policies, Transport and Tourism, Brussels.
- [21] The Danish Maritime Authority, March 2012. *Appendices, North European LNG Infrastructure Project-A feasibility study for an LNG filling station infrastructure.* DMA, Copenhagen.
- [22] Wärtsilä, December 2012. *WÄRTSILÄ 50DF Product Guide.*
- [23] Wärtsilä, June 2012. *WÄRTSILÄ 34DF Product Guide.*

Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις

<http://blogs.dnv.com/>

<http://ec.europa.eu/>

<http://tentea.ec.europa.eu/>

<http://www.aga.com/>

<http://www.emsa.europa.eu/>

<http://www.depa.gr>

<http://www.imo.org/>

<http://www.mandieselturbo.com>

<http://www.portofrotterdam.com>

<http://www.bunkerworld.com/>

<http://shipandbunker.com/prices>

<http://www.wartsila.com/en/Home>