



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

Διερεύνηση επένδυσης εγκατάστασης ναυτικής πλυντρίδας σε πλοίο μεταφοράς χύδην φορτίου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θωμάς Μ. Παπαχαριζάνος

Επιβλέπων: Ιωάννης Μ. Προυσαλίδης , Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Δεκέμβριος 2020

Αφιερωμένο στον πατέρα μου

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον επιβλέποντα καθηγητή Ιωάννη Μ. Προυσαλίδη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής αυτής της διπλωματικής εργασίας καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την πλοιοκτήτρια εταιρία Union Commercial Incorporated που μου έδωσε την ευκαιρία να παρακολουθήσω την κατασκευή ενός bulk carrier σε ναυπηγείο της Ιαπωνίας κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένεια μου, την κοπέλα μου και τους φίλους μου για τη συμπαράσταση και τη βοήθεια τους όλο αυτό το διάστημα.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης λόγω της θαλάσσιας κυκλοφορίας, εστιάζοντας στις εκπομπές των οξειδίων του θείου (SO_x) σε νεόδμητο πλοίο. Από το 2010, το πρόβλημα της μείωσης της εκπομπής SO_x από τα πλοία απασχολεί ιδιαίτερα την παγκόσμια κοινότητα εξαιτίας της εφαρμογής αυστηρών κανονισμών με στόχο τον περιορισμό τους. Οι δύο πιο κοινοί τρόποι συμμόρφωσης με τους εν λόγω κανονισμούς είναι (α) η χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο και (β) η εγκατάσταση πλυντρίδας (scrubber) ανοιχτού βρόχου, κλειστού βρόχου και υβριδικού συστήματος.

Το υπό μελέτη πλοίο, handy size bulk carrier, ναυπηγήθηκε στην Ιαπωνία και τα δεδομένα για την ειδική κατανάλωση καυσίμου στα διάφορα φορτία λειτουργίας τόσο της κύριας μηχανής όσο και των ηλεκτρογεννητριών του, αντλήθηκαν από τις εργοστασιακές δοκιμές. Δεδομένου ότι για κάθε πλοίο και για κάθε μία από τις τέσσερις καταστάσεις πλεύσης του (Sea Going, Rest In Port, Loading In Port και Harbour In&Out) απαιτείται διαφορετικό φορτίο λειτουργίας στην κύρια μηχανή και τις ηλεκτρογεννήτριες κι επιπλέον η εγκατάσταση πλυντρίδας απαιτεί επιπρόσθετο ηλεκτρικό φορτίο, έτσι, στην εργασία αυτή, διερευνήθηκαν τέσσερα διαφορετικά σενάρια. Αυτά είναι:

(i) χρήση καυσίμων με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, (ii) εγκατάσταση συστήματος scrubber με λειτουργία τριών ηλεκτρογεννητριών μέγιστης απόδοσης 440kW η κάθε μία, (iii) εγκατάσταση συστήματος scrubber με λειτουργία τεσσάρων ηλεκτρογεννητριών μέγιστης απόδοσης 440kW η κάθε μία και (iv) εγκατάσταση συστήματος scrubber με λειτουργία τριών ηλεκτρογεννητριών μέγιστης απόδοσης 620kW η κάθε μία.

Σημειώνεται πως στα τρία τελευταία σενάρια μελετάται η εγκατάσταση και των τριών τύπων scrubber (open, closed και hybrid). Με τη δημιουργία κώδικα σε γλώσσα python, υπολογίστηκαν οι καταναλώσεις καυσίμων και λιπαντικών της κύριας μηχανής και των ηλεκτρογεννητριών για κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις με μεταβλητό πλήθος ημερών πλεύσης σε περιοχές ECA.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε οικονομική αξιολόγηση για τα μεταβλητά και σταθερά έξοδα και έσοδα του πλοιοκτήτη, με βάση το πλήθος των ημερών πλεύσης σε περιοχές ECA και τη διαφορά στην τιμή των καυσίμων για κάθε εξεταζόμενο σενάριο. Ως μέσο αξιολόγησης, χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες NPV, IRR και DPP και τα αποτελέσματα τους απεικονίζονται σε διαγράμματα. Για τη διευκόλυνση στη λήψη της ορθότερης απόφασης, θεωρείται πως το νεόδμητο πλοίο θα αντικαταστήσει αδελφό πλοίο της εταιρίας και θα ακολουθήσει τις ίδιες διαδρομές. Με βάση λοιπόν τις ημέρες που αντιστοιχούν σε κάθε κατάσταση πλεύσης της παραπάνω διαδρομής και την κατάσταση της αγοράς παρατηρείται πως η απόφαση της πλοιοκτήτριας εταιρίας για χρήση καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, ανεξαρτήτως της ζώνης πλεύσης, θεωρείται η πιο ασφαλής επιλογή από οικονομικής άποψης.

Abstract

This dissertation studies the problem of environmental pollution due to marine traffic, focusing on SO_x emission on a newbuilding vessel. Since 2010, there's been a growing concern in the maritime industry due to the very strict regulations in aimed at reducing these emissions. The most popular solutions to secure compliance are either: a) consumption of low sulphur fuel oil or, b) installation of scrubber system (open, close or hybrid type).

The vessel examined in this study is a handy size bulk carrier built in Japan. All the technical data in this paper for the specific fuel oil consumption (SFOC) have been taken from the shop trials of both the main engine and the diesel generators. Taking into account the fact that a different operating load is required for the main engine and the diesel generators in four operational conditions (Sea Going, Rest in Port, Loading in Port, Harbour In&Out) as well as the fact that scrubber installation requires additional electrical load, four different cases have been examined. These are:

1) consumption of low sulphur fuel oil, 2) scrubber installation with 3 diesel generators max output 440 kw/each, 3) scrubber installation with 4 diesel generators max output 440 kw/each, 4) scrubber installation with 3 diesel generators max output 620 kw/each.

For cases 2,3,4 all three types of scrubbers (open, closed, hybrid) are taken into account. For the purposes of this thesis a Python Code was created in order to calculate fuel and lubricant consumptions for the main engine and diesel generator for each of the above operational conditions over a variable number of days in ECA.

The last part of this dissertation is an economic evaluation analysis based on the owner's fixed and variable income and expenditures, taking into account the number of days the vessel trades in ECAs as well as the difference in the price of Fuel Oil in every one of the four cases presented. The NPV, IRR and DPP indicators were used as evaluation means and the results are shown in the enclosed diagrams. In order to facilitate the decision making process, it was assumed that the subject newbuilding will replace the company's sister vessel and will sail along the same routes. So, based on the number of days that correspond to each of the four sailing conditions, as well as the current market condition, we reach the conclusion that the owner's decision to opt for Low Sulphur Fuel Oil consumption, was the safest choice from a financial viewpoint.

Contents

Εισαγωγή	27
1 Ναυτιλιακοί ρύποι.....	29
1.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση λόγω αέριων ρύπων	30
1.2 Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον	32
1.3 Κανονισμοί αντιμετώπισης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη ναυτιλία	35
1.4 Μέθοδοι συμμόρφωσης στους ισχύοντες κανονισμούς	41
2 Ναυτικές πλυντρίδες δέσμευσης οξειδίων του θείου	45
2.1 Συστήματα ανοιχτού βρόχου	52
2.2 Συστήματα κλειστού βρόχου.....	54
2.3 Υβριδικά συστήματα.....	56
3 Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας	57
3.1 Χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου.....	58
3.2 Εργοστασιακές και θαλάσσιες δοκιμές	59
3.2.1 Εργοστασιακές δοκιμές κύριας μηχανής	62
3.2.2 Εργοστασιακές δοκιμές ηλεκτρογεννήτριας	69
3.3 Βασικά χαρακτηριστικά ναυτικής πλυντρίδας.....	75
4 Υπολογιστική διαδικασία.....	77
4.1 Καταστάσεις πλεύσης	79
4.2 Καταναλώσεις κύριας μηχανής.....	84
4.2.1 Κατανάλωση καυσίμου κύριας μηχανής.....	84
4.2.2 Κατανάλωση λιπαντικών κύριας μηχανής	86
4.3 Ενεργειακή μελέτη ηλεκτρογεννητριών.....	88
4.3.1 Ηλεκτρικός ισολογισμός.....	91

4.3.2	Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών.....	93
5	Οικονομική μελέτη	99
5.1	Δανεισμός.....	100
5.2	Λειτουργικά έξοδα πλοίου.....	103
5.2.1	Λειτουργικά έξοδα λόγω χρήσης ναυτικής πλυντρίδας	104
5.3	Κόστος καυσίμων και λιπαντικών	108
5.4	Οικονομική αξιολόγηση	115
5.5	Ανάλυση ευαισθησίας	118
5.5.1	Optimistic case analysis.....	120
5.5.2	Pessimistic case analysis	121
5.5.3	Average case analysis.....	122
5.5.4	Αποτελέσματα μελέτης.....	123
6	Συμπεράσματα	127
7	Βιβλιογραφία.....	131
8	Παράρτημα	135
8.1	Παράρτημα Α	135
8.2	Παράρτημα Β	147
8.3	Παράρτημα Γ.....	152

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1.1: Εκπομπές CO ₂ σε γραμμάρια ανά τόνο φορτίου και ανά χιλιόμετρο μεταφοράς (Abadie et al., 2017).....	31
Πίνακας 1.2: Επιπτώσεις των ναυτιλιακών ρύπων στην ατμοσφαιρική ρύπανση και την ανθρώπινη υγεία (Κοτρίλκα Α.-Μ., 2015).....	34
Πίνακας 1.3: Περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο σύμφωνα με το Παράρτημα VI της MARPOL.....	36
Πίνακας 1.4: Όρια εκπομπών NO _x	39
Πίνακας 1.5: Όρια των κανονισμών SO _x και NO _x κατά IMO σε περιοχές ECAs	40
Πίνακας 2.1: Αντιστοιχία λόγου εκπομπών SO ₂ /CO ₂ και περιεκτικότητας σε θείο των καυσαερίων	45
Πίνακας 2.2: Μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση PAH για διάφορες τιμές ισχύος λειτουργίας (ABS, 2018).....	47
Πίνακας 2.3: Χαρακτηριστικά συστήματος scrubber με πύργο τύπου U (ABS, 2018)	50
Πίνακας 2.4: Χαρακτηριστικά του βοηθητικού εξοπλισμού για scrubber ανοιχτού και κλειστού βρόχου (ABS, 2018)	51
Πίνακας 3.1: Βασικά χαρακτηριστικά πλοίου και κύριας μηχανής.....	58
Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά ποιότητας καυσίμου κατά τη διεξαγωγή των shop trials της κύριας μηχανής	62
Πίνακας 3.3: Συγκεντρωτικά δεδομένα και αποτελέσματα των shop trials της κύριας μηχανής.....	66
Πίνακας 3.4: Μετρήσεις και αποτελέσματα των shop trials της κύριας μηχανής για της εκπομπές NO _x	67
Πίνακας 3.5: Χαρακτηριστικά ποιότητας καυσίμου των shop trials του ζεύγους της ηλεκτρογεννήτριας	69
Πίνακας 3.6: Χαρακτηριστικά ποιότητας καυσίμου των shop trials του ζεύγους της ηλεκτρογεννήτριας	70

Πίνακας 3.7: Συγκεντρωτικά δεδομένα και αποτελέσματα των shop trials για το ζεύγος ηλεκτρογεννήτριας.....	71
Πίνακας 3.8: Ειδική κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννήτριας μέγιστου φορτιού 440kW.....	72
Πίνακας 3.9: Ειδική κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννήτριας μέγιστου φορτιού 620kW.....	73
Πίνακας 3.10: Δεδομένα για τον υπολογισμό εκπομπών NOx των ηλεκτρογεννητριών.....	74
Πίνακας 3.11: Αποτελέσματα εκπομπών NOx των ηλεκτρογεννητριών.....	74
Πίνακας 3.12: Χαρακτηριστικά scrubber συστήματος 8MW.....	75
Πίνακας 3.13: Κύριες διαστάσεις επιλεχθέντος συστήματος scrubber.....	76
Πίνακας 3.14: Κόστος εγκατάστασης Scrubber.....	76
Πίνακας 4.1: Ημέρες παραμονής σε κάθε κατάσταση πλεύσης στη διάρκεια ενός έτους.....	81
Πίνακας 4.2: Πλήθος ημερών πλεύσης σε κάθε ζώνη ελέγχου.....	83
Πίνακας 4.3: Ημέρες λειτουργίας συστημάτων scrubber σε ζώνες ελέγχου εκπομπών ανά έτος.....	83
Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά λειτουργίας κύριας μηχανής σε φορτίο 76.9% P _{MCR} . 84	
Πίνακας 4.5: Κατανάλωση καυσίμου κύριας μηχανής για φορτίο λειτουργίας 76.9% P _{MCR} και τρεις τύπους καυσίμου.....	85
Πίνακας 4.6: Κατανάλωση καυσίμου κύριας μηχανής για φορτίο λειτουργίας 50% P _{MCR} και τρεις τύπους καυσίμου.....	85
Πίνακας 4.7: Κατανάλωση καυσίμου κύριας μηχανής σε κάθε κατάσταση πλεύσης για τρεις τύπους καυσίμου.....	85
Πίνακας 4.8: Ειδική κατανάλωση λιπαντικών κύριας μηχανής συναρτήσει της περιεκτικότητας σε θείο του εκάστοτε καυσίμου.....	86
Πίνακας 4.9: Ειδική κατανάλωση λιπαντικών κύριας μηχανής με βάση το ποσοστό σε θείο του χρησιμοποιούμενου καυσίμου.....	86
Πίνακας 4.10: Διορθωμένη ειδική κατανάλωση λιπαντικών κύριας μηχανής με βάση το ποσοστό σε θείο του χρησιμοποιούμενου καυσίμου.....	87

Πίνακας 4.11: Κατανάλωση λιπαντικών κύριας μηχανής στις διάφορες καταστάσεις πλεύσης για τρία διαφορετικά καύσιμα.	87
Πίνακας 4.12: Συγκεντρωτικά δεδομένα λειτουργίας ηλεκτρογεννητριών για τα τέσσερα εξεταζόμενα σενάρια όταν χρησιμοποιείται closed loop scrubber.....	89
Πίνακας 4.13: Συγκεντρωτικά δεδομένα λειτουργίας ηλεκτρογεννητριών για τα τέσσερα εξεταζόμενα σενάρια όταν χρησιμοποιείται hybrid scrubber.....	90
Πίνακας 4.14: Συγκεντρωτικά δεδομένα λειτουργίας ηλεκτρογεννητριών για τα τέσσερα εξεταζόμενα σενάρια όταν χρησιμοποιείται open loop scrubber	90
Πίνακας 4.15: Ενεργειακή απαίτηση και εν λειτουργία ηλεκτρογεννήτριες πρώτου σεναρίου.....	92
Πίνακας 4.16: Κατώτερη θερμογόνο δύναμη χρησιμοποιούμενων καυσίμων.....	93
Πίνακας 4.17: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το πρώτο σενάριο χωρίς scrubber για ζώνες ECA και non ECA.....	94
Πίνακας 4.18: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το δεύτερο σενάριο με closed loop scrubber για ζώνες ECA και non ECA	94
Πίνακας 4.19: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το τρίτο σενάριο με closed loop scrubber για ζώνες ECA και non ECA	95
Πίνακας 4.20: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το τέταρτο σενάριο με closed loop scrubber για ζώνες ECA και non ECA	95
Πίνακας 4.21: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το δεύτερο σενάριο με open loop scrubber για ζώνες non ECA.....	95
Πίνακας 4.22: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το δεύτερο και τρίτο σενάριο με open loop scrubber για ζώνες ECA...	96
Πίνακας 4.23: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το τρίτο σενάριο με open loop scrubber για ζώνες non ECA.....	96
Πίνακας 4.24: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το τέταρτο σενάριο με open loop scrubber για ζώνες non ECA.....	96

Πίνακας 4.25: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το τέταρτο σενάριο με open loop scrubber για ζώνες ECA	97
Πίνακας 5.1: Κόστος κατασκευής πλοίου με closed loop scrubber.....	100
Πίνακας 5.2: Κόστος κατασκευής πλοίου με hybrid scrubber.....	100
Πίνακας 5.3: Κόστος κατασκευής πλοίου με open loop scrubber	100
Πίνακας 5.4: Χαρακτηριστικά δανείου.....	101
Πίνακας 5.5: Ποσόν αποπληρωμής δανείου με χρήση closed loop scrubber	102
Πίνακας 5.6: Ποσόν αποπληρωμής δανείου με χρήση open loop scrubber.....	102
Πίνακας 5.7: Ποσόν αποπληρωμής δανείου με χρήση hybrid scrubber	102
Πίνακας 5.8: Ανάλυση λειτουργικών εξόδων	103
Πίνακας 5.9: Κόστος ασφάλισης πλοίου	103
Πίνακας 5.10: Ετήσια και ημερήσια λειτουργικά έξοδα πλοίου	104
Πίνακας 5.11: Λειτουργικά έξοδα λόγω χρήσης καυστικής σόδας στην περίπτωση λειτουργίας scrubber closed loop.....	105
Πίνακας 5.12: Λειτουργικά έξοδα λόγω παραγωγής ιλυώδους υπολείμματος στην περίπτωση λειτουργίας scrubber closed loop.....	105
Πίνακας 5.13: Ανάλυση εξόδων λόγω παραγωγής ιλυώδους υπολείμματος όταν λειτουργεί open loop και hybrid scrubber.....	105
Πίνακας 5.14: Συνολικά σταθερά έξοδα πλοιοκτήτη για closed loop scrubber	106
Πίνακας 5.15: Ποσοστά παραμονής σε κάθε κατάσταση πλεύσης στη διάρκεια ενός έτους.....	108
Πίνακας 5.16: Τιμές καυσίμων και λιπαντικών για το 2020.....	113
Πίνακας 5.17: Έσοδα πλοιοκτήτη.....	115
Πίνακας 5.18: Τιμές καυσίμων για τη χρονική περίοδο Οκτώβριος 2019-Οκτώβριος 2020.....	118
Πίνακας 5.19: Αποτελέσματα μελέτης για μεγάλη διαφορά στην τιμή των καυσίμων και συγκεκριμένο πλήθος ημερών πλεύσης σε ζώνες ECA.....	124
Πίνακας 5.20: Αποτελέσματα μελέτης για μέση διαφορά στην τιμή των καυσίμων και συγκεκριμένο πλήθος ημερών πλεύσης σε ζώνες ECA	125

Πίνακας 5.21: Αποτελέσματα μελέτης για μικρή διαφορά στην τιμή των καυσίμων και συγκεκριμένο πλήθος ημερών πλεύσης σε ζώνες ECA.....	126
Πίνακας 8.1 : Συγκεντρωτικά δεδομένα και αποτελέσματα των shop trials της ηλεκτρογεννήτριας	147
Πίνακας 8.2 : Electric Power Table	148
Πίνακας 8.3 List of ports	149

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1.1: Ετήσια ανάπτυξη του παγκόσμιου στόλου σε ποσοστό της μεταφορικής ικανότητας των πλοίων (UNCTAD, 2019)	29
Εικόνα 1.2: Κατανομή των περιοχών ECA ανά τον κόσμο (ABS, 2019).....	38
Εικόνα 2.1: Κανονισμοί συμμόρφωσης απορριπτόμενου νερού πλύσης (DNV-GL, 2018)	48
Εικόνα 2.2: Αναπαράσταση συστήματος scrubber με πύργο τύπου U (ABS, 2018)	49
Εικόνα 2.3: Αναπαράσταση διάταξης συστήματος open loop scrubber (ABS, 2018)	53
Εικόνα 2.4: Απαιτούμενη κατανάλωση καυστικής σόδας συναρτήσει ισχύος λειτουργίας κύριας μηχανής (Kullas-Nyman, 2011).....	54
Εικόνα 2.5: Αναπαράσταση διάταξης συστήματος closed loop scrubber (ABS, 2018)	55
Εικόνα 2.6: Αναπαράσταση διάταξης συστήματος hybrid scrubber (ABS, 2018)....	56
Εικόνα 3.1: Κύρια μηχανή πλοίου, στις εγκαταστάσεις του κατασκευαστή.....	59
Εικόνα 3.2: Τυπικά αποτελέσματα shop trials	61
Εικόνα 4.1: Επισκεπτόμενα λιμάνια πλοίου κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού (https://www.mapcustomizer.com)	81

Λίστα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.1: Όρια στην περιεκτικότητα των ναυτιλιακών καυσίμων σε θείο (Cullinane, 2014).....	37
Διάγραμμα 1.2: Όρια εκπομπών NOx τριών επιπέδων(Berger, 2017)	39
Διάγραμμα 3.1 : Εκπομπές NOx κύριας μηχανής στα διαφορά φορτία λειτουργίας	68
Διάγραμμα 3.2: Ειδική κατανάλωση καυσίμου στην έξοδο της ηλεκτρογεννήτριας	72
Διάγραμμα 4.1: Κατανομή επισκεπτόμενων λιμανιών σε κάθε ήπειρο	82
Διάγραμμα 4.2: Ποσοστό ECA, ECA alike και non ECA λιμανιών που επισκέπτεται το πλοίο ανά έτος	83
Διάγραμμα 4.3: Ειδική κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννήτριας με μέγιστο φορτίο λειτουργίας τα 440kW	88
Διάγραμμα 4.4: Ειδική κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννήτριας με μέγιστο φορτίο λειτουργίας τα 620kW	89
Διάγραμμα 5.1: Συνολικά έξοδα πλοιοκτήτη για κάθε εξεταζόμενο σενάριο με closed loop scrubber	107
Διάγραμμα 5.2: Ανάλυση NPV για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber	120
Διάγραμμα 5.3: Ανάλυση NPV για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber	120
Διάγραμμα 5.4: Ανάλυση NPV για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber	120
Διάγραμμα 5.5: Ανάλυση NPV για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber	121
Διάγραμμα 5.6: Ανάλυση NPV για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber	121
Διάγραμμα 5.7: Ανάλυση NPV για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber	121
Διάγραμμα 5.8: Ανάλυση NPV για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber	122

Διάγραμμα 5.9: Ανάλυση NPV για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber.....	122
Διάγραμμα 5.10: Ανάλυση NPV για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber.....	122
Διάγραμμα 8.1: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber.....	135
Διάγραμμα 8.2: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber.....	135
Διάγραμμα 8.3: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber.....	135
Διάγραμμα 8.4: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber.....	136
Διάγραμμα 8.5: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber.....	136
Διάγραμμα 8.6: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber.....	136
Διάγραμμα 8.7: Ανάλυση IRR για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber.....	137
Διάγραμμα 8.8: Ανάλυση IRR για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber.....	137
Διάγραμμα 8.9: Ανάλυση IRR για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber.....	137
Διάγραμμα 8.10: Ανάλυση DPP για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber.....	138
Διάγραμμα 8.11: Ανάλυση DPP για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber.....	138
Διάγραμμα 8.12: Ανάλυση DPP για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber.....	138
Διάγραμμα 8.13: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber.....	139

Διάγραμμα 8.14: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber	139
Διάγραμμα 8.15: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber	139
Διάγραμμα 8.16: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber	140
Διάγραμμα 8.17: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber	140
Διάγραμμα 8.18: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber	140
Διάγραμμα 8.19: Ανάλυση IRR για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber	141
Διάγραμμα 8.20: Ανάλυση IRR για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber	141
Διάγραμμα 8.21: Ανάλυση IRR για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber	141
Διάγραμμα 8.22: Ανάλυση DPP για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber	142
Διάγραμμα 8.23: Ανάλυση DPP για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber	142
Διάγραμμα 8.24: Ανάλυση DPP για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber	142
Διάγραμμα 8.25: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber	143
Διάγραμμα 8.26: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber	143
Διάγραμμα 8.27: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber	143
Διάγραμμα 8.28: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber	144

Διάγραμμα 8.29: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber	144
Διάγραμμα 8.30: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber	144
Διάγραμμα 8.31: Ανάλυση IRR για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber	145
Διάγραμμα 8.32: Ανάλυση IRR για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber	145
Διάγραμμα 8.33: Ανάλυση IRR για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber	145
Διάγραμμα 8.34: Ανάλυση DPP για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber	146
Διάγραμμα 8.35: Ανάλυση DPP για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber	146
Διάγραμμα 8.36: Ανάλυση DPP για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber	146

Λίστα Συντομογραφιών

ABS	American Bureau of Shipping
CARB	California Air Resources Board
CCS	China Classification Society
ClassNK	Nippon Kaiji Kyokai
DNV	Det Norske Veritas
DPP	Discounted Payback Period
DWT	Deadweight
ECA	Emission Control Area
EEB	European Environmental Bureau
EGCS	Exhaust Gas Cleaning System/Scrubber
EU	European Union
FOC	Fuel Oil Consumption
HFO (IFO180/380)	Heavy Fuel Oil
IMO	International Maritime Organization
IRR	Internal Rate of Return
LCV	Lower Calorific Value
LNG	Liquefied Natural Gas
LSFO	Low Sulphur Fuel Oil
MCR	Maximum Continuous Rating
MEPC	Marine Environment Protection Committee
MGO	Marine Gas Oil
NECA	Nitrogen Emission Control Area
NPV	Net Present Value
OGV	Ocean Going Vessel
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
PM	Particulate Matter
SAR	Seas At Risk
SECA	Sulphur Emission Control Area
SFOC	Specific Fuel Oil Consumption
UN	United Nations
UNCAD	United Nations Conference on Trade and Development
WTS	Water Treatment System

Εισαγωγή

Κίνητρο για την παρούσα διπλωματική εργασία, αποτέλεσε η τετράμηνη παρακολούθηση των επιμέρους εργασιών της ανέγερσης ενός handy size bulk carrier σε ναυπηγείο της Ιαπωνίας ως μέρος της πρακτικής άσκησης στην πλοιοκτήτρια εταιρία. Οι συζητήσεις για την ναυπήγηση του πλοίου από την πλοιοκτήτρια εταιρία ξεκίνησαν το τελευταίο τρίμηνο του 2017, με τη διαδικασία κατασκευής να ξεκινά το τρίτο τρίμηνο του 2018. Έως τον Μάρτιο του 2019 είχαν ολοκληρωθεί οι περισσότερες εργασίες κατασκευής των υπό-τομέων και ακολούθησε η συναρμολόγηση των τομέων (block joining). Αυτό είναι και το στάδιο στο οποίο ξεκίνησε η παρακολούθηση της κατασκευής. Προς τα τέλη του ίδιου μήνα πραγματοποιήθηκαν οι εργοστασιακές δοκιμές (shop trials) όπου διαπιστώθηκε η σωστή λειτουργία της κύριας μηχανής, η οποία και τοποθετήθηκε στο χώρο του μηχανοστασίου του πλοίου μία εβδομάδα αργότερα. Αφού το block joining είχε ολοκληρωθεί επιτυχώς, στις 24 Απριλίου 2019 πραγματοποιήθηκε η καθέλκυση του πλοίου. Οι εργασίες συνεχίστηκαν με την ολοκλήρωση του χώρου ενδιαίτησης και τον πλήρη εξοπλισμό του πλοίου, έως τις 29 Μαΐου 2019 όπου έλαβαν χώρα οι θαλάσσιες δοκιμές (sea trials). Τέλος, στις 11 Ιουνίου 2019, μετά την τελετή της παράδοσης (delivery), το πλοίο απέπλευσε για το πρώτο του ταξίδι.

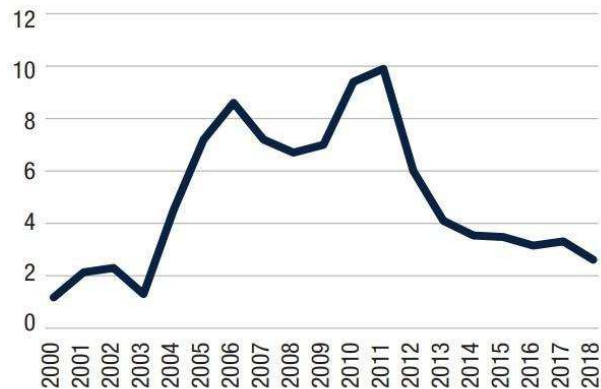
Τα χαρακτηριστικά των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται στην εργασία, αποτελούν πραγματικά δεδομένα του ήδη εγκαταστημένου εξοπλισμού στο πλοίο. Τα αποτελέσματα των shop trials με βάση τα οποία γίνονται οι επιμέρους υπολογισμοί, αντλήθηκαν από τον κατασκευαστή της κύριας μηχανής μετά από έγκριση του ναυπηγείου.

Στο συγκεκριμένο πλοίο, η πλοιοκτήτρια εταιρία επέλεξε να μην επενδύσει σε σύστημα scrubber, καθώς την περίοδο των διαπραγματεύσεων για την κατασκευή του πλοίου (2017) αφενός δεν υπήρχε επαρκής γνώση ως προς τον τρόπο λειτουργίας των scrubbers στην ναυτιλία και αφετέρου εξαιτίας των νέων κανονισμών ήταν αναμενόμενη η δημιουργία ενός καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο που αντικαθιστούσε το HFO. Η παρούσα διπλωματική εργασία, μελετά κατά πόσο αυτή η απόφαση είναι η βέλτιστη με βάση την ηλεκτρολογική εγκατάσταση, τον πλου του πλοίου και τις τιμές των καυσίμων στην αγορά, για λειτουργία με ή χωρίς εγκατάσταση scrubber.

Η μελέτη ξεκινά με την παρουσίαση των προβλημάτων που προκύπτουν από τις εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα και τους κανονισμούς που θεσπίστηκαν για την αντιμετώπισή τους.

1 Ναυτιλιακοί ρύποι

Οι θαλάσσιες μεταφορές έχουν αυξηθεί ραγδαία τα τελευταία 40 χρόνια σε συνολική μεταφορική ικανότητα και σε αριθμό πλοίων. Σχεδόν το 90% του παγκόσμιου εμπορίου μεταφέρεται δια θαλάσσης (ICS, 2014). Αυτή η ανάπτυξη οφείλεται στην αύξηση της ζήτησης για τη μεταφορά αγαθών σε μία ολοένα και πιο παγκοσμιοποιημένη οικονομία. Το 2019 ο στόλος απαρτιζόταν από 95,402 πλοία με συνολική μεταφορική ικανότητα 1.97 δισεκατομμύρια τόνους (DWT). Ο συνολικός μεταφερόμενος όγκος έφτασε τα 11 δισεκατομμύρια τόνους (UNCTAD, 2019) και συγκριτικά με το έτος 2018, παρατηρείται αύξηση της τάξεως του 2.7%. Ο συνολικός μεταφερόμενος όγκος εκτιμάται να φτάσει το ύψος των 17 δισεκατομμυρίων τόνων μέχρι τις αρχές του 2030 (ICS, 2014). Κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται από την εικόνα 1.1, καθώς παρατηρείται ανάπτυξη της συνολικής μεταφορικής ικανότητας των πλοίων.



Εικόνα 1.1: Ετήσια ανάπτυξη του παγκόσμιου στόλου σε ποσοστό της μεταφορικής ικανότητας των πλοίων (UNCTAD, 2019)

Οι τάσεις υποδηλώνουν συνεχή αύξηση τόσο του θαλάσσιου εμπορίου όσο και του μεγέθους του παγκόσμιου στόλου. Αυτή η αύξηση της ζήτησης επηρεάζει την κατανάλωση, τη διαθεσιμότητα και την τιμή των καυσίμων των πλοίων (UNCTAD, 2019). Έως και το 50% του κόστους ενός ταξιδιού αντιστοιχεί στο κόστος των καυσίμων που χρησιμοποιούνται (Bialystocki & Konovessis, 2016), στην παρούσα διπλωματική όμως, η κατανάλωση καυσίμων και το κόστος αυτών αποτελεί μεταβλητή. Η κατανάλωση καυσίμων στη ναυτιλιακή βιομηχανία σχετίζεται στενά, όπως και σε άλλους τομείς, με τις εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα. Στις επόμενες ενότητες αναλύονται οι διεργασίες παραγωγής των ρύπων και οι επιπτώσεις τους στη ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Τέλος, παρατίθεται η διαμόρφωση των κανονισμών για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανση από την ναυτιλία.

1.1 Ατμοσφαιρική ρύπανση λόγω αέριων ρύπων

Τα ναυτιλιακά καύσιμα, αποτελούνται κατά κύριο λόγο από άνθρακα και υδρογόνο (υδρογονάνθρακες πετρελαίου) με τα ποσοστά του άνθρακα να κυμαίνονται μεταξύ 84,9% και 87,4% (IMO, 2014). Άλλες προσμίξεις που συνήθως συναντώνται είναι αυτές του θείου, η περιεκτικότητα του οποίου αλλάζει ανάλογα με το είδος του καυσίμου.

Η απαιτούμενη καύση του καυσίμου πραγματοποιείται μέσω της προσθήκης οξυγόνου από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Το αποτέλεσμα της χημικής αυτής αντίδρασης είναι η έκλυση καυσαερίων τα οποία αποτελούνται κατά κύριο λόγο από άζωτο (N_2), οξυγόνο (O_2), υδρατμούς (H_2O) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Σε πολύ μικρότερο ποσοστό περιέχουν οξειδία του αζώτου (NO_x), οξειδία του θείου (SO_x), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), άκαυστους υδρογονάνθρακες και αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter - PM) (Κοτρίλκα Α.-Μ., 2015). Παρακάτω παρουσιάζεται ο τρόπος δημιουργίας των σημαντικότερων ατμοσφαιρικών ρύπων των ναυτιλιακών καυσίμων.

SO_x

Τα περισσότερα ναυτιλιακά καύσιμα είναι υψηλής περιεκτικότητας σε θείο. Κατά την καύση τους, το θείο οξειδώνεται από το οξυγόνο του αέρα, δημιουργώντας οξειδία του θείου, γνωστά και ως SO_x . Τα συνηθέστερης μορφής οξειδία του θείου, είναι τα SO_2 και SO_3 σε τυπική αναλογία (SO_2/SO_3) ίση με 15/1 (MAN & B&W, 2004). Το SO_3 αντιδρά με την υγρασία (H_2O) και δημιουργεί σωματίδια θειικού οξέος (H_2SO_4) μικροσκοπικού μεγέθους, που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα (αερολύματα) (Κοτρίλκα Α.-Μ., 2015). Οι εκπομπές SO_x από τη ναυτιλία αντιπροσωπεύουν 5-8% του συνόλου των εκπομπών SO_x παγκοσμίως (EEB & SAR, 2004).

NO_x

Το άζωτο (N_2) του ατμοσφαιρικού αέρα είναι χημικά αδρανές υπό κανονικές θερμοκρασίες και δεν αντιδρά με το οξυγόνο (O_2). Μέσα όμως στις μηχανές εσωτερικής καύσης, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν, ενεργοποιείται, αντιδρά με το οξυγόνο του αέρα και οξειδώνεται σε οξειδία του αζώτου, γνωστά ως NO_x (Κοτρίλκα Α.-Μ., 2015). Τα κυριότερα οξειδία του αζώτου που παράγονται κατά την καύση είναι το μονοξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), (IMO, 2008a). Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία καύσης (π.χ. υψηλή πίεση, υψηλή αναλογία συμπίεσης, υψηλό ποσοστό παροχής καυσίμου, κ.λπ.) και η διάρκεια της καύσης, τόσο μεγαλύτερη είναι η παραγόμενη ποσότητα NO_x . Έχει μάλιστα παρατηρηθεί πως οι αργόστροφοι κινητήρες παράγουν περισσότερα NO_x από ότι οι ταχύστροφοι (IMO, 2008a). Οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου (NO_x) από τη ναυτιλία αντιπροσωπεύουν περίπου το 15% των συνολικών παγκόσμιων εκπομπών NO_x (IMO, 2009).

CO_x

Όπως φαίνεται στον πίνακα 1.1, η ναυτιλία αποτελεί το ευγενέστερο μέσο μεταφοράς φορτίου από άποψη εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) σε γραμμάρια που εκπέμπονται ανά τόνο φορτίου και ανά χιλιόμετρο μεταφοράς, σε σχέση με τις αερομεταφορές και τις χερσαίες μεταφορές (Abadie et al., 2017). Ωστόσο, αποτελεί σημαντικό μέρος των συνολικών εκπομπών CO₂ παγκοσμίως, με ποσοστό που ανέρχεται στο 2.2% για το έτος 2012 (ICS, 2014).

Πίνακας 1.1: Εκπομπές CO₂ σε γραμμάρια ανά τόνο φορτίου και ανά χιλιόμετρο μεταφοράς (Abadie et al., 2017)

ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂
ΕΝΑΕΡΙΕΣ	450-500g
ΧΕΡΣΑΙΕΣ	30-150g
ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ	10-40g

Όταν πραγματοποιείται τέλεια καύση καυσίμου, όλος ο άνθρακας οξειδώνεται δημιουργώντας CO₂. Το υδρογόνο, ενώνεται με το οξυγόνο του αέρα δημιουργώντας υδρατμούς (H₂O). Καθώς όμως στους ναυτικούς κινητήρες δεν επικρατούν πάντα συνθήκες τέλει καύσης, προκύπτουν καυσαέρια όπως σωματίδια άνθρακα (αιθάλη), μονοξείδιο του άνθρακα CO, άκαυστοι υδρογονάνθρακες ή μερικώς οξειδωμένοι υδρογονάνθρακες (Heywood, 1988).

PM

Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) αποτελούν ένα σύνθετο μείγμα οργανικών και ανόργανων ουσιών. Περιλαμβάνουν ατομικό άνθρακα, αιθάλη, στάχτη, πολύ μικρά σωματίδια καυσίμου που δεν κάηκε ή κάηκε ατελώς, άκαυστο λιπαντικό έλαιο, θειικά και υγρασία. Ειδικά στις εξατμίσεις των πλοίων, παράγονται κυρίως σωματίδια θειικών και καπνιάς (Agrawal et al., 2008)

1.2 Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον

Ουσίες όπως τα SO_x, NO_x, CO₂ και τα αιωρούμενα σωματίδια είναι εξαιρετικά επιβλαβή. Στην παρούσα ενότητα, αναπτύσσονται οι επιπτώσεις των παραπάνω ουσιών τόσο στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον και κατά συνέπεια την κλιματική αλλαγή.

Ενώσεις Sox

Το διοξείδιο του θείου (SO₂) είναι από τους κυριότερους ρύπους που εκλύεται από την καύση των πετρελαιομηχανών. Είναι ένα αέριο, άχρωμο, με χαρακτηριστική δυσάρεστη οσμή. Διαλύεται στην υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα μετατρέπόμενο σε θειικό οξύ H₂SO₄. Το θειικό οξύ, προκαλεί μείωση του pH της βροχής δημιουργώντας έτσι όξινη βροχή. Η όξινη βροχή, ανάλογα με το pH και τον χρόνο έκθεσης, μπορεί να προκαλέσει βλάβες στα φυτά (π.χ. κάψιμο των φύλλων), στο δέρμα και στο χαρτί, να διαβρώσει μέταλλα και να επιδράσει στα δομικά υλικά (Κοτρίλκα Ά.-Μ., 2015). Το τριοξείδιο του θείου γνωστό (ανυδρίτης του θειικού οξέος) είναι μία ανόργανη χημική ένωση με μοριακό τύπο SO₃. Αιωρούμενο στη ατμόσφαιρα, το τριοξείδιο του θείου αποτελεί σημαντικό ατμοσφαιρικό ρύπο και είναι το κυριότερο αίτιο για την όξινη βροχή. Τα SO_x είναι επιβλαβή και για την ανθρώπινη υγεία. Ενδεικτικά, μακροχρόνια έκθεση σε αυτά, μπορεί να τροποποιήσει τον αμυντικό μηχανισμό των πνευμόνων και να επιδεινώσει τυχόν υπάρχουσες καρδιοαγγειακές παθήσεις όπως και να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα.

Ενώσεις NOx

Το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) είναι αέριο με καφέ χρώμα, διαλυτό στο νερό, ισχυρό οξειδωτικό, με οξεία ερεθιστική οσμή. Το μονοξείδιο του αζώτου είναι αέριο άχρωμο και άοσμο. Το χαρακτηριστικό των οξειδίων του αζώτου είναι ότι συνεισφέρουν στο σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους στην ατμόσφαιρα των πόλεων. Το φωτοχημικό νέφος δημιουργείται όταν τα NO_x και άκαυστοι υδρογονάνθρακες, με μία σειρά πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων παρουσία φωτός καταλήγουν στη δημιουργία όζοντος (O₃) και μίας μεγάλης ποικιλίας άλλων οργανικών ουσιών. Το φωτοχημικό νέφος έχει ως αποτέλεσμα ερεθισμό στα μάτια και τους πνεύμονες, καταστροφή των φύλλων στα φυτά κλπ. Τα NO_x συνεισφέρουν μαζί με τα SO_x στον σχηματισμό της όξινης βροχής (Κοτρίλκα Ά.-Μ., 2015). Τέλος τα NO_x σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλούν αναπνευστικά προβλήματα, ιδιαίτερα σε ευπαθείς ομάδες.

Ενώσεις COx

Το διοξείδιο του άνθρακα εισπνεόμενο (CO₂) στις συγκεντρώσεις που απαντώνται στην ατμόσφαιρα, ενώ δεν εν έχει άμεσες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, αποτελεί όμως τη βασική αιτία για το σημαντικότερο περιβαλλοντικό ζήτημα της εποχής μας, το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Κοτρίλκα Α.-Μ., 2015). Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι άχρωμο, άφλεκτο και άοσμο αέριο. Εισπνεόμενο σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ταχεία αναπνοή, αναισθησία έως και θάνατο. Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι άχρωμο, άοσμο και άγευστο, ελαφρύτερο από τον αέρα και ελάχιστα διαλυτό στο νερό. Λόγω διάφορων διεργασιών, μπορεί να προκαλέσει ανωμαλίες στο κυκλοφορικό σύστημα μειώνοντας την οξυγόνωση στους ιστούς με αποτέλεσμα συμπτώματα ανοξίας. Επίσης μπορεί να επηρεάσει το κεντρικό νευρικό σύστημα, το αναπνευστικό σύστημα και να προκαλέσει ανωμαλίες στην όραση, απώλεια προσανατολισμού και σε ακραίες περιπτώσεις απώλεια αισθήσεων και πνευματικής διαυγείας.

Σωματίδια PM

Τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) με μέγεθος μεγαλύτερο από 10 μm παγιδεύονται στη μύτη ή τον φάρυγγα και στην συνέχεια απομακρύνονται ή καταπίνονται χωρίς να δημιουργούν ιδιαίτερο πρόβλημα. Τα μικρότερα όμως σωματίδια, και ιδιαίτερα εκείνα με διάμετρο μικρότερη των 2,5 μm, εισέρχονται στους πνεύμονες, όπου και παραμένουν, και είναι δύσκολη η απομάκρυνσή τους, με αποτέλεσμα την πρόκληση πνευμονικών προβλημάτων (Κοτρίλκα Α.-Μ., 2015). Σύμφωνα με μελέτη (Corbett et al., 2007), τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) από τη ναυτιλία ευθύνονται για περίπου 60.000 πρόωρους θανάτους ετησίως σε όλο τον πλανήτη από καρδιοαναπνευστικά προβλήματα και καρκίνο του πνεύμονα, με τους περισσότερους να λαμβάνουν χώρα κοντά στις ακτές της Ευρώπης, της Ανατολικής Ασίας και της Νότιας Ασίας.

Μία σύνοψη των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον παρουσιάζεται στον πίνακα 1.2.

Ναυτιλιακοί ρύποι

Πίνακας 1.2: Επιπτώσεις των ναυτιλιακών ρύπων στην ατμοσφαιρική ρύπανση και την ανθρώπινη υγεία (Κοτρίλκα Α.-Μ., 2015)

	SO_x, NO_x, PM	CO₂
Χωρική κλίμακα επιπτώσεων	Τοπική	Παγκόσμια
Χρονική κλίμακα επιπτώσεων	Βραχυπρόθεσμα Μακροπρόθεσμα	Μακροπρόθεσμα
Επιπτώσεις στο περιβάλλον	Όξινη βροχή Νέφος Φωτοχημικό νέφος Νέφος αιθαλομίχλης	Φαινόμενο θερμοκηπίου Ακραία καιρικά φαινόμενα Επιπτώσεις στους υδατικούς πόρους και τη γεωργία
Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία	Αναπνευστικά προβλήματα Ερεθισμός σε μάτια, μύτη, πνεύμονες Άσθμα Χρόνια βρογχίτιδα Καρδιοπάθειες	Έμμεσες επιπτώσεις λόγω περιβαλλοντικών επιπτώσεων

1.3 Κανονισμοί αντιμετώπισης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη ναυτιλία

Όπως παρατηρήθηκε και από τα προηγούμενα, οι εκπομπές ρύπων όπως τα SO_x, NO_x και PM από τη ναυτιλία, έχουν τεράστιο κοινωνικό κόστος για την ανθρώπινη υγεία καθώς και για το περιβάλλον, τόσο σε τοπική όσο και σε παγκόσμια κλίμακα (Corbett, J.J., Fischbeck, 1997; Corbett et al., 2007; Schröder et al., 2017). Μελέτες σχετικά με τη γεωγραφική κατανομή της ναυτιλιακής κίνησης έδειξαν ότι το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών λαμβάνει χώρα στο βόρειο ημισφαίριο, εντός ενός καλά προσδιορισμένου συστήματος διεθνών θαλάσσιων οδών (Endresen et al., 2003). Οι Corbett et al., (1999) εκτιμούν ότι το 85% των αέριων εκπομπών της ναυτιλίας γίνεται στο βόρειο ημισφαίριο και μάλιστα ότι το 52% επιδρά στον βόρειο Ατλαντικό και το 27% στον βόρειο Ειρηνικό.

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) είναι μία υπηρεσία των Ηνωμένων Εθνών (UN) που ευθύνεται για την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος από τους ναυτικούς ρύπους μέσω κανονισμών στους οποίους πρέπει να συμμορφώνονται όλα τα πλοία των κρατών μελών του. Συγκεκριμένα, η έκδοση του, MARPOL (Annex VI) που αφορά στη προστασία από τη ρύπανση στη θάλασσα, τέθηκε σε ισχύ το 2005 και έθετε τα όρια στις εκπομπές των κύριων ρύπων στα καυσαέρια των πλοίων, δηλαδή στα οξείδια του θείου (SO_x) και τα οξείδια του αζώτου (NO_x).

Αμέσως μετά την θέση σε ισχύ του Παραρτήματος VI της MARPOL το 2005, η Επιτροπή Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC), συμφώνησε να αναθεωρήσει το παράρτημα VI της MARPOL με στόχο τη σημαντική αύξηση των ορίων εκπομπών υπό το πρίσμα των τεχνολογικών εξελίξεων και της ως τότε εμπειρίας. Ως αποτέλεσμα τριετούς μελέτης η MEPC εξέδωσε το αναθεωρημένο παράρτημα VI της MARPOL και τον σχετικό Τεχνικό Κώδικα NO_x του 2008 που τέθηκε σε ισχύ από 1/7/2010.

Οι σημαντικότερες αλλαγές αφορούσαν την προοδευτική μείωση των εκπομπών SO_x, NO_x, (και έμμεσα των PM) και τη δημιουργία Περιοχών Ελέγχου Εκπομπών (Emission Control Areas- ECAs) όπου οι εκπομπές καυσαερίων θα πρέπει να είναι ακόμα μικρότερες. Οι περιοχές ECA σύμφωνα με την MARPOL απαρτίζονται από τη Βαλτική, τη Βόρεια Θάλασσα, τις ακτές της Βόρειας Αμερικής και τέλος τις περιοχές των ΗΠΑ στην Καραϊβική, δηλαδή τα θαλάσσια ύδατα κοντά στις ακτές του Πουέρτο Ρίκο και των Παρθένων Νήσων (IMO, 2008b).

Ναυτιλιακοί ρύποι

SO_x

Το παράρτημα VI της MARPOL αρχικά υποχρέωνε τα πλοία να χρησιμοποιούν παγκοσμίως καύσιμο με ανώτατο όριο περιεκτικότητας σε θείο, 4,5% κ.β. Το όριο αυτό μειώθηκε στο 3.5% το 2012 και τέλος στο 0.5% από 1/1/2020 (πίνακας 1.3). Για τις ζώνες SECAs το όριο περιεκτικότητας σε θείο των καυσίμων αρχικά δεν έπρεπε να ξεπερνάει το 1,5% κ.β. Ωστόσο, η οδηγία άλλαξε πάλι το 2010 όπου ορίστηκε μέγιστη τιμή περιεκτικότητας 1%, και το 2015 μειώθηκε ακόμα περισσότερο φτάνοντας το 0.1%. Η χρήση καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο δεν είναι υποχρεωτική (ABS, 2018). Τα πλοία μπορούν εναλλακτικά να καταναλώνουν καύσιμα υψηλής περιεκτικότητας σε θείο εφαρμόζοντας παράλληλα συστήματα καθαρισμού των καυσαερίων ή οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία μειώνει τις εκπομπές SO₂ στα επιτρεπτά όρια.

Πίνακας 1.3: Περιεκτικότητα των καυσίμων σε θείο σύμφωνα με το Παράρτημα VI της MARPOL

Εκτός SECA	Εντός SECA
4,50% (κ.β.) πριν την 1η Ιανουαρίου 2012	1,50% (κ.β.) πριν την 1η Ιουλίου 2010
3,50% (κ.β.) από την 1η Ιανουαρίου 2012	1,00% (κ.β.) από την 1η Ιουλίου 2010
0,50% (κ.β.) από την 1η Ιανουαρίου 2020	0,10% (κ.β.) από την 1η Ιουλίου 2015

Εκτός από τις περιοχές ECA κατά IMO διάφορες χώρες έχουν δημιουργήσει δικές τους περιοχές ελέγχου εκπομπών ρύπων (Emission Control Areas – ECA/SECA) όπου ισχύουν αυστηρότερα μέτρα. Τέτοιες περιοχές είναι για παράδειγμα η Ευρώπη, η Αμερική και η Κίνα όπου οι ισχύοντες κανονισμοί παρουσιάζονται παρακάτω.

Στην Ευρώπη από την 1/1/2010, τα πλοία που βρίσκονται σε λιμάνι για πάνω από 2 ώρες υποχρεούνται στην κατανάλωση καυσίμου με ποσοστό θείου μέχρι 0.1%κ.β. (ABS, 2018). Ο κανονισμός αυτός προέκυψε από την οδηγία 2005/33/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου η οποία ήταν τροποποίηση της αρχικής οδηγίας 1999/32/EK, (EU, 2005) .

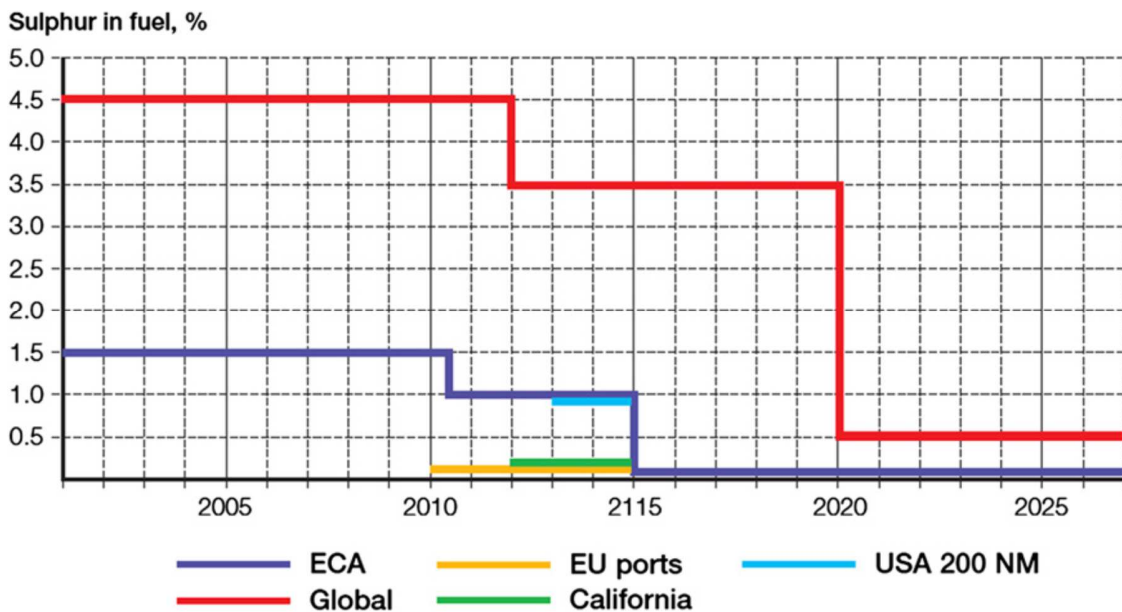
Στην πολιτεία της Καλιφόρνιας από 1/8/2012 όλα τα πλοία που πλέουν σε απόσταση 24 ναυτικών μιλίων από την στεριά θα πρέπει να ακολουθούν το “Ocean-Going Vessel (OGV) Fuel regulation” το οποίο υποχρεώνει την κατανάλωση καυσίμου με ποσοστό θείου μέχρι 0.1%κ.β. σύμφωνα με τον αρμόδιο οργανισμό CARB. Επίσης υπάρχει απαγόρευση της χρήσης scrubber, εκτός αν χορηγηθεί ειδική άδεια για ερευνητικούς σκοπούς πριν το πλοίο εισέλθει στα χωρικά ύδατα της παραπάνω περιοχής (ABS, 2018).

Ναυτιλιακοί ρύποι

Στο τέλος του 2015 η κινέζικη κυβέρνηση ανακοίνωσε ένα τριετές πρόγραμμα με σκοπό την μείωση των εκπομπών Sox με εφαρμογή από 1/1/2016. Αυτό περιλάμβανε τρεις περιοχές ECAs που ονομάστηκαν China Domestic ECA 2015. Το πρόγραμμα αυτό αναθεωρήθηκε τον Νοέμβριο του 2018 και πλέον καλύπτει όλα τα παράκτια κινέζικα χωρικά ύδατα σε απόσταση 12 ναυτικών μιλίων από την ακτή με εξαίρεση των χωρικών υδάτων του Χονγκ Κονγκ, Μακάο και Ταϊβάν. Συγκεκριμένα ισχύουν τα κάτωθι (CCS, 2018):

- Από 1/1/2019 τα πλοία που εισέρχονται στις κινέζικες ECA θα πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμο περιεκτικότητας έως 0.5% σε θείο
- Από 1/1/2020 τα πλοία που εισέρχονται στα εσωτερικά ύδατα των κινέζικων ECA θα πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμο περιεκτικότητας έως 0.1% σε θείο
- Από 1/1/2022 τα πλοία που εισέρχονται στα ύδατα της νήσου Χαϊνάν θα πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμο περιεκτικότητας έως 0.1% σε θείο

Όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στο διάγραμμα 1.1 και ειδικότερα, η κατανομή των περιοχών ECA ανά τον κόσμο, στην εικόνα 1.2.



Διάγραμμα 1.1: Όρια στην περιεκτικότητα των ναυτιλιακών καυσίμων σε θείο (Cullinane, 2014)



Εικόνα 1.2: Κατανομή των περιοχών ECA ανά τον κόσμο (ABS, 2019)

NO_x

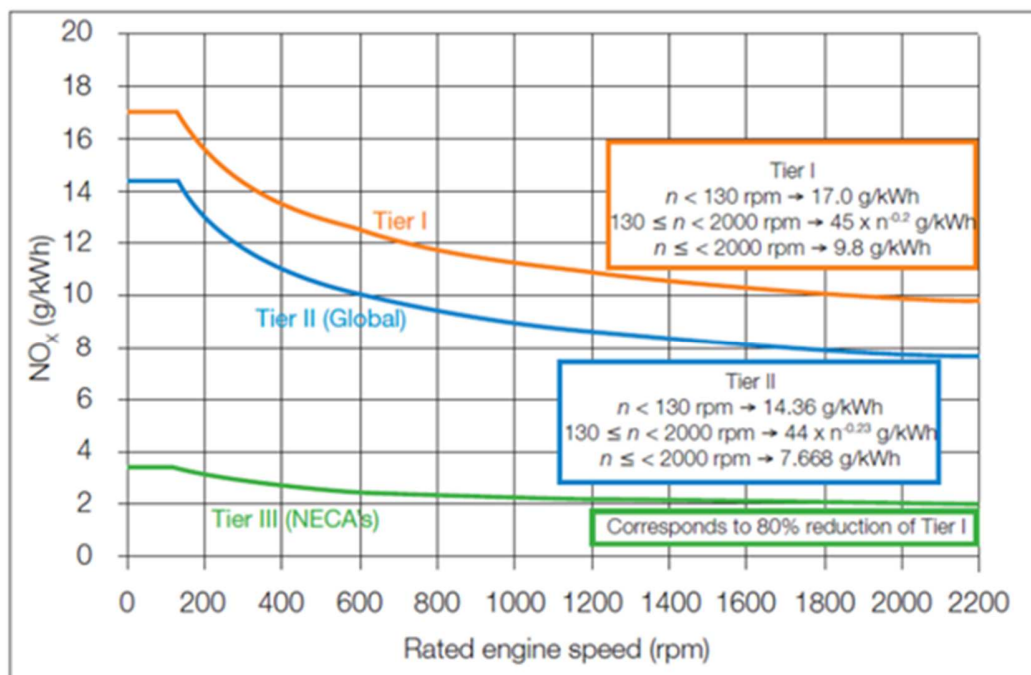
Ο Κανονισμός 13 του παραρτήματος VI της MARPOL καθορίζει τις ποσότητες των NO_x τις οποίες επιτρέπεται ένα πλοίο να εκπέμπει ανά kWh σύμφωνα με την ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα (n). Τα επιβληθέντα όρια χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες-επίπεδα, τα Tier I-III, με βάση το έτος κατασκευής του πλοίου. Έτσι λοιπόν, για πλοία κατασκευασμένα την ή μετά την 1/1/2000, αντιστοιχούν τα όρια του Tier I, για πλοία κατασκευασμένα την ή μετά την 1/1/2011, αντιστοιχούν τα όρια του Tier II και αντίστοιχα, για πλοία κατασκευασμένα την ή μετά την 1/1/2016, αντιστοιχούν τα όρια του Tier III. Συγκεκριμένα, τα όρια του Tier III είναι τα αυστηρότερα και θα ισχύσουν μόνο στις ειδικές περιοχές για τα NO_x (NO_x Emission Control Areas – NECAs) και είναι κατά 80% αυστηρότερα σε σύγκριση με τα όρια του Tier I. Οι NECAs αυτή τη στιγμή είναι θαλάσσιες περιοχές στη Β. Αμερική και την Καραϊβική, ενώ η Βόρεια Θάλασσα και η Βαλτική θα θεωρηθούν περιοχές NECA με όρια Tier III για πλοία που κατασκευάστηκαν την ή μετά την 1/1/2021. Όλα τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 1.4.

Ναυτιλιακοί ρύποι

Πίνακας 1.4: Όρια εκπομπών NO_x

Tier	Ημερομηνία κατασκευής πλοίου	Όρια εκπομπών NO _x (g/kWh)		
		n < 130 rpm	n = 130-1999 rpm	n ≥ 2000 rpm
I	1/1/2000	17,0	$45n^{-0,2}$	9,8
II	1/1/2011	14,4	$44n^{-0,23}$	7,7
III	1/1/2016 (NECA North America & USA Caribbean)	3,4	$9n^{-0,2}$	2,0
III	1/1/2021 (NECA EU)	3,4	$9n^{-0,2}$	2,0

Στο διάγραμμα 1.2 που ακολουθεί, παρουσιάζονται σχηματικά τα όρια των τριών επιπέδων, ενώ στον πίνακα 1.5 συγκεντρώνονται τα όρια των κανονισμών και οι ημερομηνίες έναρξης αυτών τόσο για τις εκπομπές SO_x όσο και για τις εκπομπές NO_x σύμφωνα με τον IMO.



Διάγραμμα 1.2: Όρια εκπομπών NO_x τριών επιπέδων (Berger, 2017)

Ναυτιλιακοί ρύποι

Πίνακας 1.5: Όρια των κανονισμών SO_x και NO_x κατά IMO σε περιοχές ECAs

Περιοχή	Τύπος Ρύπου	Ημερομηνία Εφαρμογής
Βαλτική	SO _x	19/5/2006
	NO _x	1/1/ 2021**
Βόρεια θάλασσα	SO _x	22/11/2007
	NO _x	1/1/2021**
Ακτές της Β. Αμερικής	SO _x	1/8/ 2012
	NO _x	1/1/2016*
Περιοχές των ΗΠΑ στην Καραϊβική	SO _x	1/1/2014
	NO _x	1/1/2016*

*Ένα πλοίο που κατασκευάστηκε την ή μετά την 1/1/2016 και λειτουργεί σε αυτές τις NECA θα πρέπει να συμμορφώνεται με τα πρότυπα Tier III σύμφωνα με την παράγραφο 13.5 του παραρτήματος VI της MARPOL .

**Ένα πλοίο που κατασκευάστηκε την ή μετά την 1/1/2021 και λειτουργεί σε αυτές τις NECA θα πρέπει να συμμορφώνεται με τα πρότυπα Tier III σύμφωνα με την παράγραφο 13.5 του παραρτήματος VI της MARPOL .

1.4 Μέθοδοι συμμόρφωσης στους ισχύοντες κανονισμούς

Τα πλοία υποχρεούνται να συμμορφώνονται στους κανονισμούς για τη μείωση των εκπομπών SO_x και NO_x όπως αυτοί έχουν περιγραφεί στις προηγούμενες ενότητες. Σε ό,τι αφορά τις εκπομπές NO_x, δεν θα γίνει περαιτέρω ανάλυση, καθώς σύμφωνα με τα αποτελέσματα των εργοστασιακών δοκιμών (shop trials) της κύριας μηχανής και των ηλεκτρογεννητριών, ο κινητήρας συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις του Tier II. Ας σημειωθεί στο σημείο αυτό πως το υπό μελέτη πλοίο κατασκευάστηκε το έτος 2019 με πιστοποιητικό όμως έναρξης κατασκευής πριν την 1/1/2016. Τα εν λόγω αποτελέσματα των shop trials, παρουσιάζονται εκτενώς στο κεφάλαιο 3.

Για τη συμμόρφωση στα επιτρεπτά όρια των εκπομπών SO_x, τρεις είναι οι επικρατέστερες επιλογές (Yang et al., 2012)

- a) Χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητάς σε θείο,
- b) Εγκατάσταση συστήματος για καύση υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG)
- c) Εγκατάσταση συστήματος scrubber (EGCS-wet scrubber)

Κάθε μία από τις προαναφερθείσες επιλογές έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που αφορούν στην πολυπλοκότητα της εγκατάστασης του εκάστοτε συστήματος, το αρχικό κόστος εγκατάστασης, τα λειτουργικά έξοδα και τέλος τον πλου του πλοίου. Ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση της κάθε επιλογής.

LSFO-MGO

Η απλούστερη και δημοφιλέστερη επιλογή για συμμόρφωση στους κανονισμούς της MARPOL είναι η χρήση καυσίμου Low Sulphur Fuel Oil (LSFO) περιεκτικότητας σε θείο 0.5% κ.β. παγκοσμίως όπως και η χρήση καυσίμου Marine Gas Oil (MGO) περιεκτικότητας σε θείο 0.1% κ.β. σε περιοχές ECA. Με ελάχιστες αλλαγές στις ρυθμίσεις του κινητήρα και των δεξαμενών και μικρό αρχικό κεφάλαιο, η μετάβαση από Heavy Fuel Oil (HFO) σε LSFO πραγματοποιείται ομαλά και χωρίς μεγάλες δυσκολίες (Lindstad et al., 2017; Bergqvist et al., 2015). Το αρχικό κόστος εγκατάστασης για χρήση καλύτερης ποιότητας καυσίμων είναι χαμηλό, όμως τα λειτουργικά έξοδα του πλοίου επιβαρύνονται σημαντικά μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα (Panasiuk & Turkina, 2015). Αυτό γιατί, επηρεάζονται από τη μεγάλη διαφορά στην τιμή μεταξύ καυσίμων χαμηλής και υψηλής περιεκτικότητας σε θείο (Zis & Psaraftis, 2017). Βέβαια, υπάρχει ανησυχία γύρω από τη χρήση τέτοιων καυσίμων καθώς η ποιότητα τους δεν είναι σταθερή. Συγκεκριμένα, τα επίπεδα ιξώδους και πυκνότητας τους καθώς και η περιεκτικότητά τους σε νερό και θείο, δεν συμβαδίζουν πάντα με τους κανονισμούς. Τέλος, έχει παρατηρηθεί η δημιουργία ιζήματος κατά την χρήση τέτοιων καυσίμων με αποτέλεσμα το φράξιμο φίλτρων και αντλιών στα συστήματα καυσίμου των πλοίων (Lloyd's Register, 2020). Η λύση αυτή όμως είναι προτιμητέα καθώς το δίκτυο ανεφοδιασμού των δύο αυτών καυσίμων είναι πλήρως αναπτυγμένο παγκοσμίως. Εκτιμάται ότι μία αλλαγή από καύσιμο περιεκτικότητας σε θείο 3.5% κ.β σε καύσιμο 0,5% μειώνει τις εκπομπές SO₂ κατά 80%, ενώ με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται και μείωση των PM κατά 20% (Nishida et al., 2009).

Ναυτιλιακοί ρύποι

LNG

Η χρήση καυσίμου LNG μειώνει ταυτόχρονα τους αέριους ρύπους SO_x, NO_x και CO₂. Οι μηχανές αυτές μπορεί να καταναλώνουν αποκλειστικά LNG ή να είναι διπλού καυσίμου, δηλαδή να καταναλώνουν και συμβατικό καύσιμο. Η επιλογή εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος δεν είναι τόσο διαδεδομένη διότι το αρχικό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης είναι υψηλό και το δίκτυο ανεφοδιασμού σε λιμάνια ελλιπές (Panasiuk & Turkina, 2015). Ακόμη οι δεξαμενές LNG απαιτούν περισσότερο χώρο από τις παραδοσιακές δεξαμενές καυσίμων, επειδή το LNG έχει μικρότερη πυκνότητα από ότι τα στερεά καύσιμα (Bergqvist et al., 2015). Ωστόσο η κατώτερη θερμογόνο δύναμη του είναι περίπου 20% μεγαλύτερη από αυτή των συμβατικών καυσίμων και το κόστος του είναι αισθητά χαμηλότερο τόσο από το MGO όσο και από το HFO. Το LNG δεν περιέχει θείο και γι' αυτό οι εκπομπές SO₂ είναι μειωμένες κατά 90-99 %, ενώ υπάρχει και πολύ μεγάλη μείωση και στις εκπομπές PM (περίπου 70%), NO_x (περίπου 60%) και CO₂ (περίπου 25%) (Panasiuk & Turkina, 2015).

Scrubber

Τα συστήματα scrubber μειώνουν τις εκπομπές SO_x και PM κατά 90-99% και 60-85% αντίστοιχα. Υπάρχουν δύο τύποι scrubber, ο ξηρός και ο υγρός τύπος. Στα scrubber ξηρού τύπου η απορρόφηση του SO₂ γίνεται μέσω της επαφής των καυσαερίων με την επιφάνεια μιας στερεάς ουσίας σε μορφή πολύ μικρών κόκκων. Η στερεά ουσία δρα είτε ως καταλύτης για την οξείδωση του SO₂ στην περίπτωση του άνθρακα, ορισμένων μετάλλων (βανάδιο) και ορυκτών (ζεόλιθος) και του διοξειδίου του πυριτίου, είτε ως αντιδρών στην περίπτωση ξηρού ασβέστη (Μάλλης, 2019). Τα scrubber ξηρού τύπου απαιτούν υψηλότερο επενδυτικό κεφάλαιο και ταυτόχρονα μεγαλύτερο χώρο εγκατάστασης από ότι εκείνα του υγρού τύπου. Για το λόγο αυτό, στη ναυτιλία έχει επικρατήσει η χρήση υγρών τύπων scrubber (Panasiuk & Turkina, 2015). Σε αυτή διπλωματική εργασία, γίνεται ανάλυση των scrubber υγρού τύπου τα οποία διακρίνονται σε ανοιχτού βρόχου, κλειστού βρόχου και υβριδικού συστήματος λειτουργίας.

Η λειτουργία ανοιχτού βρόχου (open loop) χρησιμοποιεί ως μέσο καθαρισμού των καυσαερίων θαλασσινό νερό το οποίο διέρχεται μέσα από το σύστημα, αντιδρά με τα SO_x παράγοντας θειικά και θειώδη άλατα του νατρίου και του ασβεστίου και στη συνέχεια αποβάλλεται στη θάλασσα (ABS, 2018). Η εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος είναι σχετικά απλή και οικονομικότερη από τους άλλους δύο τύπους (Reynolds et al., 2011). Όμως, η χρήση του είναι περιορισμένη διότι δεν μπορεί να λειτουργεί σε περιοχές όπου απαγορεύεται ή είναι περιορισμένη η απόρριψη νερού πλύσης. Οι περιοχές αυτές θα ονομαστούν ECA alike και περιλαμβάνουν χώρες όπως η Αργεντινή, Κίνα, Βραζιλία και Σιγκαπούρη μεταξύ άλλων. Η επιλογή ενός τέτοιου συστήματος θεωρείται κατάλληλη όταν το πλοίο πλέει αποκλειστικά ή επί το πλείστον σε ανοιχτή θάλασσα.

Ναυτιλιακοί ρύποι

Η λειτουργία κλειστού βρόχου (closed loop) χρησιμοποιεί ως μέσο καθαρισμού των καυσαερίων γλυκό νερό αναμειγμένο με υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) γνωστό ως καυστική σόδα, το οποίο ανακυκλώνεται στο σύστημα. Το NaOH εξουδετερώνει το SO₂ σχηματίζοντας θειικό νάτριο (Na₂SO₄). Στα συστήματα κλειστού βρόχου μικρές ποσότητες των εκπλυμάτων απορρίπτονται και αντικαθίσταται αντίστοιχη ποσότητα γλυκού νερού με σκοπό την αραιώση των συγκεντρώσεων του θειικού νατρίου. Με την προσθήκη μίας δεξαμενής αποθήκευσης των εκπλυμάτων, τα συστήματα κλειστού βρόχου μπορεί να λειτουργήσουν με μηδενικές απορρίψεις για κάποια χρονική περίοδο, η διάρκεια της οποίας εξαρτάται από το μέγεθος της δεξαμενής. Η εγκατάσταση ενός συστήματος κλειστού βρόχου είναι πιο περίπλοκη από αυτή του ανοιχτού και το κόστος εγκατάστασης είναι αντίστοιχα υψηλότερο περίπου κατά 18% (Reynolds et al., 2011). Η επιλογή ενός τέτοιου συστήματος είναι κατάλληλη όταν το πλοίο πλέει αποκλειστικά ή στο μεγαλύτερο μέρος της διάρκειας ζωής του σε περιοχές ECA.

Το υβριδικό σύστημα λειτουργεί ως scrubber ανοιχτού ή κλειστού βρόχου ανάλογα με την περιοχή πλεύσης του πλοίου. Η αλλαγή από λειτουργία ανοιχτού βρόχου σε κλειστού και αντίστροφα διαρκεί 10-20 δευτερόλεπτα σε αντίθεση με τα συμβατικά καύσιμα όπου η αλλαγή από LSFO σε MGO διαρκεί περίπου 2 ώρες (Hoogeveen, 2017). Η εγκατάσταση ενός υβριδικού συστήματος είναι η πιο περιπλοκή από τις τρεις επιλογές, παρόλα αυτά το κόστος εγκατάστασης είναι μόλις 6.7% υψηλότερο από αυτό του ανοιχτού βρόχου (Reynolds et al., 2011). Η επιλογή ενός τέτοιου συστήματος είναι κατάλληλη για πλοία που πλέουν σε περιοχές ECA αλλά και σε ανοιχτή θάλασσα.

Παρατηρείται πληθώρα επιλογών μέσω των οποίων επιτυγχάνεται συμμόρφωση στους κανονισμούς για τη μείωση των εκπομπών θείου από τα καυσαέρια. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου προκύπτει αναλύοντας τα χαρακτηριστικά και την πορεία του πλοίου.

Το υπό μελέτη πλοίο ανήκει στην κατηγορία handy size bulk carrier και χαρακτηρίζεται ως παράκτιο εμπορικό πλοίο (coastal trading vessel). Ως παράκτιο εμπορικό πλοίο ορίζεται ένα πλοίο το οποίο πραγματοποιεί μεταφορές στην ίδια χωρά ή ήπειρο και έχει τη δυνατότητα να προσεγγίζει ρηχά λιμάνια, λόγω του μικρού βυθίσματος σχεδίασης. Καθώς λοιπόν σε τέτοιου είδους λιμάνια δεν υπάρχουν εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού καυσίμου LNG, η συγκεκριμένη επιλογή απορρίπτεται. Σε αυτή τη διπλωματική εργασία πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ της αποκλειστικής χρήσης καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο και της εγκατάστασης συστήματος scrubber ανοιχτού, κλειστού και υβριδικού τύπου. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, αναλύονται οι τρεις τύποι scrubber και ο τρόπος λειτουργίας τους.

Ναυτιλιακοί ρύποι

2 Ναυτικές πλυντρίδες δέσμευσης οξειδίων του θείου

Οι ναυτικές πλυντρίδες δέσμευσης οξειδίων του θείου (συστήματα scrubber) τοποθετούνται μετά την κύρια μηχανή ή τον λέβητα, με σκοπό την επεξεργασία των καυσαερίων χρησιμοποιώντας θαλασσινό νερό, χημικά επεξεργασμένο γλυκό νερό ή άλλα ξηρού τύπου στοιχεία τα οποία παγιδεύουν τα οξείδια του θείου και μειώνουν τις ποσότητες των PM. Σε κάθε περίπτωση, δημιουργούνται απόβλητα τα οποία περιέχουν τις ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν κατά τον καθαρισμό των καυσαερίων σε συνδυασμό με τα σωματίδια SO_x και PM που αφαιρέθηκαν από αυτά.

Ένα σύστημα scrubber το οποίο μειώνει τα ποσοστά των SO₂ στα καυσαέρια των πλοίων, αναγνωρίζεται από τον IMO βάσει της MEPC 184(59). Σύμφωνα με αυτή, το ποσοστό περιεκτικότητας σε θείο ενός καυσίμου, υπολογίζεται μέσω του λόγου εκπεμπόμενων διοξειδίων του θείου προς τις εκπομπές διοξειδίων του άνθρακα. Κάθε τιμή του παραπάνω λόγου αντιστοιχεί σε μία τιμή περιεκτικότητας σε θείο, όπως φαίνεται στον πίνακα 2.1. Έτσι, μέσω της συνεχούς μέτρησης των συγκεκριμένων εκπομπών στην έξοδο του scrubber, μπορεί να επιβεβαιωθεί η συμμόρφωση με τους κανονισμούς του IMO. Αν η διαδικασία καθαρισμού των καυσαερίων επηρεάζει την ποσότητα των CO₂, η συγκέντρωσή τους πρέπει να υπολογίζεται στην είσοδο της πλυντρίδας και η συγκέντρωση των SO₂ στην έξοδό της, ώστε ο λόγος να έχει σωστή τιμή (ABS, 2018). Όλα τα διαθέσιμα εμπορικά συστήματα εγγυώνται τη δυνατότητα επεξεργασίας των καυσαερίων ώστε να ικανοποιούνται και οι δύο απαιτήσεις περιεκτικότητας σε θείο (0.5% m/m, 0.1% m/m) ανάλογα με την περιοχή πλεύσης του πλοίου (DNV-GL, 2016).

Πίνακας 2.1: Αντιστοιχία λόγου εκπομπών SO₂/CO₂ και περιεκτικότητας σε θείο των καυσαερίων

Fuel Oil Sulfur Content (% m/m)	SO ₂ (ppm)/CO ₂ (%v/v)
4.5	195.0
3.5	151.7
1.5	65.0
1.0	43.3
0.5	21.7
0.1	4.3

Ναυτικές πλυντρίδες δέσμευσης οξειδίων του θείου

Το σύστημα scrubber είναι ένας εναλλάκτης συναλλαγής μάζας, ορμής και θερμότητας μεταξύ του ρεύματος των καυσαερίων και του νερού πλύσης (Kjølholt et al., 2012). Συγκεκριμένα, τα καυσαέρια μετά την κύρια μηχανή περνάνε στην είσοδο του scrubber, όπου αναμειγνύονται με νερό πλύσης με σκοπό τη χημική αντίδραση των σωματιδίων SO_x με τα αντίστοιχα σωματίδια νερού και τη δημιουργία θειικού οξέος (SO₂→H₂SO₄). Λόγω της αλκαλικότητας του νερού, το θειικό οξύ εξουδετερώνεται, τα καυσαέρια απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα ενώ το νερό πλύσης μαζί με τους ρύπους, επεξεργάζεται και κατόπιν είτε αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές του πλοίου είτε απορρίπτεται στην θάλασσα. Σημειώνεται πως με τον όρο αλκαλικότητα δεν εννοείται μόνο το pH του διαλύματος αλλά και η ικανότητα του να αντιστέκεται σε αλλαγές του pH.

Σύμφωνα με την *MEPC.259(68)*, (2015), απόρριψη νερού μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο σε συγκεκριμένες περιοχές του κόσμου, όταν τα χαρακτηριστικά αυτού πληρούν τα παρακάτω κριτήρια:

1. pH: Το pH του διαλύματος καθαρισμού που αποβάλλεται πρέπει να έχει τιμή τουλάχιστον ίση με 6.5, εκτός των καταστάσεων λειτουργίας ελιγμών και κανονικής πορείας, όπου επιτρέπεται μέγιστη διαφορά στο pH του νερού πλύσης ίση με 2 μεταξύ των σημείων εισαγωγής και εξαγωγής. Το επιθυμητό pH μπορεί να επιτευχθεί αν το νερό πλύσης αραιωθεί ή ρυθμίζοντας κατάλληλα την ποσότητα που εισέρχεται στην πλυντρίδα. Η επιβεβαίωση συμμόρφωσης με τους κανονισμούς γίνεται μετρώντας το pH σε συγκεκριμένο βάθος και σε ακτίνα 4m από το σημείο εκροής, ενώ το πλοίο είναι σε ακινησία με της μηχανές του σε λειτουργία και την προπέλα σε κίνηση.

2. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH): Η μέγιστη συγκέντρωση πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων στο προς απόρριψη νερό πλύσης, δεν πρέπει να υπερβαίνει την αντίστοιχη τιμή της συγκέντρωσης της εισαγωγής, προσαυξημένη κατά 50μg/L PAH_{phe} (ισοδύναμο φαινανθρενίου). Η παραπάνω τιμή αφορά scrubbers με παροχή νερού πλύσης στη μέγιστη ισχύ λειτουργίας (ή στο 80% αυτής), ίση με 45t/MWh. Αν η παροχή διαφέρει από την παραπάνω, η μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση των PAH μεταβάλλεται σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα (πίνακας 2.2).

Ναυτικές πλυντρίδες δέσμευσης οξειδίων του θείου

Πίνακας 2.2: Μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση PAH για διάφορες τιμές ισχύος λειτουργίας (ABS, 2018)

Flow Rate (t/MWh)	Discharge Concentration limit (µg/L PAHphe equivalents)	Measurement Technology
0 - 1	2,250	Ultraviolet Light
2.5	900	Ultraviolet Light
5	450	Fluorescence*
11.25	200	Fluorescence
22.5	100	Fluorescence
45	50	Fluorescence
90	25	Fluorescence

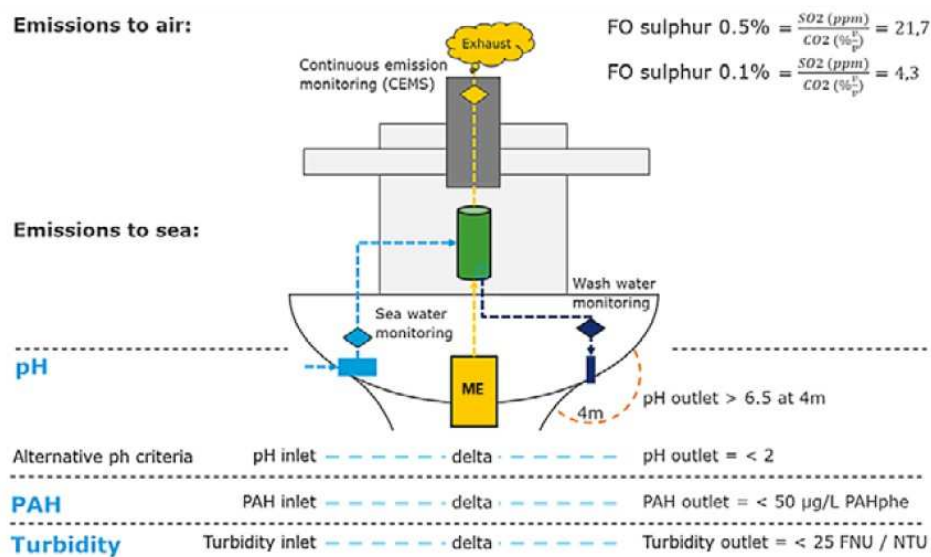
* For any flow rate greater than 2.5 t/MWh fluorescence technology should be used.

3. Turbidity/Suspended Particle Matter: Η θολότητα αποτελεί ένα μέτρο της ποσότητας των αδιάλυτων συστατικών στο νερό πλύσης. Τυχόν φυσαλίδες αέρα στο διάλυμα είναι πιθανό να επηρεάσουν τις μετρήσεις θολότητας. Η τιμή της θολότητας του νερού στην έξοδο της πλυντρίδας δεν πρέπει να διαφέρει από αυτή στην είσοδο προσαυξημένη κατά 25 FNU (formazin nephelometric units) ή 25 NTU (nephelometric turbidity units), ώστε οι μετρήσεις στα δύο σημεία να είναι αξιόπιστες.

4. Nitrates: Το σύστημα καθαρισμού του νερού πλύσης πρέπει να εμποδίζει την εκροή νιτρικών αλάτων όταν οι συγκεντρώσεις του υπερβαίνουν τα 60mg/l, για παροχή νερού πλύσης ίση με 45t/MWh ή σε περίπτωση δέσμευσης των NOx σε ποσοστό μεγαλύτερο από 12%.

Όλα τα παραπάνω είθισται να μετρούνται πριν την απόρριψη του νερού στη θάλασσα. Συγκεντρωτικά, οι περιορισμοί παρουσιάζονται στην εικόνα 2.1.

Ναυτικές πλυντρίδες δέσμησης οξειδίων του θείου



Εικόνα 2.1: Κανονισμοί συμμόρφωσης απορριπτόμενου νερού πλύσης (DNV-GL, 2018)

Το scrubber αποτελείται από τη μονάδα πλύσης των καυσαερίων (ή αλλιώς πύργος απορρόφησης), η οποία είναι τοποθετημένη στην εξαγωγή των καυσαερίων και το σύστημα για την παροχή, την κυκλοφορία, τον καθαρισμό και την αποβολή του διαλύματος καθαρισμού. Η δέσμηση των σωματιδίων των ρύπων πραγματοποιείται μέσω της σύγκρουσης τους με τα σωματίδια του νερού, ενώ ο ρυθμός δέσμησης αυτών εξαρτάται από την παροχή του διαλύματος καθαρισμού, τον κορεσμό του σε SO_2 και τη θερμοκρασία των καυσαερίων. Για τη διαδικασία αυτή διακρίνονται δύο τύποι πύργων απορρόφησης, ο τύπος U και ο τύπος I (Inline).

Οι πύργοι τύπου U είναι συστήματα με προ-επεξεργασία των καυσαερίων. Καθώς για τη δέσμηση των σωματιδιακών ρύπων μέσω σύγκρουσης απαιτούνται υψηλές σχετικές ταχύτητες των ρευμάτων καυσαερίων και νερού πλύσης, στα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται ακροφύσια για την αύξηση της ταχύτητάς τους και για τη δημιουργία σταγονιδίων του νερού πλύσης. Στα συστήματα προ-επεξεργασίας χρησιμοποιείται συνήθως το 20% της παροχής νερού πλύσης εξασφαλίζοντας την απομάκρυνση του 60% των SO_x και ενός μέρους των PM, ενώ παράλληλα μειώνεται η θερμοκρασία των καυσαερίων στους $60^\circ C$. Η πτώση της θερμοκρασίας των καυσαερίων έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου τους και συνεπώς τη μείωση των διαστάσεων του scrubber. Το δεύτερο στάδιο επεξεργασίας των καυσαερίων επιτυγχάνει απομάκρυνση του 98% των SO_x . Η ανάμειξη εδώ πραγματοποιείται μέσω της δημιουργίας τυρβώδους ροής σε εναλλάκτη ομοροής, αντιρροής ή διασταυρούμενης ροής.

Ναυτικές πλυντρίδες δέσμευσης οξειδίων του θείου

Οι πύργοι τύπου I (Inline type scrubbers) έχουν σημαντικά ευκολότερη εγκατάσταση καθώς έχουν μεγαλύτερο ύψος και μικρότερη διάμετρο από τους αντίστοιχους τύπους U. Επομένως, ενδείκνυνται για πλοία με περιορισμένο χώρο. Τα καυσαέρια εισέρχονται από τη βάση του πύργου του συστήματος, όπου αναμειγνύονται με το νερό πλύσης μέσω ψεκασμού με τη βοήθεια στρωμάτων ακροφυσίων. Δεν χρειάζονται ανεμιστήρες δεδομένου ότι έχουν περιορισμένη πτώση πίεσης λόγω της έλλειψης συστήματος προ-επεξεργασίας. Το μειονέκτημά τους είναι η σχετικά μειωμένη απόδοση δέσμευσης των SO_x συγκριτικά με τους τύπους U, με αποτέλεσμα κάποιες εταιρίες να ορίζουν μικρότερα ποσοστά θείου στο καύσιμο για την αποδοτική λειτουργία τους. Για παράδειγμα, η εταιρία Wärtsilä ορίζει μέγιστο ποσοστό θείου για τα συστήματα I, 2.5% και για τα συστήματα U, 3.5% (Paulsrud, 2015).

Σε αυτήν τη διπλωματική εργασία εξετάζεται μόνο το σύστημα τύπου U, καθώς πρόκειται για νεόδμητο πλοίο, όπου ο χώρος εγκατάστασης δεν αποτελεί δεσμευτικό παράγοντα στη μελέτη. Στην εικόνα 2.2 και τον πίνακα 2.3 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος τύπου U της εταιρίας Alfa Laval, με βάση την ισχύ του κινητήρα.



Εικόνα 2.2: Αναπαράσταση συστήματος scrubber με πύργο τύπου U (ABS, 2018)

Ναυτικές πλυντρίδες δέσμευσης οξειδίων του θείου

Πίνακας 2.3: Χαρακτηριστικά συστήματος scrubber με πύργο τύπου U (ABS, 2018)

Engine	Diameter	Length	Height	Dry Weight	Operational Weight
MW	m	m	m	tonnes	tonnes
4	1.7	3.4	7.1	3.3	4.0
8	2.4	4.4	8.1	5.9	7.4
12	2.9	5.2	8.7	8.1	10.4
16	3.4	5.9	9.0	10.6	14.1
20	3.8	6.4	9.5	12.8	17.2
24	4.2	7.0	10.1	16.5	21.7
32	4.8	7.9	11.0	21.2	28.2
55	6.2	10.0	13.0	41.4	53.7

Τα συστήματα υγρής λειτουργίας περιλαμβάνουν τρεις υποκατηγορίες: τα συστήματα ανοικτού βρόχου (open loop), τα συστήματα κλειστού βρόχου (closed loop) και τα υβριδικά συστήματα (hybrid) που λειτουργούν είτε ως συστήματα κλειστού είτε ως συστήματα ανοικτού βρόχου (ABS, 2018). Σε κάθε περίπτωση, το νερό πλύσης θα πρέπει να περιέχει την απαραίτητη αλκαλικότητα για την εξουδετέρωση των θειικών οξειδίων. Για το λόγο αυτό, πολύ σημαντικό παράγοντα στη μελέτη αποτελεί η περιοχή πλεύσης του πλοίου. Αντληση νερού από περιοχές με νερά χαμηλής αλκαλικότητας (δηλαδή χαμηλό pH νερού), μπορεί να οδηγήσει σε αδυναμία συμμόρφωσης στους κανονισμούς καθώς το scrubber σε αυτές τις περιπτώσεις δε λειτουργεί αποτελεσματικά.

Σύμφωνα με δεδομένα που αντλήθηκαν από την εταιρία Wärtsilä, στον πίνακα 2.4 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του βοηθητικού εξοπλισμού για scrubber ανοικτού και κλειστού βρόχου. Οι τιμές αφορούν διάφορα μεγέθη ισχύος κινητήρα όταν χρησιμοποιείται καύσιμο περιεκτικότητας 3.5% σε θείο και μειώνεται σε 0.1%.

Ναυτικές πλυντρίδες δέσμησης οξειδίων του θείου

Πίνακας 2.4: Χαρακτηριστικά του βοηθητικού εξοπλισμού για scrubber ανοιχτού και κλειστού βρόχου (ABS, 2018)

Engine Size	5 MW		20 MW		40 MW	
Equipment	Open loop	Closed loop	Open loop	Closed loop (2)	Open loop	Closed loop (3)
Scrubbing water flow (m ³ /hr)	225	225	900	675	1,800	1350
Cooling water flow	NA	150	NA	240	NA	450
Electric load (kW) (4)	65	85	205	190	395	350
Electrical load Open Loop Water Treatment System (kW)(5)	15	NA	65	NA	125	NA
Bleed-off water (m ³ /hr)	NA	0.875	NA	3.5	NA	7
Sludge generation (liter/hr)(6)	0.5	15	2	25	4	45
NaOH usage (50% solution) (liter/hr)(7)	NA	95	NA	155	NA	290

Notes

1. The Table is based on Wärtsilä's data for scrubbing emission from 3.5% S to 0.1% S fuel equivalency
2. The closed loop is sized for 8 MW.
3. The closed loop is sized for 15 MW
4. Assuming scrubber installed 20 meters above least draft of ship during scrubber operation
5. This is optional, consist of a residue tank, wash water pump, hydrocyclone and settling tank
6. For open loop operation, sludge is only generated if the water treatment system is chosen
7. Caustic soda usage rates and storage requirements can vary significantly depending on the engine load and scrubber operation. Indicated values are of the expected requirements.

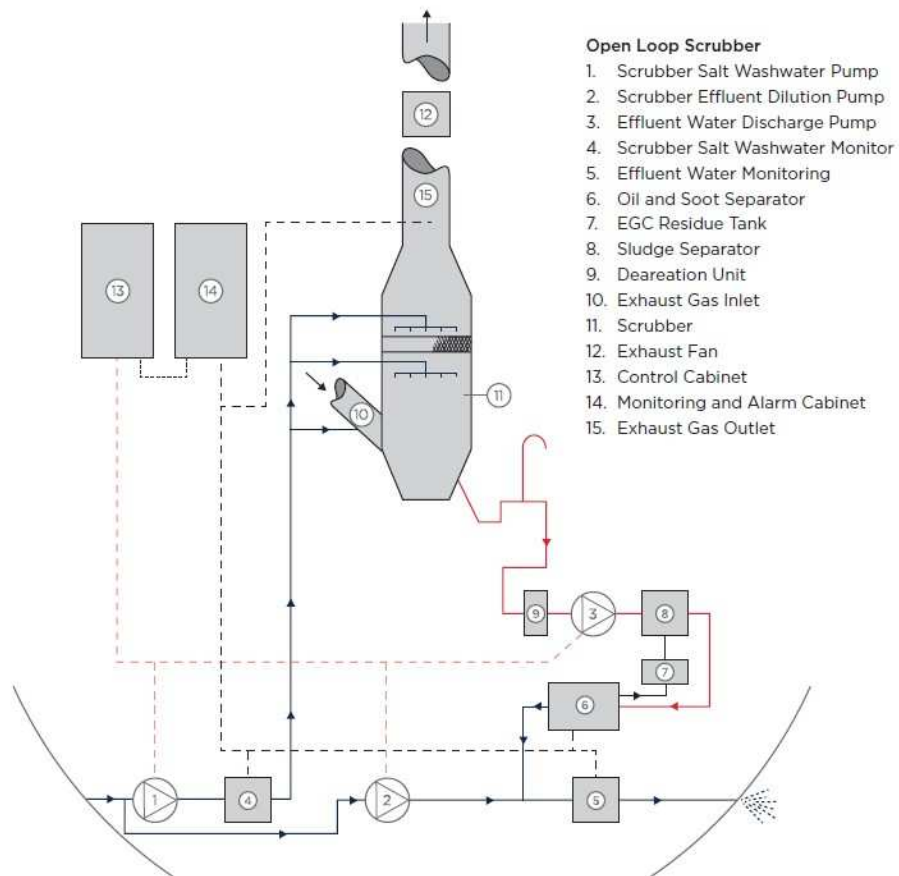
2.1 Συστήματα ανοιχτού βρόχου

Στη λειτουργία ανοιχτού βρόχου το μέσο καθαρισμού των καυσαερίων είναι νερό το οποίο αντλείται από τη θάλασσα. Είναι σημαντικό αυτό να έχει υψηλή περιεκτικότητα σε χλωριούχο νάτριο για τη δημιουργία θειικού και θειώδους νατρίου και ασβεστίου. Έτσι, σε συστήματα ανοιχτού βρόχου, η παροχή νερού είναι μεγαλύτερη από αυτή του κλειστού βρόχου, καθώς η αλκαλικότητα του νερού δεν μπορεί να ελεγχθεί πριν αυτό περάσει στο σύστημα (ABS, 2018). Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία του scrubber.

Κατά τη διεργασία όπου τα αλκαλικά ρυθμιστικά άλατα δεσμεύονται, το pH στο νερό πλύσης μειώνεται. Επίσης, μειώνεται η θερμοκρασία των καυσαερίων και πραγματοποιείται παράλληλη συμπύκνωση άκαυστων υδρογονανθράκων, οι οποίοι σχηματίζουν σωματίδια που ενώνονται μεταξύ τους, απομακρύνονται από τα καυσαέρια και συγκεντρώνονται στα υγρά απόβλητα της πλυντρίδας.

Το υδάτινο μείγμα που δημιουργείται κατά τη διαδικασία καθαρισμού συλλέγεται σε μία δεξαμενή στη βάση του συστήματος, απομακρύνεται από αυτή με τη βοήθεια της βαρύτητας ή κατάλληλης αντλίας και στη συνέχεια διέρχεται από διαχωριστή σταγονιδίων και στερεών υπολειμμάτων (ABS,2018). Αφού εξασφαλιστεί πως η ποιότητά του είναι αποδεκτή, απορρίπτεται πίσω στη θάλασσα. Τα υπολείμματα των καυσαερίων τα οποία περιέχουν PM, στάχτη, βαριά μέταλλα και λάσπη αποθηκεύονται σε δεξαμενή στο πλοίο και απορρίπτονται σε ειδικές εγκαταστάσεις στα λιμάνια. Σημειώνεται πως σύμφωνα με το παράρτημα VI της MARPOL (κανονισμός 16), απαγορεύεται η καύση τέτοιων υπολειμμάτων. Η διάταξη του παραπάνω συστήματος scrubber απεικονίζεται στην εικόνα 2.3 .

Ναυτικές πλυντρίδες δέσμευσης οξειδίων του θείου

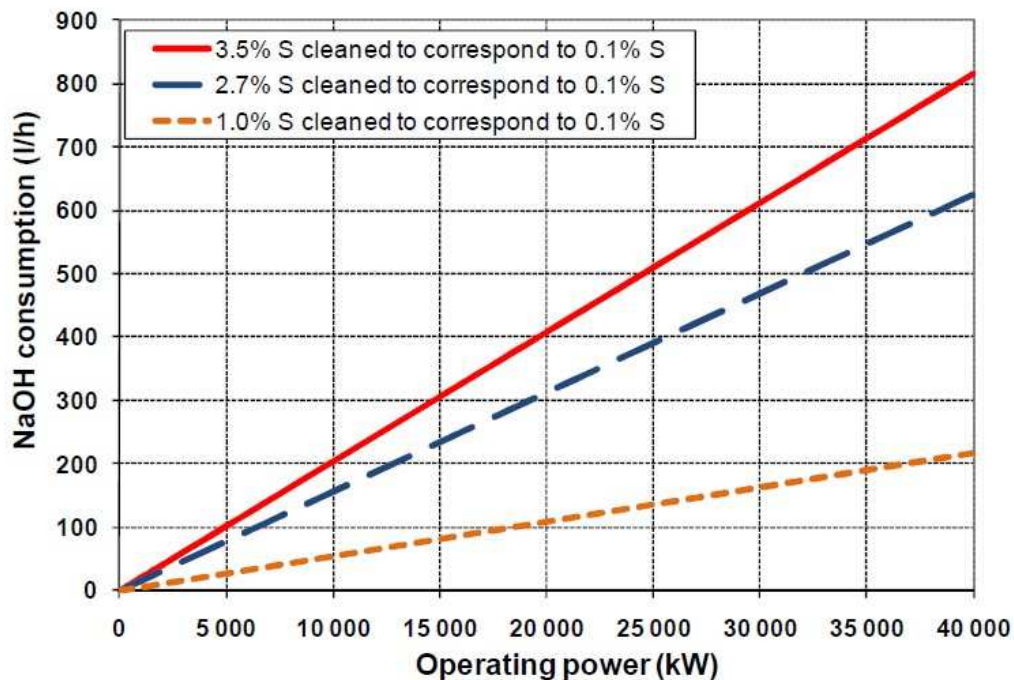


Εικόνα 2.3: Αναπαράσταση διάταξης συστήματος open loop scrubber (ABS, 2018)

2.2 Συστήματα κλειστού βρόχου

Τα συστήματα κλειστού βρόχου χρησιμοποιούν κατά βάση γλυκό νερό ως μέσο καθαρισμού με εξαίρεση λίγα συστήματα που χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό. Στην περίπτωση αυτή το νερό ανακυκλώνεται στο εγκαταστημένο σύστημα, καθιστώντας τη διαδικασία καθαρισμού ανεξάρτητη από τη χημική σύσταση του νερού της περιοχής πλεύσης του πλοίου.

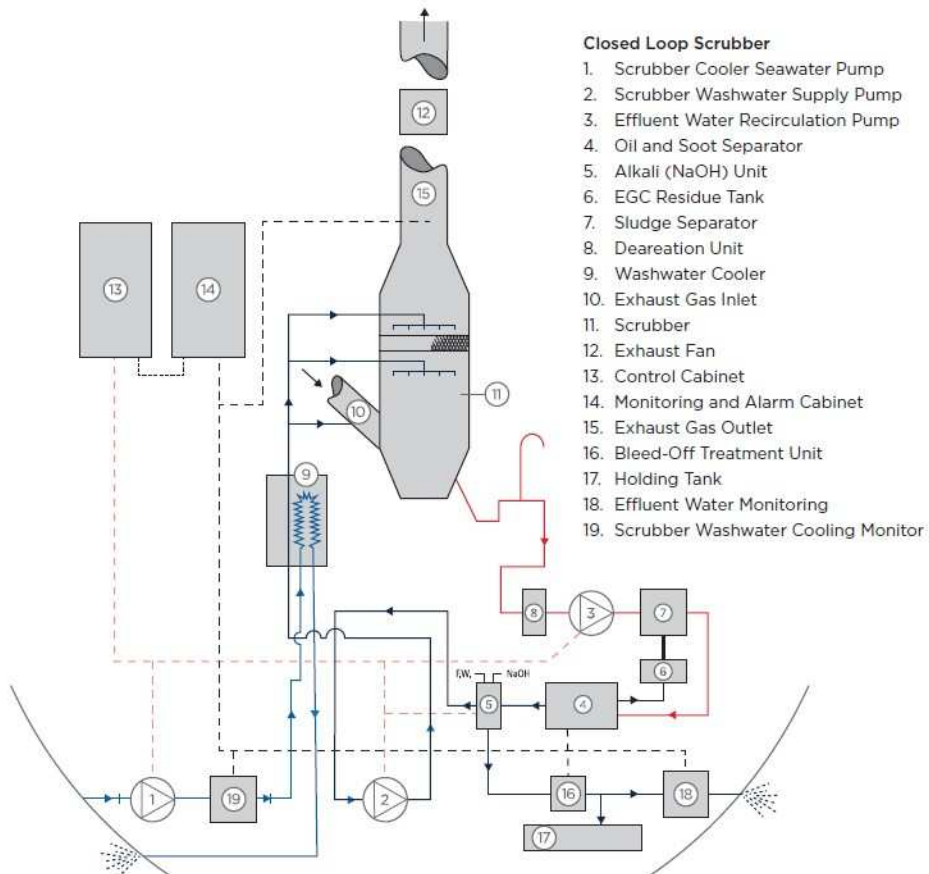
Μετά από κάθε πέρασμα από τον πύργο του scrubber στο νερό πλύσης συμπληρώνονται χημικές ουσίες (συνήθως καυστική σόδα, NaOH) με σκοπό τη διατήρηση της επιθυμητής τιμής αλκαλικότητας του. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, όσο υψηλότερη είναι η ισχύς της κύριας μηχανής, τόσο υψηλότερη η απαιτούμενη κατανάλωση καυστικής σόδας και τόσο μεγαλύτερος ο ρυθμός δέσμευσης του θείου από τα καυσαέρια (Wärtsilä, 2017), όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 2.4. Περιοδικά από το μείγμα του νερού πλύσης αφαιρούνται κάποια απόβλητα και προστίθεται γλυκό νερό (ή θαλασσινό σε κάποια συστήματα), για τη διατήρηση της σωστής χημικής σύνθεσης και την απόσπαση του παραγόμενου θειικού νατρίου.



Εικόνα 2.4: Απαιτούμενη κατανάλωση καυστικής σόδας συναρτήσει ισχύος λειτουργίας κύριας μηχανής (Kullas-Nyman, 2011)

Ναυτικές πλυντρίδες δέσμευσης οξειδίων του θείου

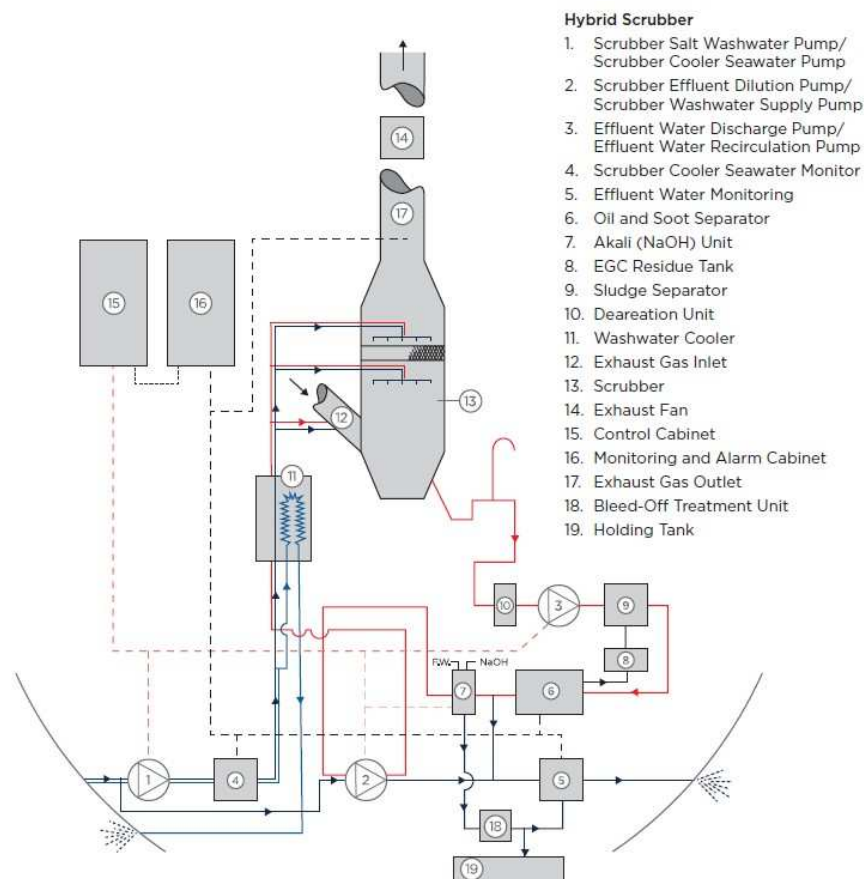
Σε ένα σύστημα κλειστού βρόχου η διαδικασία αφαίρεσης των SOx είναι παρόμοια με αυτή του συστήματος ανοιχτού βρόχου. Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο, είναι πως αντί το νερό πλύσης να απορρίπτεται στην θάλασσα, διοχετεύεται ξανά στο σύστημα και η διαδικασία καθαρισμού επαναλαμβάνεται (ABS, 2018). Συγκεκριμένα, σε κάθε κύκλο μικρό μέρος του νερού πλύσης αποβάλλεται από τον πυθμένα της δεξαμενής όπου έχουν συγκεντρωθεί τα υπολείμματα και στη συνέχεια μεταφέρεται σε διαχωριστή. Έτσι, η μικρή ποσότητα αποβαλλόμενου νερού περιορίζει την ανάγκη επεξεργασίας του σε περίπτωση απόρριψής του στη θάλασσα σε περιοχές όπου μία τέτοια ενέργεια είναι αποδεκτή. Τα υπολείμματα συγκεντρώνονται σε δεξαμενή και μεταφέρονται σε ειδικές εγκαταστάσεις στη στεριά. Η ποσότητα του νερού που χάνεται λόγω απόρριψης και εξάτμισης στον πύργο του scrubber αντικαθίσταται και ελέγχεται η χημική του σύσταση. Εάν χρειαστεί συμπληρώνονται και οι απαραίτητες ουσίες για τη ρύθμιση της αλκαλικότητας του μείγματος. Το τελικό μείγμα διοχετεύεται μέσω αντλίας σε ψυκτήρα και ο κύκλος επαναλαμβάνεται. Η διάταξη του παραπάνω συστήματος scrubber απεικονίζεται στην εικόνα 2.5 .



Εικόνα 2.5: Αναπαράσταση διάταξης συστήματος closed loop scrubber (ABS, 2018)

2.3 Υβριδικά συστήματα

Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες παραγράφους, το σύστημα ανοιχτού βρόχου δεν απαιτεί την προσθήκη καυστικής σόδας για τη ρύθμιση της αλκαλικότητας του νερού, καθώς λειτουργεί με θαλασσινό νερό. Από την άλλη, ένα σύστημα κλειστού βρόχου λειτουργεί με την ίδια υψηλή απόδοση ανεξαρτήτως της αλκαλικότητας του νερού της περιοχής πλεύσης και ταυτόχρονα δεν απορρίπτει νερό στο θαλάσσιο περιβάλλον (ABS, 2018). Για τον συνδυασμό των πλεονεκτημάτων των δύο αυτών μεθόδων, δημιουργήθηκαν τα συστήματα hybrid. Τα συστήματα αυτά, λειτουργούν ως συστήματα ανοιχτού βρόχου όταν το πλοίο βρίσκεται σε ανοιχτή θάλασσα και ως κλειστού βρόχου όταν το πλοίο βρίσκεται σε περιοχή με αυστηρούς κανονισμούς ή ύδατα χαμηλής αλκαλικότητας. Η αλλαγή από τη μία λειτουργία στην άλλη πραγματοποιείται αλλάζοντας την αναρρόφηση της αντλίας κυκλοφορίας νερού από θαλασσινό νερό σε νερό που βρίσκεται ήδη αποθηκευμένο στο πλοίο και αλλάζοντας την απόρριψη νερού από τη θάλασσα σε ειδική δεξαμενή για την κυκλοφορία του νερού (ABS, 2018). Η διάταξη του παραπάνω συστήματος scrubber απεικονίζεται στην εικόνα 2.6.



Εικόνα 2.6: Αναπαράσταση διάταξης συστήματος hybrid scrubber (ABS, 2018)

3 Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

Το υπό μελέτη πλοίο, είναι αδερφό με ήδη υπάρχον πλοίο του στόλου της πλοιοκτήτριας εταιρίας. Ως αδερφά πλοία ορίζονται δύο πλοία κατασκευασμένα στον ίδιο χώρο, με ηλεκτρολογικό εξοπλισμό από τον ίδιο κατασκευαστή, με παρόμοιες κύριες διαστάσεις και παρόμοια μηχανήματα. Κατά τη διαδικασία αγοράς ενός εμπορικού πλοίου μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην, αφού συμφωνηθεί η αγορά μεταξύ των δύο ενδιαφερόμενων και ξεκινήσει η κατασκευή, είναι σύνηθες, η πλοιοκτήτρια εταιρία να παρακολουθεί τα επιμέρους στάδια, μέσω ομάδας επαγγελματιών. Η ομάδα αυτή είναι υπεύθυνη για:

1. Την παρακολούθηση της κατασκευής του πλοίου σε όλα τα στάδια, από τουλάχιστον έναν εκπρόσωπο.
2. Τον έλεγχο του μηχανολογικού εξοπλισμού.
3. Την επιβεβαίωση επίτευξης της προσδοκώμενης κατανάλωσης καυσίμου από την κύρια μηχανή στο φορτίο λειτουργίας κατά τη διεξαγωγή των shop trials και των sea trials.
4. Τον έλεγχο και την παρακολούθηση αντίστοιχα του ζεύγους ηλεκτρογεννητριών κατά τα shop trials και τα sea trials.
5. Την παρακολούθηση των sea trials με την συμμετοχή του αρχιμηχανικού και ομάδας μηχανικών από την πλοιοκτήτρια εταιρία, με σκοπό την αξιολόγηση της γενικής λειτουργίας και απόδοσης του πλοίου καθώς και τον εντοπισμό τυχόν σφαλμάτων ή ελαττωμάτων των μηχανημάτων, τα οποία θα πρέπει να διορθωθούν πριν την παραλαβή του πλοίου.

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει παρουσίαση των κυρίων χαρακτηριστικών του πλοίου και της κύριας μηχανής. Ακόμη θα γίνει επεξήγηση του τρόπου διεξαγωγής των shop trials και των sea trials και της χρησιμότητας αυτών. Στην συνέχεια θα γίνει παράθεση των αποτελεσμάτων από τα shop trials τόσο για την κύρια μηχανή όσο και για το ζεύγος ηλεκτρογεννητριών. Τέλος θα γίνει παρουσίαση των δεδομένων της διαθέσιμης πλυντρίδας.

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

3.1 Χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου

Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου και της εγκαταστημένης κύριας μηχανής. Τα στοιχεία αυτά είναι απαραίτητα για την μελέτη που ακολουθεί, καθώς μέσω αυτών λαμβάνουμε πληροφορίες σχετικά με:

- Τον ημερήσιο ναύλο.
- Τη δυνατότητα διέλευσης του πλοίου από τις διώρυγες του Σουέζ και του Παναμά.
- Τους κανονισμούς στους οποίους θα πρέπει να συμμορφώνεται το πλοίο όπως ορίζονται από τον αντίστοιχο νηογνώμονα.
- Την απαιτούμενη υπηρεσιακή ταχύτητά του.
- Την κατανάλωση του καυσίμου της κύριας μηχανής στα διάφορα φορτία λειτουργίας.

Πίνακας 3.1: Βασικά χαρακτηριστικά πλοίου και κύριας μηχανής

Principal Particulars		
Main Specifications	Vessel Type	Bulk/Logger
	DWT (MT)	37,649
	Length B.P. (m)	173
	Length overall (m)	179.97
	Breadth MLD (m)	29.8
	Depth MLD (m)	15
	Draught at summer extreme (m)	10.54
	Class	NK
	Service Speed (Knots)	14.5
	Total Crew and Officers (P.)	25
Main Engine	Manufacturer & Model	Makita-MAN B&W 6S50ME-C8.2
	Load at MCR (Kw)	6780
	RPM at MCR	108
	Normal Output 76,9% MCR (Kw)	5215
	RPM at 76,9% MCR	99

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

3.2 Εργοστασιακές και θαλάσσιες δοκιμές

Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει παρουσίαση του τρόπου διεξαγωγής των shop trials και των sea trials. Τα shop trials διεξάγονται στο εργοστάσιο παραγωγής της κατασκευάστριας εταιρίας (MAKITA MAN B&W) πριν την παράδοση του μηχανήματος στο ναυπηγείο. Η διαδικασία των δοκιμών πραγματοποιείται σε δοκιμαστικό κρεβάτι με τον έλικα και τον άξονα να μην είναι συνδεδεμένα στη μηχανή.



Εικόνα 3.1: Κύρια μηχανή πλοίου, στις εγκαταστάσεις του κατασκευαστή

Σκοπός των shop trials (ή αλλιώς work trials), είναι η επαλήθευση των χαρακτηριστικών του κινητήρα (π.χ. παραγόμενη ισχύς), η ασφάλεια έναντι πυρκαγιάς, η τήρηση των εγκεκριμένων ορίων (π.χ. όριο μέγιστης πίεσης) και η επαλήθευση της λειτουργικότητας όλων των εξαρτημάτων (ClassNK, 2016). Επίσης μέσω αυτών των δοκιμών, καθορίζονται οι τιμές αναφοράς στις οποίες θα μπορεί να ανατρέχει αργότερα το πλήρωμα κατά τη λειτουργία του πλοίου (ClassNK, 2016).

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

Τα shop trials ξεκινούν τη μέτρηση των συνθηκών περιβάλλοντος, δηλαδή της θερμοκρασίας, της πίεσης και της υγρασίας του αέρα. Για κάθε φορτίο λειτουργίας του κινητήρα, συνήθως γίνεται μέτρηση των ακόλουθων παραμέτρων:

- Ισχύς και παραγόμενη ταχύτητα κινητήρα
- Δείκτης καυσίμου
- Μέγιστη πίεση καύσης P_{max}
- Θερμοκρασία καυσαερίων κάθε κυλίνδρου πριν το turbocharger
- Θερμοκρασία και πίεση αέρα στο scavenge air intercooler
- Ταχύτητα turbocharger

Σύμφωνα με τον νηογνώμονα κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των shop trials είναι απαραίτητη η μέτρηση των φορτίων 25%, 50%, 75% και 100% του MCR (ClassNK, 2016). Στην παρούσα διπλωματική θα γίνει ανάλυση και αξιολόγηση στα αποτελέσματα μόνο από τα shop trials και όχι από τα sea trials. Μία τυπική αναφορά (report) των δοκιμών φαίνεται στην εικόνα 3.2 με το φορτίο του κινητήρα να λαμβάνει τιμή 76,9%.

Τα sea trials διεξάγονται μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του πλοίου, όταν όλες οι δοκιμές στη δεξαμενή έχουν ολοκληρωθεί με θετικά αποτελέσματα. Η περιοχή στην οποία γίνονται τα sea trials είναι καθορισμένη και προστατευμένη από ακραία καιρικά φαινόμενα. Σκοπός των δοκιμών αυτών είναι η επαλήθευση της συμβατότητας των μηχανημάτων και της σωστής μετάδοσης ισχύος μεταξύ του κύριου μηχανολογικού εξοπλισμού και των βοηθητικών μηχανημάτων για τη σωστή λειτουργία του συστήματος ελέγχου πλοίου/κύριας μηχανής. Ελέγχονται επίσης όλα τα μηχανήματα στα οποία δεν διεξήχθη έλεγχος από τον κατασκευαστή πριν την παράδοσή τους.

Αρχικά γίνεται μέτρηση του βάρους του άφορτου σκάφους πριν αυτό ξεκινήσει το ταξίδι του. Μετριέται η θερμοκρασία του αέρα, η πυκνότητα του θαλασσινού νερού και τα βυθίσματα του σκάφους στο πρυμναίο και πωραίο άκρο. Πραγματοποιούνται ελιγμοί ξεκινήματος έως ότου τα αεριοφυλάκια αδειάσουν και παρακολουθείται συνεχώς το alarm system. Η κύρια μηχανή λειτουργεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κατασκευαστή σε συγκεκριμένες στροφές για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και καθ' όλη τη διάρκεια των δοκιμών πραγματοποιούνται μετρήσεις θορύβου και κραδασμών στο χώρο ενδιαίτησης του πλοίου.

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

MW0055		Data Sheet No. MW0055-	
Data Sheet of		76.9 % Load Test	Running Mode : Mar. 20, 2019
		ECONOMY	Measurement Time : 09:45
Ambient Condition		Room Temp. 15.0 °C	Barometric Press. : 1019 hPa Humidity : 58.6 %
Engine Speed (min ⁻¹)	W/B Weight(kN)	Output(kW)	Pe(MPa)
98.9	703.0	5215	1.343
			Handle Position
			Fuel Index
			86
			Hydraulic Oil Press(MPa)
			26.5
Inlet	Main Lub. Oil	Piston Cooling Oil	T/C Lub. Oil
			Fuel Oil
			Cooling Fresh Water
			Cooling Sea Water
			Swash Plate Position [%]
Press. (MPa)	0.25	0.26	0.13
Temp. (°C)		40	20
			83
			25
			No.1
			No.2
			No.3
			50
			50
			50
Cylinder No.	Ave.	1	2
		3	4
		5	6
		7	8
Pmax. (MPa)	14.58	14.5	14.5
		14.6	14.6
		14.7	14.6
Pcomp. (MPa)	11.40	11.4	11.4
		11.4	11.4
		11.4	11.4
Exh. Gas Temp. Cyl. Outlet (°C)	292	303	287
		286	291
		296	291
CFW Temp. Cyl. Outlet (°C)	88.0	88	88
		88	88
		88	88
PCO Temp. Cyl. Outlet (°C)	45.0	45	45
		45	45
		45	45
Air Cooler		Scavenging Air	
Press. Drop (kPa)		Pressure (MPa)	
0.80		Temperature (°C)	
		0.220	
		31	
		Exh. Gas. Receiver Press (MPa)	
		0.208	
		Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) (g/kW·h)	
		Fuel oil flow (kg/h)	
		*1 Measured	
		*2 Corrected	
		892.8	
		171.2	
		168.3	
Thrust Pad Temp. (°C)		44	
		Intake Air	
		Exhaust Gas	
		Lub. Oil Temp.	
Turbo Charger	Speed (min ⁻¹)	Temp. (°C)	Filter Press. Drop (kPa)
		Inlet Temp. (°C)	Outlet Temp. (°C)
		Back Press. (kPa)	Inlet (°C)
			Outlet (°C)
	15550	13.2	0.35
		320	194
		1.97	40
			60
Note:			
*1 Marked SFOC is corrected by FO Drain. F.O. Drain : 0.1 g/kW·h			
*2 Marked SFOC is corrected to LCV 42700 kJ/kg			
SFOC at this load is guaranteed under ISO condition.			
Guaranteed SFOC : 160.2 + 6 % ISO Corrected SFOC : 168.9 g/kW·h			
Measured SFOC is corrected to ISO Reference Conditions according to the following conversion factors.			
Factor	Reference Cond.	Adjustments	
Room Temp.	25 °C	+0.20%/10°C Rise	
Barometric Press.	1000 hPa	-0.02%/10 hPa Rise	
Scav. Air Temp.	32 °C	+0.60%/10°C Rise	
FO Lower Cal. Value	42700 kJ/kg	-1.00%/1% Rise	

Εικόνα 3.2: Τυπικά αποτελέσματα shop trials

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

3.2.1 Εργοστασιακές δοκιμές κύριας μηχανής

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι συνθήκες περιβάλλοντος στις οποίες πραγματοποιήθηκαν τα shop trials, οι ιδιότητες του καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε κατά την διεξαγωγή τους και η μεθοδολογία για τον ακριβή υπολογισμό της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου στα διαφορά φορτία λειτουργίας του κινητήρα. Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της κύριας μηχανής και οι ιδιότητες του καυσίμου που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές.

Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά ποιότητας καυσίμου κατά τη διεξαγωγή των shop trials της κύριας μηχανής

Particulars of engine				
Engine Type	MAKITA-MITSUI-MAN B&W 6S50ME-C8.2			
Number of Cylinder	6	Engine No.	55	
Cylinder Bore / Stroke	500	mm	/	2000 mm
Output (M.C.R.)	6780	kW	108	min ⁻¹
Firing Order	1-5-3-4-2-6			

Specification of Used Oil At Shop Trial			
1. Fuel Oil			
IDEMITSU KOSAN CO. ,LTD. A-Fuel Oil (1A)			
Specific Gravity	(15/4 oC) :		0.8715
Flash Point	(oC) :		78.5
Viscosity	(cSt 50oC) :		2.95
Residual Carbon	(wt %) :		0.41
Ash	(wt %) :		<0.00
Water	(Vol. %) :		<0.00
Sulphur	(wt %) :		0.77
Net Cal. Value	(kJ/kg) :		41988
2. System Oil , Camshaft Oi & Turbocharger Oil			
Daphne Marine Oil SY-30 by IDEMITSU KOSAN CO. , LTD			
3. Cylinder Oil			
JX MARINE C705 BY JX Nippon Oil&Energy Corporation			

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

Με βάση τις συνθήκες περιβάλλοντος στις οποίες έγινε η διεξαγωγή των δοκίμων (θερμοκρασία, βαρομετρική πίεση αέρα, υγρασία), την ποιότητα του καυσίμου (κατώτερη θερμογόνος δύναμη) καθώς και την ποιότητα των λιπαντικών, γίνεται διόρθωση της ειδικής κατανάλωσης του καυσίμου έτσι ώστε αυτές να είναι σύμφωνες με τις συνθήκες ISO. Οι συνθήκες ISO αναφέρονται στην θερμοκρασία, στην υγρασία και στην βαρομετρική πίεση του αέρα, και οι τιμές τους καθορίζονται από τον Διεθνή Οργανισμό Προτύπων.

Κατά τη διεξαγωγή των shop trials μετρήθηκαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

- $KW=5215$ [kW]
- $W1= 155$ [kg]
- $T1=624.71$ [sec.]
- $T2= 600$ [sec.]
- $W2= 112$ [g]

Όπου:

KW : το φορτίο λειτουργίας της κύριας μηχανής (76.9% MCR) στο οποίο πραγματοποιήθηκε η διεξαγωγή των δοκίμων

W_1 : η ποσότητα καυσίμου που καταναλώθηκε σε χρόνο T_1

W_2 : η ποσότητα αποστράγγισης καυσίμου για χρόνο T_2

Οι χρόνοι T_1 και T_2 ορίζονται από τον κατασκευαστή

Ο υπολογισμός ειδικής κατανάλωσης καυσίμου προκύπτει όπως φαίνεται στην εξίσωση 3.1, ενώ ο αντίστοιχος υπολογισμός για την αποστράγγιση φαίνεται στην εξίσωση 3.2.

$$SFOC = \frac{3600 \cdot W_1 \cdot 1000}{T_1 \cdot KW} \quad (3.1)$$

$$FO_{drain} = \frac{3600 \cdot W_2}{T_2 \cdot KW} \quad (3.2)$$

Με αντικατάσταση των τιμών από τα αποτελέσματα των δοκίμων προκύπτουν οι εξής τιμές:

$$SFOC = 171.3 \left[\frac{g}{kWh} \right]$$

$$FO_{drain} = 0.1 \left[\frac{g}{kWh} \right]$$

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

Κάνοντας διόρθωση στην ειδική κατανάλωση καυσίμου λόγω της αποστράγγισης, υπολογίζεται η μετρούμενη ειδική κατανάλωση καυσίμου από τη διεξαγωγή των εργοστασιακών δοκίμων, εξίσωση 3.3.

$$SFOC_{measured} = SFOC - FO_{drain} \quad (3.3)$$

Με αντικατάσταση των τιμών από τις εξισώσεις 3.1 και 3.2 προκύπτει:

$$SFOC_{measured} = 171.3 - 0.1 = 171.2 [g/kW h]$$

Η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμές, σύμφωνα με τον πίνακα 3.2 είναι:

$$LCV = 41988 [kJ/kg]$$

Σύμφωνα με τα πρότυπα, η τιμή αναφοράς της κατώτερης θερμογόνου δύναμης ορίζεται ως:

$$LCV_{ref} = 42700 [kJ/kg]$$

Προκύπτει λοιπόν, διορθωτικός συντελεστής K_1 λόγω χρήσης καύσιμου με διαφορετική κατώτερη θερμογόνο δύναμη ως:

$$K_1 = \frac{LCV}{LCV_{ref}} \quad (3.4)$$

Με αντικατάσταση των τιμών προκύπτει :

$$K_1 = 0.98333$$

Η εξίσωση υπολογισμού της διόρθωσης της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου λόγω χρήσης καυσίμου με διαφορετική κατώτερη θερμογόνο δύναμη είναι:

$$SFOC_{(LCV \text{ correction})} = SFOC_{(Measured)} \cdot K_1 \quad (3.5)$$

Με αντικατάσταση των τιμών προκύπτει :

$$SFOC_{(LCV \text{ correction})} = 168.3 [g/kW \cdot h]$$

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

Τέλος, πραγματοποιείται διόρθωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου σε συνθήκες ISO. Οι συνθήκες περιβάλλοντος στις οποίες έγινε η διεξαγωγή των δοκίμων είναι οι εξής :

$$\begin{aligned}T_0 &= 13.2 \text{ [}^\circ\text{C]} \\P_0 &= 1019 \text{ [hPa]} \\T_s &= 31 \text{ [}^\circ\text{C]}\end{aligned}$$

Όπου

T_0 : η θερμοκρασία του χώρου στην οποία πραγματοποιηθήκαν οι δοκιμές

P_0 : η βαρομετρική πίεση στο χώρο και

T_s : η θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο του κυλίνδρου

Προκύπτει λοιπόν, διορθωτικός συντελεστής K_2 λόγω διαφορετικών συνθηκών περιβάλλοντος από της ISO συνθήκες ως:

$$K_2 = \frac{(25 - T_0) \cdot 0.2 + (32 - T_s) \cdot 0.6 + (1000 - P_0) \cdot (-0.02)}{1000} + 1 \quad (3.6)$$

Με αντικατάσταση των τιμών από τις μετρήσεις των συνθηκών περιβάλλοντος κατά την διεξαγωγή των δοκίμων, προκύπτουν οι εξής υπολογισμοί:

$$K_2 = 0.00334 + 1 = 1.00334$$

Τέλος, ο υπολογισμός της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου σε συνθήκες ISO προκύπτει από την εξίσωση 3.7.

$$\text{SFOC}_{(\text{ISO condition})} = \text{SFOC}_{(\text{LCV correction})} \cdot K_2 \quad (3.7)$$

Με αντικατάσταση των τιμών από τις εξισώσεις 3.5 και 3.6 προκύπτει τελικώς:

$$\text{SFOC}_{(\text{ISO condition})} = 168.9 \text{ [g/kW} \cdot \text{h]}$$

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

Αποτελέσματα Εργοστασιακών Δοκιμών Κύριας Μηχανής

Με τη βοήθεια των σχέσεων του κεφαλαίου 3.2.1, πραγματοποιείται επαναληπτική διαδικασία για τον υπολογισμό της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου της κύριας μηχανής και στα υπόλοιπα φορτία λειτουργίας (25%, 50%, 75% και 100% του MCR). Τα απαραίτητα δεδομένα και τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον πίνακα (3.3). Τα αποτελέσματα της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου της κύριας μηχανής σε ISO συνθήκες είναι απαραίτητα για τη συγκεκριμένη διπλωματική και θα χρησιμοποιηθούν σε επόμενο κεφάλαιο για τον υπολογισμό του κόστους καυσίμου.

Πίνακας 3.3: Συγκεντρωτικά δεδομένα και αποτελέσματα των shop trials της κύριας μηχανής

Summary Data of Shop Trials						
Load	%	25	50	75	76.9 (CSO)	100 (MCR)
Engine Running Mode		ECONOMY	ECONOMY	ECONOMY	ECONOMY	ECONOMY
T/C Intake air Temp.	°C	11.9	11.8	12.6	13.2	13.4
Barom. Press.	hPa	1019	1019	1019	1019	1019
Engine Speed	1/min	68.0	85.7	98.1	98.9	108.0
Output	kW	1695	3390	5086	5215	6780
Scavenging Air temp.	°C	34	28	30	31	33
F.O. Drain (g/kW*h)		0.6	0.4	0.3	0.1	0.1
Fuel Oil. Temp.	°C	15	18	20	20	20
Specific Fuel Oil. Consump. g/kW*h	1) Measured	184.0	176.3	171.1	171.2	169.3
	2) Corrected to LCV	180.9	173.4	168.2	168.3	166.5
	3) Corrected to ISO	181.5	174.0	168.8	168.9	167.1
Pmax.	Mpa	9.30	1.60	14.48	14.58	16.97
Pcomp.	Mpa	6.00	7.80	11.10	11.40	14.80
Fuel Index		44	65	85	86	100
Note: 1) SFOC is corrected by FO Drain						
2) SFOC is corrected by LCV 42700 kJ/kg						
3) SFOC is corrected by ISO reference conditions.						

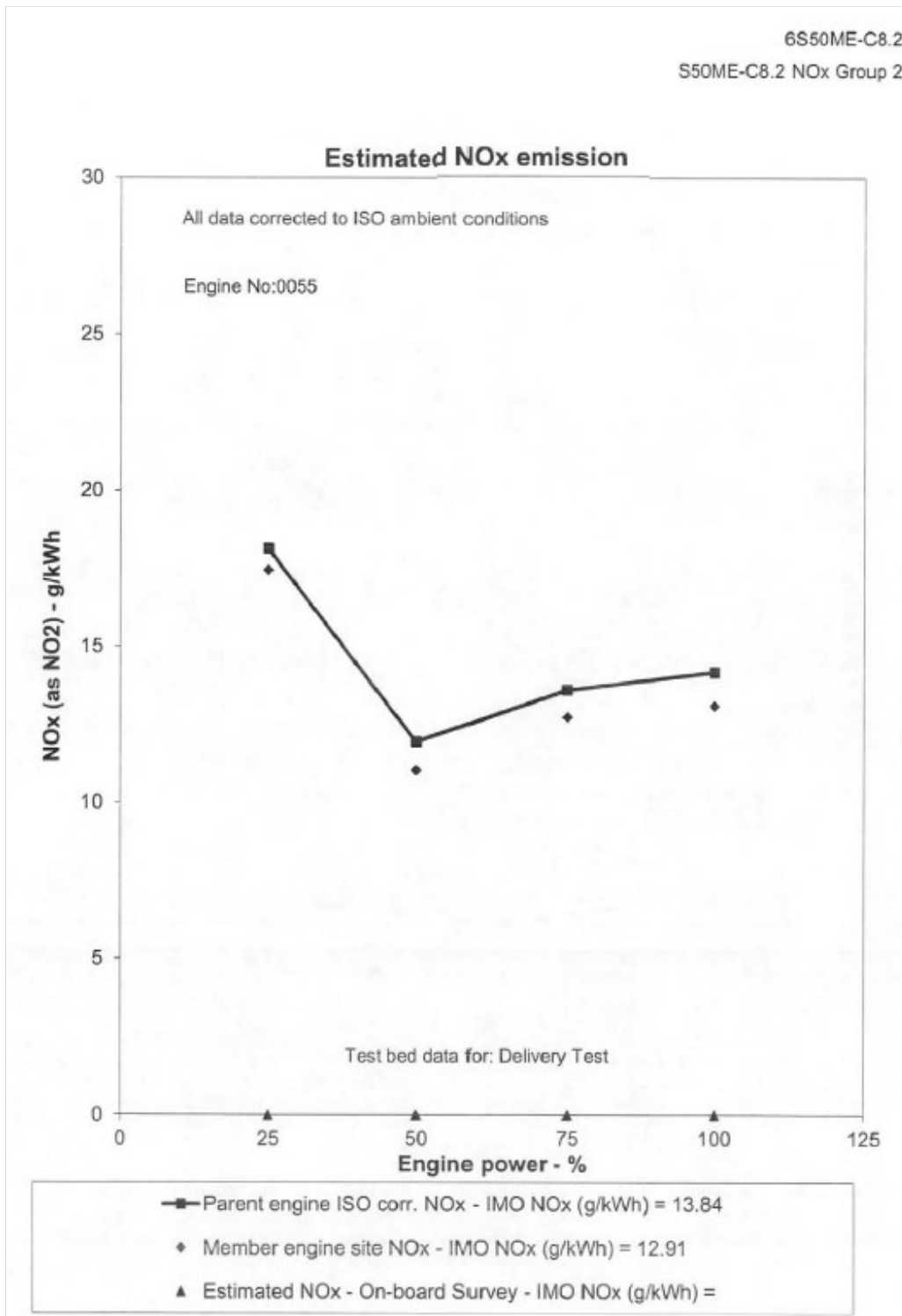
Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

Τέλος, κατά τη διάρκεια των shop trials πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις των εκπομπών NO_x της κύριας μηχανής. Τα δεδομένα και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 3.4 και στο διάγραμμα 3.1. Η μεθοδολογία υπολογισμού των εκπομπών αυτών παρουσιάζεται στον τεχνικό κώδικα του IMO, (IMO, 2008a). Παρατηρεί κανείς πως οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου βρίσκονται εντός των ορίων που ορίζονται από τους κανονισμούς. Για τον λόγο αυτό δεν απαιτείται εγκατάσταση σύστημα επεξεργασίας των καυσαερίων για τη μείωση των ρύπων NO_x.

Πίνακας 3.4: Μετρήσεις και αποτελέσματα των shop trials της κύριας μηχανής για τις εκπομπές NO_x.

Engine description						
Engine type:	6S50ME-C8.2	MCR Power:	6780	VIT:	ME	Engine No:0055
Test cycle:	E3	MCR Speed:	108	Cooling system:	Central cooling	
Engine group:	S50ME-C8.2 NO _x	Vessel name/data for:	Delivery Test		Survey code ver. 5-3-4	
Test bed survey						
-Fill in yellow cells						
Table 1: Input		Measured data				
Date:	2019.03.20	Load (%)				
		100	75	50	25	
Ambient pressure	mbar	1019	1019	1019	1019	
Compression pressure	bar	148	111	78	60	
Maximum pressure	bar	169.7	144.8	116	93	
Compressor inlet temperature	°C	13.4	12.6	11.8	11.9	
Scavenging air temperature	°C	33	30	28	34	
Sea water inlet temperature	°C	25	25	25	25	
Turbine back pressure	kPa	2.68	1.81	0.94	0.24	
Scavenging air pressure	bar	2.8	2.1	1.22	0.46	
Power	kW	6780	5086	3390	1695	
Engine speed	r/min	108	98.1	85.7	68	
Turbocharger speed	r/min	16900	15300	12600	8150	
Table 2: Output		Load (%)				
Measured values			100	75	50	25
Pscav @ ISO ambient	barabs		3.80	3.09	2.20	1.45
Pmax @ ISO ambient	barabs		164.9	142.8	114.4	91.8
Pcomp @ ISO ambient	barabs		149.7	109.7	77.5	59.3
Tscav	°C		33.0	30.0	28.0	34.0
Pback	kPa		2.68	1.81	0.94	0.24
ΔPower	%		0.0	0.0	0.0	0.0
Limit values						
Pmax, maximum	barabs		173.0	149.0	121.0	98.0
Pcomp, minimum	barabs		149.7	108.5	76.3	58.9
Tscav, maximum (at ISO ambient)	°C		51.0	46.0	42.0	47.0
Pback, maximum	kPa		4.41	3.33	2.21	1.13
ΔPower, maximum	%		2.2	2.2	2.2	2.2
Compliance						
Pmax			yes	yes	yes	yes
Pcomp			yes	yes	yes	yes
Tscav						
Pback			yes	yes	yes	yes
Power deviation < 2.2%			yes	yes	yes	yes
IMO NO _x						
Member engine site NO _x	g/kWh		13.09	12.74	11.04	17.45
Parent engine ISO corr. NO _x	g/kWh		14.18	13.61	11.95	18.13
ISO NO _x at max tolerances	g/kWh		14.50	14.17	12.70	19.00
						E3 cycle value
						12.91
						13.84
						14.37

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας



Διάγραμμα 3.1 : Εκπομπές NOx κύριας μηχανής στα διαφορά φορτία λειτουργίας

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

3.2.2 Εργοστασιακές δοκιμές ηλεκτρογεννήτριας

Το ζεύγος των ηλεκτρογεννητριών που εξετάστηκε κατά τα shop trials, είναι της εταιρίας Yanmar μοντέλο 6EY18ALW που λειτουργεί στα 440 kW. Το καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε στις εργοστασιακές δοκιμές βρίσκεται στο εμπόριο με την ονομασία LSA FUEL OIL και οι ιδιότητές του παρουσιάζονται στους πίνακες 3.5 και 3.6.

Πίνακας 3.5: Χαρακτηριστικά ποιότητας καυσίμου των shop trials του ζεύγους της ηλεκτρογεννήτριας

Characteristics	Unit	Results
Ash	mass %	0
Carbon residue 10% (v/v) distillation Residue	mass %	0.46
Cetane Index (JIS K2204)		46
Cetane Index (JIS K2280)		44.2
Density 15°C	g/cm ³	0.86
Flash Point PM	°C	69.5
Gross Specific Energy	kJ/kg	45380
Net Specific Energy	kJ/kg	42620
Kinematic Viscosity 50 °C	mm ² /s	2.83
Cold Filter Plugging Point	°C	-16
Pour point	°C	-15
Reaction		Neutral

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

Πίνακας 3.6: Χαρακτηριστικά ποιότητας καυσίμου των *shop trials* του ζεύγους της ηλεκτρογεννήτριας

Characteristics	Unit	Results
Sulphur	mass %	0.076
Nitrogen Content	mass %	0.01
Hydrogen Content	mass %	13.1
Carbon Content	mass %	86.6
Water Content	vol %	0
Coumarin semiquantitative method		Addition
Distillation Temp. 50% Recovered	°C	273
10% Recovered	°C	215
90% Recovered	°C	335.5
Gross Specific Energy	kcal/kg	10840
Net Specific Energy	kcal/kg	10180

Ο υπολογισμός της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου στην έξοδο της μηχανής των ηλεκτρογεννητριών πραγματοποιείται μέσω της εξίσωσης 3.8:

$$FOC = \frac{A \cdot B \cdot 3600}{C} \cdot \frac{1000}{D} \cdot \frac{E}{F} \cdot \frac{1}{\beta} \cdot G \quad (3.8)$$

Ο συντελεστής διόρθωσης β , υπό κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος (κατά ISO 3046-1/ISB-8002-1) δίνεται από την εξίσωση 3.9:

$$\beta = \frac{\left(\frac{Px}{Pra}\right)^m \cdot \left(\frac{Tra + 273.15}{Tx + 273.15}\right)^n \cdot \left(\frac{Tcra + 273.15}{Tcx + 273.15}\right)^s}{\left(\frac{Px}{Pra}\right)^m \cdot \left(\frac{Tra + 273.15}{Tx + 273.15}\right)^n \cdot \left(\frac{Tcra + 273.15}{Tcx + 273.15}\right)^s - 0.7 \cdot \left(1 - \left(\left(\frac{Px}{Pra}\right)^m \cdot \left(\frac{Tra + 273.15}{Tx + 273.15}\right)^n \cdot \left(\frac{Tcra + 273.15}{Tcx + 273.15}\right)^s\right)\right) \cdot \left(\frac{1}{\eta_m} - 1\right)} \quad (3.9)$$

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

Τα αποτελέσματα από τα shop trials και η ονομασία των παραπάνω συμβολισμών, παρουσιάζονται στον πίνακα 3.7 για τις δύο μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο μέγιστο φορτίο λειτουργίας.

Πίνακας 3.7: Συγκεντρωτικά δεδομένα και αποτελέσματα των shop trials για το ζεύγος ηλεκτρογεννήτριας

			1st	2nd
FOC	Fuel oil consumption	g/kWh	195.41	195.73
A	Fuel measured quantity	kg	2	←
B	Buoyancy correction factor for measurement	-	0.9944	←
C	Measured time	sec	79.1	78.8
D	Generator output	kW	440	←
E	Net calorific value of fuel oil	Mj/kg	42.62	←
F	Standard net calorific value	Mj/kg	42.7	←
G	Generator efficiency	-	0.956	←
β	correction factor under standard ambient condition	-	1.00451	1.00672
Px	Ambient total barometric pressure on site	hPa	1007.5	1007.5
Pra	Substitute reference total barometric pressure on site	hPa	1000	←
Tra	Substitute reference ambient air thermodynamic temp.	°C	25	←
Tx	Ambient air thermodynamic temp.	°C	22	25
Tcra	Substitute reference charge air coolant	°C	25	←
Tcx	Ambient charge air coolant temp. on site	°C	38	38
m*	Exponents	-	0.7	←
n*	Exponents	-	1.2	←
s*	Exponents	-	1	←
η_m	Mechanical efficiency	-	0.8	←

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

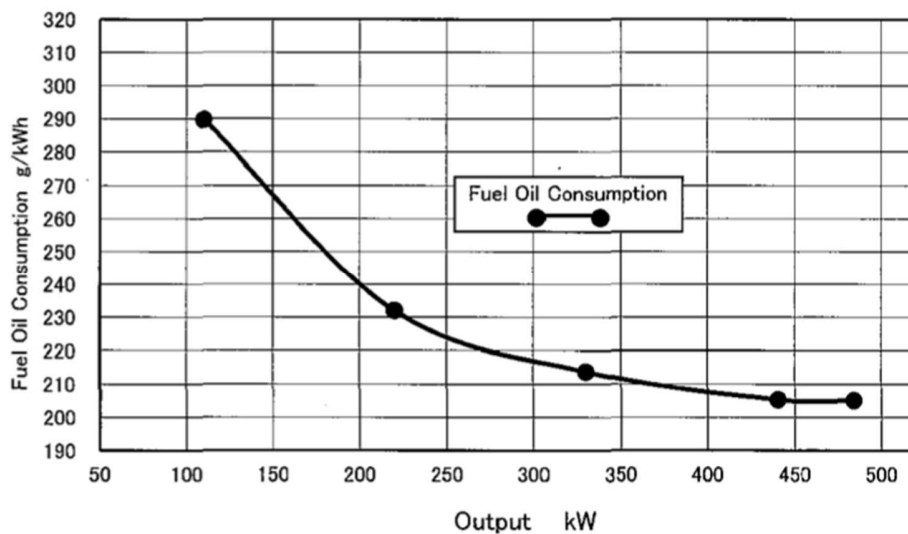
Αποτελέσματα Εργοστασιακών Δοκιμών Ηλεκτρογεννήτριας

Ακολουθώντας την ίδια λογική υπολογισμών με αυτήν της ενότητας 3.2.2, προκύπτουν τα αποτελέσματα της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου στην έξοδο της γεννήτριας. Τα δεδομένα και τα αποτελέσματα βρίσκονται στον πίνακα 8.1 του παραρτήματος Β. Συγκεντρωτικά παρουσιάζεται στον πίνακα 3.8 η ειδική κατανάλωση του καυσίμου της ηλεκτρογεννήτριας στα διαφορά ποσοστιαία φορτία λειτουργίας.

Πίνακας 3.8: Ειδική κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννήτριας μέγιστου φορτιού 440kW

YANMAR-TAIYO 6EY18ALW x 440kW					
Load [kW] %	25%	50%	75%	100%	110%
SFOC [g/kW·h]	289.8	232.1	213.8	206.1	205.5

Συμφώνα με τον πίνακα 3.8 δημιουργείται καμπύλη ειδικής κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με την ενεργειακή απαίτηση στην έξοδο της γεννήτριας και παρουσιάζεται στο διάγραμμα 3.2.



Διάγραμμα 3.2: Ειδική κατανάλωση καυσίμου στην έξοδο της ηλεκτρογεννήτριας

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

Σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρία, η ειδική κατανάλωση καυσίμου στα διάφορα φορτία για την ηλεκτρογεννήτρια με μέγιστο φορτίο λειτουργίας τα 620kW παρουσιάζεται στον πίνακα 3.9.

Πίνακας 3.9: Ειδική κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννήτριας μέγιστου φορτίου 620kW

YANMAR-TAIYO 6EY18ALW x 620 kW					
Load (kW) %	25%	50%	75%	100%	110%
SFOC (gr/kW·h)	268.32	227.75	214.9	213.42	212.57

Παρατίθενται δύο μοντέλα ηλεκτρογεννήτριας με διαφορετικό μέγιστο φορτίο λειτουργίας, καθώς στην παρούσα εργασία θα γίνει μελέτη τεσσάρων διαφορετικών σεναρίων ενεργειακής απαίτησης συστήματος που χρησιμοποιεί πλυντρίδα (scrubber).

Τέλος, ακολουθούν τα αποτελέσματα των shop trials για τη μέτρηση των εκπομπών NOx από τις ηλεκτρογεννήτριες (πίνακας 3.10 και 3.11), σύμφωνα με τα αρχεία του κατασκευαστή. Σημειώνεται πως τα δεδομένα αφορούν μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε πρότυπο κινητήρα της ίδιας οικογένειας και η μεθοδολογία υπολογισμού παρουσιάζεται στον τεχνικό κώδικα του IMO, (2008a). Παρατηρεί κανείς πως οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου βρίσκονται εντός των ορίων που ορίζονται από τους κανονισμούς και μάλιστα λαμβάνουν τιμές πολύ χαμηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές της κύριας μηχανής. Για το λόγο αυτό δεν απαιτείται εγκατάσταση συστήματος επεξεργασίας καυσαερίων για τη μείωση των ρύπων NOx.

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

Πίνακας 3.10: Δεδομένα για τον υπολογισμό εκπομπών NOx των ηλεκτρογεννητριών

Parent Engine Test Report (Appendix 5 – Section 2)

Engine Family / Engine Group Reference	6EY18ALW2	
Parent Engine	6EY18ALWS	
Model / Type	6EY18ALWS	
Nominated rated power	kW	800
Nominated rated speed	min ⁻¹	900

Parent Engine test fuel oil		
Reference fuel designation	MDO	
ISO 8217: 2010 grade	DMA	
Carbon	%m/m	86.6
Hydrogen	%m/m	13.4
Sulphur	%m/m	0.0007
Nitrogen	%m/m	0.01
Oxygen	%m/m	0.0
Water	%V/V	0.0061

Measured data (Parent Engine)

Power / Torque	%	100	75	50	25	10
Speed	%	100	100	100	100	100
Mode point		1	2	3	4	5

Engine Performance							
Power	kW	800	600	400	200	80	
Speed	min ⁻¹	900	900	900	900	900	
Fuel Flow	kg/h	163.5	121.2	84.1	47.4	25.6	
Intake air flow (wet/dry)	kg/h	4786.7	3901.9	2716.5	1528.8	1072.1	
Exhaust gas flow	kg/h	5005.1	4064.1	2829.3	1591.5	1106.8	
Intake air temperature	°C	29.5	30.3	30.6	30.2	29.7	
Charge air temperature	°C	46.9	42.2	46.4	44.0	44.3	
Charge air reference temperature	°C	48.0	45.0	45.0	43.0	42.0	
Charge air pressure	kPa	358.7	265.8	154.5	51.3	14.3	
Inlet restriction	kPa	-0.78	-0.56	-0.30	-0.13	-0.08	
Additional parameter(s) used for emission corrections (specify)		—	—	—	—	—	—

Πίνακας 3.11: Αποτελέσματα εκπομπών NOx των ηλεκτρογεννητριών

Ambient conditions						
Atmospheric pressure	kPa	100.3	100.3	100.3	100.3	100.3
Relative humidity (RH) of Intake air	%	58.0	50.4	51.0	52.6	50.4
Air temperature of RH sensor	°C	29.5	30.3	30.6	30.2	29.7
Dry bulb temperature of intake air	°C	29.5	30.3	30.6	30.2	29.7
Wet bulb temperature of intake air	°C	23.0	22.4	22.6	22.6	21.8
Absolute humidity of intake air	g/kg	15.2	13.8	14.2	14.3	13.3

Emission concentrations						
NOx dry	ppm	844	824	821	749	451
CO2	%	7.30	6.62	6.60	6.60	5.05
O2 dry	%	10.81	11.81	11.75	11.65	13.69
CO	ppm	60	50	68	90	105
HC	ppmC	71	73	80	104	148

Calculated data (Parent Engine)						
Intake air humidity	g/kg	15.2	13.8	14.2	14.3	13.3
Charge air humidity	g/kg	14.6	14.4	26.1	39.6	54.4
Test condition parameter , fa		1.03	1.03	1.04	1.03	1.03
Dry/wet correction factor , kwr		0.912	0.920	0.920	0.920	0.934
NOx humidity correction factor , khf		1.067	1.064	1.057	1.058	1.040
Exhaust gas flow rate	kg/h	5005.1	4064.1	2829.3	1591.5	1106.8
NOx emission flow rate	kg/h	6.598	5.256	3.621	1.860	0.776
Additional emission correction factor	g/kWh	—	—	—	—	—
NOx emission	g/kWh	8.25	8.76	9.05	9.30	9.70

Test cycle		D2				
Emission value	g/kWh	8.9				

*All emission related parameters(Fuel injection timing, Exhaust back pressure) were adjusted to NOx maximum value in the emission test of parent engine. There is no additional parameter for emission corrections.

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

3.3 Βασικά χαρακτηριστικά ναυτικής πλυντρίδας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα γίνει σύγκριση μεταξύ τριών τύπων ναυτικής πλυντρίδας: closed loop, open loop και hybrid. Η επιλογή της ναυτικής πλυντρίδας έγινε σύμφωνα με το μέγεθος της κύριας μηχανής. Ο υπό εξέταση κινητήρας έχει μέγιστο σημείο λειτουργίας τα 6.8 MW και σύμφωνα με το κριτήριο αυτό έγινε επιλογή ναυτικής πλυντρίδας για σύστημα 8 MW (πίνακας 2.4) της εταιρίας Alfa Laval Nijmegen. Στον πίνακα 3.12 αναγράφονται τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των τριών υπό μελέτη συστημάτων, δηλαδή η ενεργειακή απαίτηση για τη λειτουργία του εκάστοτε συστήματος, ο ρυθμός παραγωγής υαλώδους υπολείμματος και ο απαιτούμενος όγκος κατανάλωσης καυστικής σόδας για την καταπολέμηση των αέριων ρύπων.

Πίνακας 3.12: Χαρακτηριστικά scrubber συστήματος 8MW

Scrubber Available Data				
Operating Procedure (Wet/Dry)	Wet	Wet	Wet	Wet
Operating Mode (Open /Closed/Hybrid) Loop	Closed	Open	Hybrid	Hybrid
			Closed Mode	Open Mode
Heavy Fuel Oil Sulphur Content (% m/m)	3.5	3.5	3.5	3.5
Ratio Emission Limit (SO ₂ /CO ₂)	4.3 (ECA Compliance)	4.3 (ECA Compliance)	4.3 (ECA Compliance)	4.3 (ECA Compliance)
Bleed-off water (m ³ /h)	3.5	N/A	3.5	N/A
Electric load (kW)	190	89	190	89
Electrical load Open Loop W.T.S. (kW)	N/A	29	N/A	29
Scrubbing water flow (m ³ /h)	675	357	675	357
Cooling water flow (Closed Loop) (m ³ /h)	240	N/A	240	N/A
Alkaline Solution (50% NaOH) Consumption (Closed Loop) (liter/h)	155	0	155	0
Sludge Production Rate (liter/h)	25	8	25	8

Δεδομένα υπολογιστικής διαδικασίας

Σύμφωνα με τον πίνακα 2.3 για σύστημα κύριας μηχανής 8 MW, οι επιλεχθέντες διαστάσεις της πλυντρίδας, παρουσιάζονται στον πίνακα 3.13.

Πίνακας 3.13: Κύριες διαστάσεις επιλεχθέντος συστήματος scrubber

Scrubber Dimensions Data	
Weight (Dry/Wet) [t]	5.9 /7.4
Length [m]	4.4
Diameter [m]	2.4
Total Height [m]	8.1

Σύμφωνα με το ναυπηγείο τα κόστη εξοπλισμού και τοποθέτησης μίας ναυτικής πλυντρίδας για μέγεθος κινητήρα 8MW φαίνονται στον πίνακα 3.14. Για σύστημα κλειστού βρόχου το συνολικό κόστος ανέρχεται στα 2,000,000,00 \$, για hybrid σύστημα στα 1,755,339.81 \$ και για ανοιχτό σύστημα στα 1,637,540.45 \$. Σε κάθε περίπτωση, το συνολικό κόστος απαρτίζεται από τα κόστη εξοπλισμού και τοποθέτησης, με το δεύτερο να ανέρχεται στο 50% του πρώτου (Reynolds et al., 2011). Όσον αφορά τα επιμέρους στοιχεία στο κόστος εξοπλισμού, σημειώνεται πως το κόστος της μελέτης αποτελεί το 7%, ενώ το κόστος για την εκπαίδευση του πληρώματος και την απόκτηση των σχετικών αρχείων, αποτελεί το 2% (Reynolds et al., 2011).

Πίνακας 3.14: Κόστος εγκατάστασης Scrubber

Scrubber Cost Data			
Cost [\$]	CLOSED	HYBRID	OPEN
Design	93,333.38	81,915.86	76,418.55
Training & Documentation	26,666.68	23,404.53	21,833.87
Parts	1,213,334	1,064,906.15	993,441.21
Total Equipment	1,333,334	1,170,226.54	1,091,693.64
Installation	666,667	585,113.27	545,846.82
Total	2,000,000	1,755,339.81	1,637,540.45

4 Υπολογιστική διαδικασία

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιούνται οι απαραίτητοι υπολογισμοί με σκοπό την αξιολόγηση της επένδυσης εγκατάστασης ναυτικής πλυντρίδας σε νεόδημο πλοίο σε σύγκριση με πλοίο που χρησιμοποιεί καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Οι τύποι πλυντρίδας που μελετώνται είναι τρεις και παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Σύμφωνα με αυτό, ο μελετητής καλείται να επιλέξει μεταξύ closed loop scrubber το οποίο βρίσκεται εν λειτουργία συνεχώς και το πλοίο κάνει χρήση καυσίμου με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο (HFO), open loop scrubber το οποίο βρίσκεται εν λειτουργία μόνο όταν το πλοίο βρίσκεται σε ζώνες εκτός ECA και για χρήση καυσίμου με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο (HFO), και συστήματος hybrid όπου όταν το πλοίο βρίσκεται σε ζώνες ECA λειτουργεί σαν closed loop ενώ όταν το πλοίο βρίσκεται σε ζώνες εκτός ECA λειτουργεί σαν open loop.

Οι ενότητες οι οποίες πρόκειται να καλυφθούν αφορούν την παρουσίαση των διάφορων καταστάσεων πλεύσης από τις οποίες περνά ένα πλοίο στα ταξίδια του και τον υπολογισμό κατανάλωσης καυσίμων και λιπαντικών στην έξοδο της κύριας μηχανής και των ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης.

Η έρευνα θα πραγματοποιηθεί μεταξύ τεσσάρων σεναρίων μελέτης. Στο πρώτο, όπου είναι και το σενάριο αναφοράς, δεν πραγματοποιείται εγκατάσταση ναυτικής πλυντρίδας και στο πλοίο γίνεται χρήση υψηλής ποιότητας καυσίμου σύμφωνα με τους κανονισμούς. Στα σενάρια μελέτης 2, 3 και 4 υπάρχει εγκατάσταση ναυτικής πλυντρίδας αλλά με διαφορετική συνολική ισχύ από τις εγκαταστημένες ηλεκτρογεννήτριες.

Τα παραπάνω σενάρια μελέτης συμβολίζονται ως εξής:

- Case 1: C₁= no scrubber installed, genset 3x400kW
- Case 2: C₂= scrubber installed, genset 3x440kW
- Case 3: C₃= scrubber installed, genset 4x440kW
- Case 4: C₄= scrubber installed, genset 3x620kW

Case 1: Στο σενάριο αυτό, δεν πραγματοποιείται εγκατάσταση ναυτικής πλυντρίδας δέσμευσης οξειδίων και η συμμόρφωση στους νέους κανονισμούς επιτυγχάνεται με τη χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Για τις περιοχές ECA το χρησιμοποιημένο καύσιμο είναι το MGO με ποσοστό θείου 0.1%, ενώ για τις περιοχές εκτός ECA το χρησιμοποιούμενο καύσιμο είναι το LSF0 με ποσοστό θείου 0.5%. Το εγκαταστημένο ζεύγος ηλεκτρογεννητριών είναι 3 ηλεκτρογεννήτριες με μέγιστο φορτίο λειτουργίας τα 440kW η κάθε μία.

Case 2: Σε αυτό το σενάριο γίνεται επιλογή εγκατάστασης ναυτικής πλυντρίδας δέσμευσης οξειδίων και η συμμόρφωση στους νέους κανονισμούς επιτυγχάνεται μέσω αυτής. Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο είναι το HFO με ποσοστό θείου 3.5%. Το εγκαταστημένο ζεύγος ηλεκτρογεννητριών είναι 3 ηλεκτρογεννήτριες με μέγιστο φορτίο λειτουργίας τα 440kW η κάθε μία.

Υπολογιστική διαδικασία

Case 3: Σε αυτό το σενάριο γίνεται επιλογή εγκατάστασης ναυτικής πλυντρίδας δέσμευσης οξειδίων και η συμμόρφωση στους νέους κανονισμούς επιτυγχάνεται μέσω αυτής. Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο είναι το HFO με ποσοστό θείου 3.5%. Το εγκαταστημένο ζεύγος ηλεκτρογεννητριών είναι 4 ηλεκτρογεννήτριες με μέγιστο φορτίο λειτουργίας τα 440kW η κάθε μία.

Case 4: Σε αυτό το σενάριο γίνεται επιλογή εγκατάστασης ναυτικής πλυντρίδας δέσμευσης οξειδίων και η συμμόρφωση στους νέους κανονισμούς επιτυγχάνεται μέσω αυτής. Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο είναι το HFO με ποσοστό θείου 3.5%. Το εγκαταστημένο ζεύγος ηλεκτρογεννητριών είναι 3 ηλεκτρογεννήτριες με μέγιστο φορτίο λειτουργίας τα 620kW η κάθε μία.

4.1 Καταστάσεις πλεύσης

Ένα πλοίο κατά την διάρκεια ενός ταξιδιού περνάει από τέσσερις καταστάσεις πλεύσης οι οποίες έχουν ως εξής :

- Sea Going
 - Harbour In&Out
 - Loading in port
 - Rest in port
-
- Ως κατάσταση Sea Going αναφέρεται η κατάσταση κατά την οποία ένα πλοίο ταξιδεύει με υπηρεσιακή ταχύτητα από ένα λιμάνι προς ένα άλλο.
 - Ως Rest in Port, θεωρείται η κατάσταση κατά την οποία ένα πλοίο βρίσκεται σε αγκυροβόλιο έξω από κάποιο λιμάνι, έως ότου υπάρξει διαθέσιμη προβλήτα για να φορτώσει ή ξεφορτώσει το εκάστοτε φορτίο.
 - Ως Harbour In ορίζεται η κατάσταση στην οποία το πλοίο μεταβαίνει, συνήθως με τη βοήθεια ρυμουλκών, από το σημείο αγκυροβολισμού (Rest in Port) ως την προβλήτα. Αντίστοιχα, ως Harbour_Out, η μετάβαση από την προβλήτα έως το σημείο αγκυροβολισμού (Rest in Port), απ' όπου το πλοίο ξεκινάει και πάλι την κανονική κατάσταση πλεύσης (Sea Going) έως το επόμενο λιμάνι.
 - Τέλος σαν κατάσταση Loading in Port θεωρείται η κατάσταση φόρτωσης και εκφόρτωσης στο λιμάνι.

Στην συγκεκριμένη μελέτη, έχουμε ως δεδομένο την διαδρομή που ακολούθησε ένα αδερφό πλοίο, κατασκευασμένο από το ίδιο ναυπηγείο λίγα χρόνια νωρίτερα. Συγκεκριμένα, με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα από την πλοιοκτήτρια εταιρία, η διαδρομή του αδερφού πλοίου διάρκεσε συνολικά 142 εβδομάδες με στάσεις σε 67 λιμάνια. Τα δεδομένα του παραπάνω ταξιδιού, βρίσκονται στον πίνακα 8.3 του παραρτήματος Β. Σύμφωνα με τον εν λόγω πίνακα υπολογίζουμε τον **μέσο ορό παραμονής σε κατάσταση Sea Going σε βάθος ενός έτους**, σύμφωνα με την εξίσωση 4.1.

$$SG_{days} = \left(\sum_{i=1}^{67} \text{days between ports} \right) * \frac{365}{994} = 225.07 [d] \quad (4.1)$$

Όπου 994 οι συνολικές ημέρες των 142 εβδομάδων ταξιδιού.

Υπολογιστική διαδικασία

Για τον υπολογισμό των υπόλοιπων καταστάσεων, αρχικά γίνεται ο υπολογισμός του **μέσου όρου επισκεπτόμενων λιμανιών ανά έτος** (ports per year) μέσω της εξίσωσης 4.2.

$$Ports\ per\ year = total\ voyages * \frac{365}{994} = 24.6 \quad (4.2)$$

Όπου ως *total voyages* ορίζονται τα 67 ταξίδια μεταξύ λιμανιών.

Για την κατάσταση **Loading in Port**, βρίσκουμε πως κατά μέσο όρο, τα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτιού χύδην έχουν μέσο χρόνο παραμονής μέσα στο λιμάνι, 2.05 μέρες (UNCTAD, 2019). Ως αποτέλεσμα, ο **συνολικός χρόνος παραμονής σε κατάσταση Loading in Port** σε διάστημα ενός έτους για το συγκεκριμένο πλοίο, υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τον μέσο χρόνο παραμονής μέσα στο λιμάνι (2.05) με τον μέσο όρο επισκεπτόμενων λιμανιών σε ένα έτος μέσω της εξίσωσης 4.3.

$$LP_{days} = 2.05 * ports\ per\ year = 50.45 [d] \quad (4.3)$$

Σύμφωνα με την πλοιοκτήτρια εταιρία ο μέσος χρόνος για την είσοδο και την έξοδο του πλοίου στο εκάστοτε λιμάνι (*Harbour in&out*) είναι περίπου 4.9 ώρες. Πολλαπλασιάζουμε τον αριθμό αυτόν με τον μέσο όρο επισκεπτόμενων λιμανιών ανά έτος και έτσι υπολογίζουμε τον **συνολικό αριθμό ημερών της κατάστασης Harbour in&out** όπως φαίνεται στην εξίσωση 4.4.

$$H_{in\&out\ days} = \frac{4.9 [h] \cdot 24.6}{24 \left[\frac{h}{d} \right]} = 5.027 [d] \quad (4.4)$$

Μέσω του πίνακα 8.3 του παραρτήματος Β, υπολογίζουμε σαν **μέσο χρόνο παραμονής σε λιμάνι για κάθε ταξίδι**, τις 5.69 ημέρες.

Σκοπός σε αυτό το στάδιο είναι να υπολογίσουμε το χρόνο αγκυροβολισμού (anchorage), δηλαδή την κατάσταση **Rest in Port**. Μέσω της εξίσωσης 4.5 λοιπόν, υπολογίζουμε τη συνολική διάρκεια αγκυροβολισμού σε ημέρες, αφαιρώντας από τον μέσο χρόνο παραμονής του πλοίου σε λιμάνι (5.69), τον μέσο χρόνο **Loading in Port** (2.05), για κάθε ταξίδι. Ύστερα, πολλαπλασιάζοντας το αποτέλεσμα με τον συνολικό αριθμό λιμανιών που επισκέπτεται το πλοίο κάθε χρόνο και αφαιρώντας τις συνολικές ημέρες της κατάσταση **Harbour In&Out**, βρίσκουμε τη **συνολική διάρκεια σε ημέρες για την κατάσταση Rest in Port**, σε ένα έτος.

$$RP_{days} = (5.69 - 2.05) * Ports\ per\ year - H_{in\&out\ days} = 84.55 [d] \quad (4.5)$$

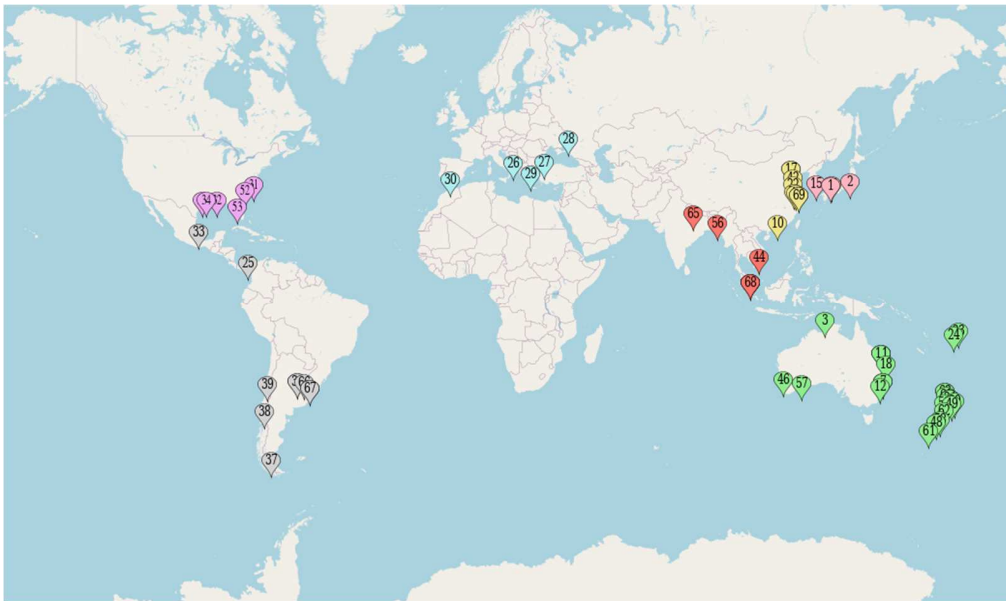
Υπολογιστική διαδικασία

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1. Συγκεκριμένα παρατίθεται η συνολική διάρκεια της κάθε κατάστασης σε ημέρες και σε ποσοστιαία αναλογία για το χρονικό διάστημα ενός χρόνου.

Πίνακας 4.1: Ημέρες παραμονής σε κάθε κατάσταση πλεύσης στη διάρκεια ενός έτους

	SEA GOING	HARBOUR IN AND OUT	LOADING IN PORT	REST IN PORT
Days	225.04	5.03	50.38	84.55
% per year	61.66	1.378	13.79	23.17

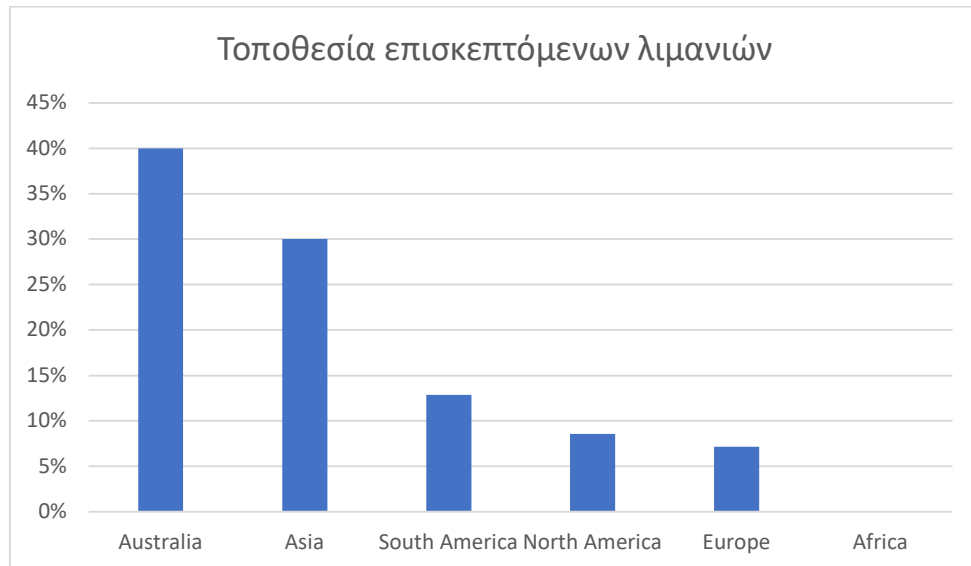
Χρησιμοποιώντας δεδομένα από τον πίνακα 8.3 του παραρτήματος Β, δημιουργείται η εικόνα 4.1, στη οποία παρουσιάζονται όλα τα λιμάνια τα οποία επισκέφτηκε το εν λόγω πλοίο κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού του.



Εικόνα 4.1: Επισκεπτόμενα λιμάνια πλοίου κατά τη διάρκεια ενός ταξιδιού (<https://www.marcustomizer.com>)

Υπολογιστική διαδικασία

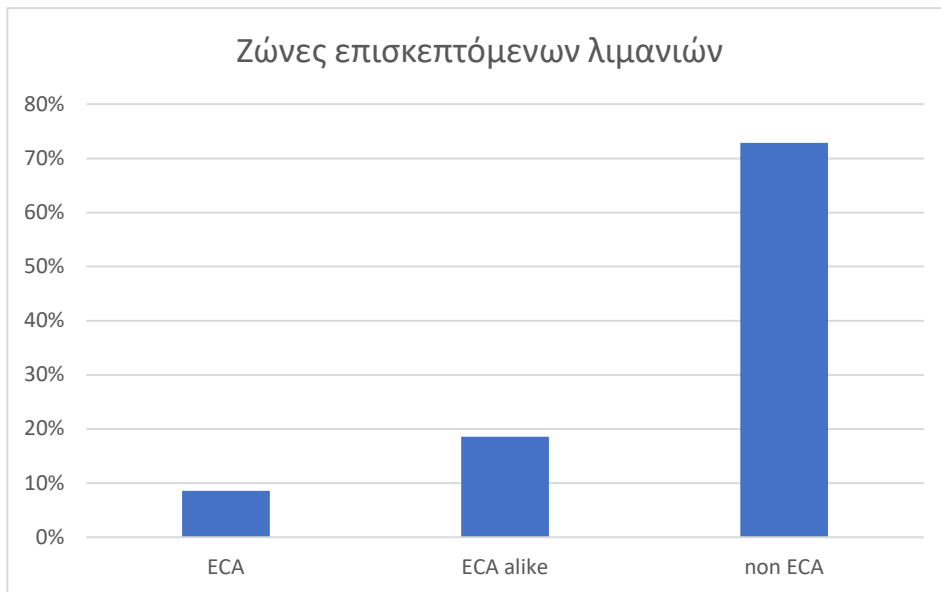
Μετατρέποντας τον αριθμό των λιμανιών ανά ήπειρο σε ποσοστά του συνολικού αριθμού λιμανιών, προκύπτουν τα αποτελέσματα του διαγράμματος 4.1.



Διάγραμμα 4.1: Κατανομή επισκεπτόμενων λιμανιών σε κάθε ήπειρο

Σε κάθε χώρα το κάθε λιμάνι, έχει τους δικούς του κανονισμούς σχετικά με τις εκπομπές αερίων και κατ' επέκταση τα καύσιμα που μπορεί να χρησιμοποιεί το πλοίο όταν βρίσκεται σε αυτό. Έτσι λοιπόν υπάρχουν λιμάνια τα οποία χαρακτηρίζονται ως ECA και σε αυτά οι εκπομπές αερίων θείου θα πρέπει να είναι οι ελάχιστες δυνατές (max 0,1%). Υπάρχουν λιμάνια τα οποία χαρακτηρίζονται ως ECA alike, όπου, απαγορεύεται η λειτουργία scrubber open loop και open mode στα hybrid scrubbers. Τέλος, υπάρχουν και τα λιμάνια σε περιοχές non ECA στα οποία πρέπει τα ποσοστά αερίων εκπομπών θείου να μην ξεπερνούν το 0,5%. Σύμφωνα με την εικόνα 4.1 και το διάγραμμα 4.1, ομαδοποιούνται τα εξεταζόμενα λιμάνια με βάση την κατηγορία στην οποία ανήκουν και δημιουργείται το διάγραμμα 4.2 στο οποίο παρουσιάζεται το ποσοστό πλεύσης σε λιμάνι ECA, ECA alike και non ECA για το υπό μελέτη πλοίο, στη διάρκεια ενός χρόνου.

Υπολογιστική διαδικασία



Διάγραμμα 4.2: Ποσοστό ECA, ECA alike και non ECA λιμανιών που επισκέπτεται το πλοίο ανά έτος

Μετατρέποντας τα παραπάνω ποσοστά σε ημέρες κατά το έτος, δημιουργείται ο πίνακας 4.2.

Πίνακας 4.2: Πλήθος ημερών πλεύσης σε κάθε ζώνη ελέγχου

Days in each area		
ECA	ECA alike	Non ECA
31.3	67.7	266.0

Στο σημείο αυτό σημειώνεται πως στην περίπτωση που λειτουργεί closed loop scrubber στο πλοίο, οι ημέρες πλεύσης σε ζώνες ECA έχουν όπως ορίζει ο πίνακας 4.2. Όταν όμως λειτουργεί είτε hybrid είτε open loop scrubber, θεωρείται πως οι ζώνες ECA και ECA alike έχουν κοινές απαιτήσεις και, για χάριν ευκολίας, οι μέρες πλεύσης σε αυτές τις ζώνες συμψηφίζονται (πίνακας 4.3).

Πίνακας 4.3: Ημέρες λειτουργίας συστημάτων scrubber σε ζώνες ελέγχου εκπομπών ανά έτος

	Closed Loop	Hybrid	Open Loop
ECA	31,3	99	99
non ECA	333,7	266	266

4.2 Καταναλώσεις κύριας μηχανής

Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει ανάλυση και παρουσίαση των καταναλώσεων των καυσίμων και λιπαντικών της κύριας μηχανής στα διάφορα φορτία λειτουργίας της. Σε κάθε κατάσταση πλεύσης, η κύρια μηχανή λειτουργεί σε διαφορετικό φορτίο και καταναλώνει διαφορετικές ποσότητες καυσίμων και λιπαντικών σύμφωνα με τον κατασκευαστή. Εκτός όμως από διαφορετική ποσότητα κατανάλωσης, σε περίπτωση χρήσης ναυτικής πλυντρίδας, γίνεται και χρήση διαφορετικού καυσίμου και λιπαντικού στην κύρια μηχανή, σύμφωνα με τους κανονισμούς. Ακολουθούν λοιπόν οι απαραίτητοι υπολογισμοί για τα τέσσερα εξεταζόμενα σενάρια (Case 1-4) όπως αυτά έχουν αναλυθεί στην αρχή του κεφαλαίου.

4.2.1 Κατανάλωση καυσίμου κύριας μηχανής

Για τον υπολογισμό της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου στην κύρια μηχανή, MB [kg/h], χρησιμοποιούμε την εξίσωση 4.6.

$$MB = \frac{3600 \cdot P}{HU \cdot \eta_e} \quad (4.6)$$

Ξεκινώντας θεωρούμε πως ο βαθμός απόδοσης η_e της κύριας μηχανής παραμένει σταθερός για κάθε χρησιμοποιούμενο καύσιμο. Αντλώντας δεδομένα από τα shop trials του πλοίου, και συγκεκριμένα από τους πίνακες 3.2 & 3.3 του προηγούμενου κεφαλαίου, υπολογίζουμε $\eta_e = 0.501$ με δεδομένα που φαίνονται στον πίνακα 4.2 και μέσω των εξισώσεων 4.7 & 4.8.

Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά λειτουργίας κύριας μηχανής σε φορτίο 76.9% P_{MCR}

IDEMITSU KOSAN CO., LTD. A-FUEL OIL (1A)				
$P_{76.9\%MCR}$ [kW]	HU [kJ/kg]	b_e [g/kWh]	MB [kg/h]	η_e
5215	41988	171.2	892.808	0.501

$$MB_{shop\,trial} = b_e \cdot P_{76.9\%MCR} \cdot 10^{-3} \left[\frac{kg}{h} \right] \quad (4.7)$$

$$\eta_e = \frac{3600 \cdot P_{76.9\%MCR}}{HU \cdot MB_{shop\,trial}} \quad (4.8)$$

Θεωρώντας τον ίδιο βαθμό απόδοσης για όλα τα σενάρια, οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται για όλα τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα, δηλαδή για IFO₃₈₀, MGO και LSFO. Στον πίνακα 4.5, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών για φορτίο λειτουργίας 76.9% P_{MCR} .

Υπολογιστική διαδικασία

Πίνακας 4.5: Κατανάλωση καυσίμου κύριας μηχανής για φορτίο λειτουργίας 76.9% P_{MCR} και τρεις τύπους καυσίμου

Fuel oil consumption at 76.9% MCR					
	Sulphur Content	HU [kJ/kg]	be [g/kWh]	MB [kg/h]	η_e
IFO ₃₈₀	3.5%	39550	179.31	935.11	0.501
LSFO	0.5%	42000	168.85	880.56	0.501
MGO	0,1%	42660	166.24	866.94	0.501

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται και για φορτίο λειτουργίας 50% P_{MCR} όπως φαίνεται στον πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6: Κατανάλωση καυσίμου κύριας μηχανής για φορτίο λειτουργίας 50% P_{MCR} και τρεις τύπους καυσίμου

Fuel oil consumption at 50% MCR					
	Sulphur Content	HU [kJ/kg]	be [g/kWh]	MB [kg/h]	η_e
IFO ₃₈₀	3.5%	39550	184.75	626.30	0.49
LSFO	0.5%	42000	173.97	589.75	0.49
MGO	0.1%	42660	171.28	580.64	0.49

Σύμφωνα με την πλοιοκτήτρια εταιρία για την κατάσταση Harbour In&Out το φορτίο λειτουργίας της κύριας μηχανής είναι 50% του P_{MCR} , ενώ για τις καταστάσεις Rest in Port και Loading in Port η κύρια μηχανή βρίσκεται εκτός λειτουργίας, με αποτέλεσμα η κατανάλωση καυσίμου είναι μηδέν. Οι καταναλώσεις καυσίμου της κύριας μηχανής για τις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας και για τα τρία διαφορετικά καύσιμα, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.7.

Πίνακας 4.7: Κατανάλωση καυσίμου κύριας μηχανής σε κάθε κατάσταση πλεύσης για τρεις τύπους καυσίμου

Fuel oil consumption for MAIN ENGINE				
	SEA GOING	HARBOUR IN & OUT	LOADING IN PORT	REST IN PORT
Main Engine Load (%MCR)	76.9	50	0	0
IFO ₃₈₀ FOC (kg/h)	935.11	626.30	0	0
LSFO FOC (kg/h)	880.56	589.75	0	0
MGO FOC (kg/h)	866.94	580.64	0	0

Υπολογιστική διαδικασία

4.2.2 Κατανάλωση λιπαντικών κύριας μηχανής

Η διαδικασία υπολογισμού της κατανάλωσης λιπαντικών από την κύρια μηχανή έγινε σύμφωνα με το εγχειρίδιο της κατασκευάστριας εταιρίας (MAKITA MAN B&W). Σύμφωνα με αυτήν, η ειδική κατανάλωση λιπαντικού συναρτίζεται του ποσοστού περιεκτικότητας σε θείο του χρησιμοποιημένου καυσίμου, παρουσιάζεται στον πίνακα 4.8 ως Feed rate Factor (FrF).

Πίνακας 4.8: Ειδική κατανάλωση λιπαντικών κύριας μηχανής συναρτίζεται της περιεκτικότητας σε θείο του εκάστοτε καυσίμου

Feed rate factor	
Fuel oil Sulphur content %	FrF [g/kWhs%]
3.5	0.2
0.5	0.5
0.1	0.5

Στην συνέχεια υπολογίζεται η ειδική κατανάλωση λιπαντικών (basic feed rate factor, B_{frf}), πολλαπλασιάζοντας την εκάστοτε ειδική κατανάλωση λιπαντικού με την αντίστοιχη περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου, όπως φαίνεται στην εξίσωση 4.9.

$$B_{frf} = FrF \cdot s\% \left[\frac{g}{kWh} \right] \quad (4.9)$$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών της ειδικής κατανάλωσης λιπαντικών παρουσιάζονται στον πίνακα 4.9.

Πίνακας 4.9: Ειδική κατανάλωση λιπαντικών κύριας μηχανής με βάση το ποσοστό σε θείο του χρησιμοποιούμενου καυσίμου

Basic Feed rate Factor [g/kwh]	
Fuel oil Sulphur content %	B_{frf} [g/kW*h]
3.5	0.7
0.5	0.25
0.1	0.05

Υπολογιστική διαδικασία

Σύμφωνα όμως με τον κατασκευαστή της κύριας μηχανής, για το συγκεκριμένο μοντέλο η ελάχιστη ειδική κατανάλωση λιπαντικών, δεν θα πρέπει να λαμβάνει τιμή μικρότερη από 0.6 g/kWh. Έτσι, τα διορθωμένα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.10.

$$B_{frfmin} = 0.6 \text{ [g/kWh]}$$

Πίνακας 4.10: Διορθωμένη ειδική κατανάλωση λιπαντικών κύριας μηχανής με βάση το ποσοστό σε θείο του χρησιμοποιούμενου καυσίμου

Corrected Basic Feed rate Factor [g/kwh]	
Fuel oil Sulphur content %	B_{frf} [g/kwh]
3.5	0.7
0.5	0.6
0.1	0.6

Ο υπολογισμός της ειδικής κατανάλωσης λιπαντικών στην κύρια μηχανή πραγματοποιείται μέσω της εξίσωσης 4.10, στην οποία ως P ορίζεται το φορτίο λειτουργίας του κινητήρα και ως B_{frf} η διορθωμένη ειδική κατανάλωση λιπαντικών.

$$B_{fr} = P * B_{frf} \left[\frac{g}{h} \right] \quad (4.10)$$

Τέλος, πραγματοποιείται υπολογισμός της κατανάλωσης λιπαντικών της κύριας μηχανής στις διάφορες καταστάσεις πλεύσης, όπως αυτές έχουν αναλυθεί παραπάνω και για τα αντίστοιχα φορτία λειτουργίας της κύριας μηχανής.

Πίνακας 4.11: Κατανάλωση λιπαντικών κύριας μηχανής στις διάφορες καταστάσεις πλεύσης για τρία διαφορετικά καύσιμα.

Basic feed rate [g/h]					
Fuel oil Sulphur content %	Oil Type	Bfr at Sea Going [g/h]	Bfr at Harbour in&out [g/h]	Bfr at Loading in Port	Bfr at Rest in Port
3.5 (HFO)	BN100	3650.50	2373.00	0	0
0.5 (LSFO)	BN40	3129.00	2034.00	0	0
0.1 (LSMGO)	BN40	3129.00	2034.00	0	0

4.3 Ενεργειακή μελέτη ηλεκτρογεννητριών

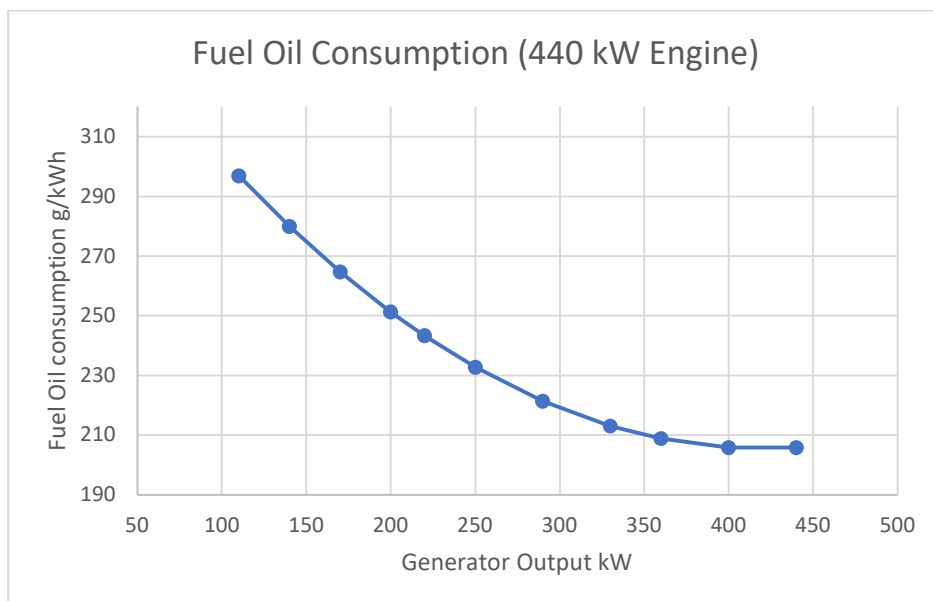
Στην παρούσα ενότητα θα πραγματοποιηθεί ηλεκτρικός ισολογισμός για κάθε κατάσταση λειτουργίας του πλοίου σε καθένα από τα τέσσερα εξεταζόμενα σενάρια (Case 1-4). Στη συνέχεια, θα υπολογιστούν οι καταναλώσεις καυσίμου στην έξοδο των ηλεκτρογεννητριών για τις διάφορες καταστάσεις πλεύσης του πλοίου.

Μέσω των αποτελεσμάτων των shop trials, τα οποία έχουν παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 3, αντλούμε δεδομένα για την ειδική κατανάλωση καυσίμου της ηλεκτρογεννήτριας. Συγκεκριμένα, ο πίνακας 3.8 περιέχει την ειδική κατανάλωση για μέγιστο φορτίο λειτουργίας, 440 kW, ενώ ο πίνακας 3.9 για τα 620 kW αντίστοιχα. Για τα αποτελέσματα αυτά δημιουργήθηκαν οι εξισώσεις 4.11 και 4.12 για 440 kW και 620 kW αντίστοιχα, οι οποίες προσεγγίζουν τις τιμές των shop trials με μεγάλη ακρίβεια.

$$SFOC_{440} = -0.5 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 + 0.001 \cdot x^2 - 0.8131 \cdot x + 374.3 \quad (4.11)$$

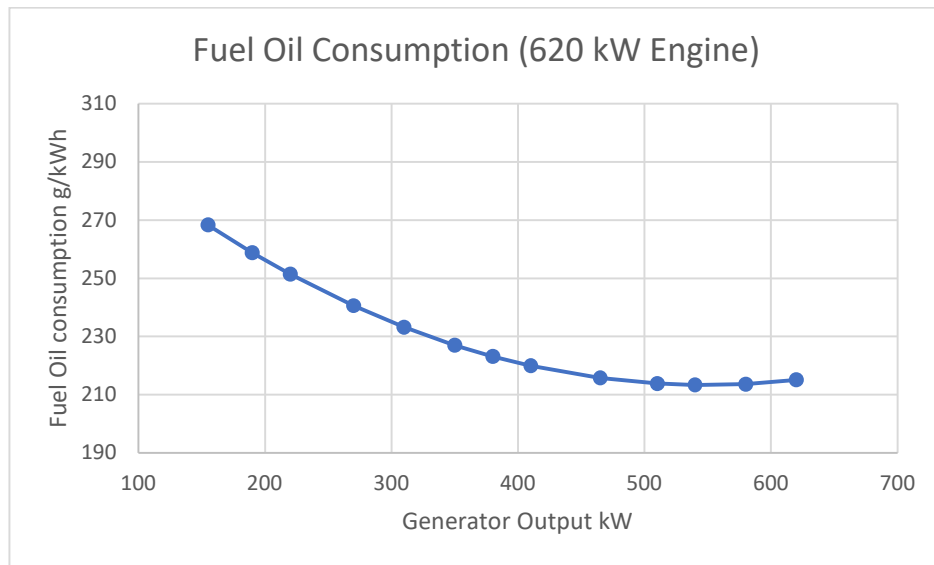
$$SFOC_{620} = -3.5 \cdot 10^{-8} \cdot x^3 + 0.0004 \cdot x^2 - 0.4069 \cdot x + 322 \quad (4.12)$$

Οι παραπάνω εξισώσεις, αποτυπώνονται με τη μορφή καμπύλης στα διαγράμματα 4.3 και 4.4.



Διάγραμμα 4.3: Ειδική κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννήτριας με μέγιστο φορτίο λειτουργίας τα 440kW

Υπολογιστική διαδικασία



Διάγραμμα 4.4: Ειδική κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννήτριας με μέγιστο φορτίο λειτουργίας τα 620kW

Στον πίνακα 4.12 που ακολουθεί παρουσιάζονται:

- συγκεντρωτικά δεδομένα για τα τέσσερα εξεταζόμενα σενάρια
- ο αριθμός των εγκαταστημένων ηλεκτρογεννητριών
- το μέγιστο φορτίο λειτουργίας τους
- και το προς κατανάλωση καύσιμο όταν χρησιμοποιείται closed loop scrubber.

Οι πίνακες 4.13 και 4.14 περιέχουν τα δεδομένα που αντιστοιχούν στην περίπτωση χρήσης hybrid και open loop scrubber.

Πίνακας 4.12: Συγκεντρωτικά δεδομένα λειτουργίας ηλεκτρογεννητριών για τα τέσσερα εξεταζόμενα σενάρια όταν χρησιμοποιείται closed loop scrubber

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Scrubber Installed	No	Yes	Yes	Yes
Generator Type	6EY18ALW			
Rated Output [kW]	500	500	500	680
Generator Output [kW]	440	440	440	620
Number of generators	3	3	4	3
Fuel used in Non ECA	LSFO	HFO	HFO	HFO
Fuel used in ECA	MGO	HFO	HFO	HFO

Υπολογιστική διαδικασία

Πίνακας 4.13: Συγκεντρωτικά δεδομένα λειτουργίας ηλεκτρογεννητριών για τα τέσσερα εξεταζόμενα σενάρια όταν χρησιμοποιείται *hybrid scrubber*

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Scrubber Installed	No	Yes	Yes	Yes
Generator Type	6EY18ALW			
Rated Output [kW]	500	500	500	680
Generator Output [kW]	440	440	440	620
Number of generators	3	3	4	3
Fuel used in Non ECA	LSFO	HFO	HFO	HFO
Fuel used in ECA	MGO	HFO	HFO	HFO

Πίνακας 4.14: Συγκεντρωτικά δεδομένα λειτουργίας ηλεκτρογεννητριών για τα τέσσερα εξεταζόμενα σενάρια όταν χρησιμοποιείται *open loop scrubber*

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Scrubber Installed	No	Yes	Yes	Yes
Generator Type	6EY18ALW			
Rated Output [kW]	500	500	500	680
Generator Output [kW]	440	440	440	620
Number of generators	3	3	4	3
Fuel used in Non ECA	LSFO	HFO	HFO	HFO
Fuel used in ECA	MGO	MGO	MGO	MGO

Υπολογιστική διαδικασία

4.3.1 Ηλεκτρικός ισολογισμός

Μετά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των shop trials και των χαρακτηριστικών της διαθέσιμης ναυτικής πλυντρίδας, ακολουθεί ανάλυση του ηλεκτρικού ισολογισμού του πλοίου για όλες τις καταστάσεις λειτουργίας αυτού.

Από το εγχειρίδιο Electrical Power Table, το οποίο παρατίθεται στον πίνακα 8.2. του παραρτήματος Β, αντλούνται πληροφορίες σχετικά με όλους τους εγκαταστημένους καταναλωτές που βρίσκονται πάνω στο πλοίο. Για κάθε καταναλωτή είναι γνωστός ο βαθμός απόδοσης του, η απαιτούμενη ισχύς για τη λειτουργία του καθώς και το ποσοστό στο οποίο λειτουργεί. Για κάθε κατάσταση πλεύσης του πλοίου, λειτουργεί διαφορετικός αριθμός καταναλωτών (στήλη Ν', πίνακας 8.2).

Στο πλοίο έχουν εγκατασταθεί καταναλωτές συνεχούς φορτίου (Continuous Load, C.L.) και εναλλασσόμενου φορτίου (Intermittent Load, I.L.). Για τους καταναλωτές εναλλασσόμενου φορτίου I.L. μέσω του συντελεστή Diversity Factor (D.F.) υπολογίζεται το πραγματικό φορτίο λειτουργίας τους όπως φαίνεται στην εξίσωση 4.13. Στη συνέχεια, τα επιμέρους φορτία αθροίζονται μεταξύ τους και η τελική τιμή συγκρίνεται με ένα μέγιστο φορτίο ασφαλείας που δίνεται από το ναυπηγείο. Τελικά, επιλέγεται η μεγαλύτερη τιμή από τις δύο.

$$\text{Total I.L.} = (\sum \text{Intermittent Load}) / D.F. \text{ [kW]} \quad (4.13)$$

$$I.L. = \begin{cases} \text{Total I.L.}, & \text{Max Load} < \text{Total I.L.} \\ \text{Max Load}, & \text{Max Load} \geq \text{Total I.L.} \end{cases}$$

Τέλος, το επιλεγμένο φορτίο εναλλασσόμενων καταναλωτών προστίθεται στο αντίστοιχο φορτίο καταναλωτών συνεχούς λειτουργίας και έτσι υπολογίζεται το συνολικό απαιτούμενο φορτίο των καταναλωτών για κάθε κατάσταση πλεύσης, εξίσωση 4.14.

$$\text{Grand Total Load} = \text{Total C.L} + I.L. \text{ [kW]} \quad (4.14)$$

Υπολογιστική διαδικασία

Σχετικά με τον αριθμό των εν λειτουργία γεννητριών, σημειώνεται πως πάντα θεωρείται ότι λειτουργούν το πολύ δύο από τις τρεις εγκαταστημένες γεννήτριες, σε κάθε κατάσταση πλεύσης. Εξαιρέση της παραπάνω πρότασης αποτελεί η κατάσταση φορτοεκφόρτωσης (Loading in Port) όπου ακολουθείται η διαδικασία που αναγράφεται στους ισχύοντες κανονισμούς (DNV-GL, 2016).

Ομαδοποιώντας τους καταναλωτές σε κατηγορίες, παρουσιάζεται η συνολική απαίτηση φορτίου για κάθε κατηγορία. Με βάση την προκύπτουσα ενεργειακή απαίτηση, υπολογίζεται και ο αριθμός των εν λειτουργία γεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης. Τα αποτελέσματα για το σενάριο 1 (Case 1: No scrubber installed, genset 3x440 kW) φαίνονται στον πίνακα 4.15, ενώ στους πίνακες 4.18-4.25, αναγράφονται τα αποτελέσματα των υπόλοιπων σεναρίων (Case 2, 3 & 4) για καθένα από τα τρία είδη scrubber.

Πίνακας 4.15: Ενεργειακή απαίτηση και εν λειτουργία ηλεκτρογεννήτριες πρώτου σεναρίου

GENERATOR LOAD SUMMARY								
3X440KW NO SCRUBBER								
LOAD GROUP	SEA GOING		HARBOUR IN & OUT		LOADING IN PORT		REST IN PORT	
	[KW]		[KW]		[KW]		[KW]	
	C.L.	I.L.	C.L.	I.L.	C.L.	I.L.	C.L.	I.L.
ENGINE AUXILIARIES	113.5	27.5	206.3	0.0	67.0	27.5	19.5	27.5
SHIP SERVICE AUX.	59.0	120.9	116.5	49.0	272.1	17.6	42.1	17.6
BOILER AUX.	0.0	5.0	0.0	13.9	0.0	13.9	0.0	13.9
DECK MACHINERY	53.9	23.0	150.8	23.0	45.7	23.0	44.8	23.0
CARGO GEAR & SERVICE	0.0	0.0	0.0	0.0	450.9	0.0	0.0	0.0
LIGHTING & ETC	30.0	0.0	39.8	0.0	63.8	0.0	45.0	0.0
TOTAL [KW]	256.3	176.4	513.4	85.9	899.4	82.0	151.5	82.0
DIVERSITY FACTOR	3.00		3.00		3.00		3.00	
EQUIV. CONT. [KW]	58.80		28.62		27.33		27.33	
MAX. LOAD [KW]	75.00		31.52		26.00		26.00	
GRAND TOTAL [KW]	331.28		544.88		926.72		178.8	
WORKING GENERATORS	1		2		3		1	
D.F. (%): GEN.BASE	75.3		61.9		70.2		40.6	

Υπολογιστική διαδικασία

4.3.2 Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών

Σε αυτή την ενότητα γίνεται υπολογισμός της κατανάλωσης καυσίμου των ηλεκτρογεννητριών για κάθε κατάσταση πλεύσης σε κάθε εξεταζόμενο σενάριο. Κατά την διάρκεια διεξαγωγής των shop trials χρησιμοποιήθηκε καύσιμο MDO με κατώτερη θερμογόνο δύναμη $HU_{trials} = 42630$ [kJ/kg]. Εφόσον κατά τη διάρκεια ζωής του το πλοίο χρησιμοποιεί καύσιμο με διαφορετικές ιδιότητες από το καύσιμο των shop trials, απαιτείται διόρθωση στην εξίσωση ειδικής κατανάλωσης του εκάστοτε καυσίμου. Οι ιδιότητες των εξεταζόμενων καυσίμων παρουσιάζονται στον πίνακα 4.16. Για την εύρεση του διορθωτικού συντελεστή ω , χρησιμοποιούμε την εξίσωση 4.15.

$$\omega = HU_{trials}/HU_{used} \quad (4.15)$$

Πίνακας 4.16: Κατώτερη θερμογόνος δύναμη χρησιμοποιούμενων καυσίμων

Correction factor ω			
	HU_{trials} [kJ/kg]	HU_{used} [kJ/kg]	$\omega = HU_{trials} / HU_{used}$
HFO (3.5%)	42630	39550	1.078
LSFO (0.5%)	42630	42000	1.015
LSMGO (0.1%)	42630	42660	0.999

Πολλαπλασιάζοντας τις εξισώσεις 4.11 & 4.12 με τον διορθωτικό συντελεστή ω , προκύπτουν οι διορθωμένες εξισώσεις ειδικής κατανάλωσης καυσίμου στην έξοδο της γεννήτριας, συναρτήσει της ενεργειακής απαίτησης σε κάθε κατάσταση πλεύσης.

$$SFOC_{440} = \omega \cdot (-0.5 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 + 0.001 \cdot x^2 - 0.8131 \cdot x + 374.3) \quad (4.16)$$

$$SFOC_{620} = \omega \cdot (-3.5 \cdot 10^{-8} \cdot x^3 + 0.0004 \cdot x^2 - 0.4069 \cdot x + 322) \quad (4.17)$$

Όπου x , η συνολική ενεργειακή απαίτηση της κάθε κατάστασης σε kW.

Υπολογιστική διαδικασία

Στους πίνακες 4.17 έως και 4.25 παρουσιάζονται για τα εξεταζόμενα σενάρια 1 έως 4 αντίστοιχα:

- η συνολική ενεργειακή απαίτηση της κάθε κατάστασης πλεύσης
- το πλήθος των εν λειτουργία γεννητριών
- το ποσοστό φόρτισης αυτών και,
- η κατανάλωση καυσίμου τόσο για την περίπτωση που το πλοίο πλέει σε περιοχή ECA όσο και σε περιοχή non ECA ανάλογα με τον αν χρησιμοποιεί scrubber και τον τύπο αυτού.

Πίνακας 4.17: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το πρώτο σενάριο χωρίς scrubber για ζώνες ECA και non ECA

Specific Fuel Oil Consumption				
3x440kW No Scrubber				
	SEA GOING	HARBOUR IN & OUT	LOADING IN PORT	REST IN PORT
Total Load [kW]	331.28	544.88	926.72	178.81
Working Generator	1	2	3	1
Generators Load Factor (%)	75.29	61.92	70.21	40.64
D/G SFOC LSFO [g/kWh]	216.06	229.38	220.33	264.51
D/G FOC LSFO [kg/h]	71.6	125.0	204.2	47.3
D/G SFOC MGO [g/kWh]	212.65	225.83	216.86	260.34
D/G FOC MGO [kg/h]	70.4	123.1	201.0	46.6

Πίνακας 4.18: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το δεύτερο σενάριο με closed loop scrubber για ζώνες ECA και non ECA

Specific Fuel Oil Consumption				
3x440kW Scrubber CL				
	SEA GOING	HARBOUR IN & OUT	LOADING IN PORT	REST IN PORT
Total Load [kW]	521.28	734.88	1116.72	368.81
Working Generator	2	2	3	1
Generators Load Factor (%)	59.24	83.51	84.60	83.82
D/G SFOC HFO [g/kWh]	247.32	224.30	223.81	224.16
D/G FOC HFO [kg/h]	128,9	164,8	249,9	82,7

Υπολογιστική διαδικασία

Πίνακας 4.19: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το τρίτο σενάριο με closed loop scrubber για ζώνες ECA και non ECA

Specific Fuel Oil Consumption				
4x440kW Scrubber CL				
	SEA GOING	HARBOUR IN & OUT	LOADING IN PORT	REST IN PORT
Total Load [kW]	521.28	734.88	1116.72	368.81
Working Generator	2	3	4	2
Generators Load Factor (%)	59.24	55.67	63.45	41.91
D/G SFOC HFO [g/kWh]	247.32	252.68	241.64	278.18
D/G FOC HFO [kg/h]	128.9	185.7	269.8	102.6

Πίνακας 4.20: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το τέταρτο σενάριο με closed loop scrubber για ζώνες ECA και non ECA

Specific Fuel Oil Consumption				
3x620kW Scrubber CL				
	SEA GOING	HARBOUR IN & OUT	LOADING IN PORT	REST IN PORT
Total Load [kW]	521.28	734.88	1116.72	368.81
Working Generator	1	2	3	1
Generators Load Factor (%)	84.08	59.26	60.04	59.49
D/G SFOC HFO [g/kWh]	230.29	242.29	241.64	242.10
D/G FOC HFO [kg/h]	120.0	178.1	269.8	89.3

Πίνακας 4.21: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το δεύτερο σενάριο με open loop scrubber για ζώνες non ECA

Specific Fuel Oil Consumption				
3x440kW Scrubber OL non ECA				
	SEA GOING	HARBOUR IN & OUT	LOADING IN PORT	REST IN PORT
Total Load [kW]	449.28	662.88	1044.72	296.81
Working Generator	2	2	3	1
Generators Load Factor (%)	51.05	75.33	79.15	67.46
D/G SFOC HFO [g/kWh]	260.38	229.44	226.71	236.89
D/G FOC HFO [kg/h]	117.0	152.1	236.8	70.3

Υπολογιστική διαδικασία

Πίνακας 4.22: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το δεύτερο και τρίτο σενάριο με open loop scrubber για ζώνες ECA

Specific Fuel Oil Consumption				
3x440kW Scrubber & 4x440kW Scrubber OL ECA				
	SEA GOING	HARBOUR IN & OUT	LOADING IN PORT	REST IN PORT
Total Load [kW]	331.28	544.88	926.72	178.81
Working Generator	1	2	3	1
Generators Load Factor (%)	75.29	61.92	70.21	40.64
D/G SFOC MGO [g/kWh]	212.71	225.83	216.92	260.41
D/G FOC MGO [kg/h]	70.5	123.1	201.0	46.6

Πίνακας 4.23: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το τρίτο σενάριο με open loop scrubber για ζώνες non ECA

Specific Fuel Oil Consumption				
4x440kW Scrubber OL non ECA				
	SEA GOING	HARBOUR IN & OUT	LOADING IN PORT	REST IN PORT
Total Load [kW]	449.28	662.88	1044.72	296.81
Working Generator	2	3	4	2
Generators Load Factor (%)	51.05	50.22	59.36	33.73
D/G SFOC HFO [g/kWh]	260.38	261.87	247.14	296.98
D/G FOC HFO [kg/h]	117.0	173.6	258.2	88.1

Πίνακας 4.24: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το τέταρτο σενάριο με open loop scrubber για ζώνες non ECA

Specific Fuel Oil Consumption				
3x620kW Scrubber OL non ECA				
	SEA GOING	HARBOUR IN & OUT	LOADING IN PORT	REST IN PORT
Total Load [kW]	449.28	662.88	1044.72	296.81
Working Generator	1	2	3	1
Generators Load Factor (%)	72.46	53.46	56.17	47.87
D/G SFOC HFO [g/kWh]	233.66	247.73	245.06	253.92
D/G FOC HFO [kg/h]	105.0	164.2	256.0	75.4

Υπολογιστική διαδικασία

Πίνακας 4.25: Κατανάλωση καυσίμου ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης για το τέταρτο σενάριο με open loop scrubber για ζώνες ECA

Specific Fuel Oil Consumption				
3x620kW Scrubber OL ECA				
	SEA GOING	HARBOUR IN & OUT	LOADING IN PORT	REST IN PORT
Total Load [kW]	331.28	544.88	926.72	178.81
Working Generator	1	2	3	1
Generators Load Factor (%)	53.43	43.94	49.82	28.84
D/G SFOC MGO [g/kWh]	229.67	239.96	233.28	261.65
D/G FOC MGO [kg/h]	76.1	130.7	216.2	46.8

Για την περίπτωση του συστήματος hybrid αντλούμε πληροφορίες από τους πίνακες του συστήματος closed loop όταν το πλοίο βρίσκεται σε ζώνες ECA και από τους πίνακες του συστήματος open loop όταν το πλοίο βρίσκεται σε ζώνες non ECA. Παρατηρείται πως η ειδική κατανάλωση καυσίμου των ηλεκτρογεννητριών αυξάνεται όταν υπάρχει εγκατάσταση scrubber. Συγκεκριμένα στην περίπτωση εγκατάστασης scrubber κλειστού βρόχου η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά μέσο όρο για όλες τις καταστάσεις πλεύσης κατά 4.5%. Η αντίστοιχη τιμή για την περίπτωση εγκατάστασης συστήματος ανοιχτού βρόχου ανέρχεται στο 7.8%.

Υπολογιστική διαδικασία

5 Οικονομική μελέτη

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται η οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης για την εγκατάσταση ναυτικής πλυντρίδας (scrubber) σε νεόδμητο πλοίο. Συγκεκριμένα, εξετάζεται το κέρδος που επιφέρει η επένδυση για διαφορετικά είδη ηλεκτρογεννητριών σε συνδυασμό με τρία συστήματα scrubber: closed loop, open loop και hybrid. Ανάλογα με την περιοχή πλεύσης του πλοίου, μελετάται η χρήση διαφορετικού καυσίμου με τιμή η οποία μεταβάλλεται σύμφωνα με τα οικονομικά στοιχεία της περιόδου 2019-2020. Η διάρκεια ζωής της εγκατάστασης θεωρείται δέκα χρόνια και έτσι η διάρκεια του δανείου και της οικονομικής μελέτης επιλέγεται να είναι ίδια. Στο σημείο αυτό σημειώνεται πως ενώ η διάρκεια ζωής του πλοίου είναι μεγαλύτερη, η επένδυση μελετάται μόνο για δέκα χρόνια, καθώς πέραν του διαστήματος αυτού, δεν υπάρχουν τα απαραίτητα οικονομικά δεδομένα για τους ακόλουθους υπολογισμούς.

Η οικονομική ανάλυση πραγματοποιείται με βάση τα ημερήσια έξοδα και έσοδα του πλοιοκτήτη, τα οποία μπορεί να είναι ποσότητες σταθερές ή μεταβλητές. Παράμετρος των υπολογισμών θεωρείται το πλήθος των ημερών πλεύσης ενός πλοίου σε ζώνες ελέγχου αέριων εκπομπών (ζώνες ECA) και όλες οι μεταβλητές ποσότητες παραμετροποιούνται με βάση αυτό.

Συγκεκριμένα, η οικονομική ανάλυση αποτελείται από:

- τη μελέτη των δανειζόμενων ποσών σε κάθε εξεταζόμενο σενάριο
- τη μελέτη των ημερήσιων σταθερών λειτουργικών εξόδων και μεταβλητών εξόδων λόγω χρήσης συστήματος scrubber
- το μεταβλητό κόστος των καυσίμων και των λιπαντικών που καταναλώνονται στην κύρια μηχανή και τις ηλεκτρογεννήτριες
- το ποσόν που εξοικονομείται λόγω χρήσης φθηνότερου καυσίμου στις τρεις περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται scrubber
- τα έσοδα του πλοιοκτήτη, συμπεριλαμβανομένου του ναύλου, και
- τον υπολογισμό των δεικτών NPV, DPP, IRR μέσω των οποίων γίνεται η αξιολόγηση της κάθε επένδυσης.

Όλα τα αποτελέσματα ομαδοποιούνται και παρουσιάζονται σε πίνακες και διαγράμματα στο τέλος του κεφαλαίου.

Οικονομική μελέτη

5.1 Δανεισμός

Σε ένα νεόδμητο πλοίο, το μεγαλύτερο έξοδο όπου θα πρέπει να καλύψει ο αγοραστής, είναι το κόστος κατασκευής. Σύμφωνα με την πλοιοκτήτρια εταιρία για την κατασκευή του υπό μελέτη handy size Bulk Carrier, απαιτείται κεφάλαιο της τάξεως των 22.65 εκατομμυρίων δολαρίων. Στο κόστος κατασκευής δεν περιλαμβάνεται το κόστος των ηλεκτρογεννητριών και φυσικά το κόστος της ναυτικής πλυντρίδας (scrubber). Σύμφωνα με τα δεδομένα της αγοράς, το κόστος των ηλεκτρογεννητριών και του scrubber, καθώς και το συνολικό κόστος κατασκευής του πλοίου, παρουσιάζονται στους πίνακες 5.1 έως 5.3 (για closed loop, hybrid και open loop αντίστοιχα).

Πίνακας 5.1: Κόστος κατασκευής πλοίου με closed loop scrubber

Ship Building Cost (Closed Loop Scrubber)				
Cost (\$)	Case1	Case2	Case3	Case4
Hull & Machinery	22,650,000	22,650,000	22,650,000	22,650,000
D/G set	350,000	350,000	466,667	450,000
Scrubber	0	2,000,000	2,000,000	2,000,000
Total	23,000,000	25,000,000	25,116,667	25,100,000

Πίνακας 5.2: Κόστος κατασκευής πλοίου με hybrid scrubber

Ship Building Cost (Hybrid Scrubber)				
Cost (\$)	Case1	Case2	Case3	Case4
Hull & Machinery	22,650,000	22,650,000	22,650,000	22,650,000
D/G set	350,000	350,000	466,667	450,000
Scrubber	0	1,755,340	1,755,340	1,755,340
Total	23,000,000	24,755,340	24,872,007	24,855,340

Πίνακας 5.3: Κόστος κατασκευής πλοίου με open loop scrubber

Ship Building Cost (Open Loop Scrubber)				
Cost (\$)	Case1	Case2	Case3	Case4
Hull & Machinery	22,650,000	22,650,000	22,650,000	22,650,000
D/G set	350,000	350,000	466,667	450,000
Scrubber	0	1,637,540	1,637,540	1,637,540
Total	23,000,000	24,637,540	24,754,207	24,737,540

Οικονομική μελέτη

Καθώς το απαιτούμενο ποσόν είναι πολύ υψηλό, συνηθίζεται η λήψη δανείου από τράπεζα. Το δάνειο αυτό ανέρχεται στο μισό του συνολικού κόστους κατασκευής του πλοίου και έχει διάρκεια δέκα (10) χρόνια. Θεωρούμε σταθερή μηνιαία δόση με σταθερό επιτόκιο 5%. Στον πίνακα 5.4 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά του δανείου.

Πίνακας 5.4: Χαρακτηριστικά δανείου

Loan characteristics				
Case i	i=1	i=2	i=3	i=4
Ποσόν Δανείου Closed [\$]	11,500,000	12,500,000	12,558,333	12,550,000
Ποσόν Δανείου Hybrid [\$]	11,500,000	12,377,670	12,436,003	12,427,670
Ποσόν Δανείου Open [\$]	11,500,000	12,318,770	12,377,104	12,368,770
Επιτόκιο [%]	5	5	5	5
Πλήθος Ετήσιων Δόσεων	12	12	12	12
Διάρκεια Δανείου	10	10	10	10

Για τον υπολογισμό της μηνιαίας δόσης αποπληρωμής του δανείου, χρησιμοποιούμε την εξίσωση 5.1. Για κάθε εξεταζόμενο σενάριο i, εισάγουμε το συνολικό ποσόν δανείου, όπως αυτό προκύπτει από τον πίνακα 5.4. Για επιτόκιο 5% και περίοδο αποπληρωμής τα 10 χρόνια, οι επιμέρους μεταβλητές της εξίσωσης έχουν ως εξής:

$$r = \text{επιτόκιο} / 12$$
$$n = \text{έτη} * 12$$

$$\text{Μηνιαία Δοση}_i = \text{Δανειο}_i * \frac{r * (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1} \quad (5.1)$$

Για την εύρεση του ετήσιου και ημερήσιου ποσού αποπληρωμής πολλαπλασιάζουμε με 12 και διαιρούμε με 30 αντίστοιχα, το ποσόν της μηνιαίας δόσης που προκύπτει από την εξίσωση 5.1. Τα παραπάνω αποτελέσματα αναγράφονται στους πίνακες 5.5 έως 5.7 για σύστημα scrubber closed loop, hybrid και open loop αντίστοιχα.

Οικονομική μελέτη

Πίνακας 5.5: Ποσόν αποπληρωμής δανείου με χρήση closed loop scrubber

Ποσόν αποπληρωμής δανείου Closed Loop				
Δόση (\$)	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Μηνιαία	121,975.34	132,581.89	133,200.61	133,112.22
Ετήσια	1,463,704.11	1,590,982.72	1,598,407.31	1,597,346.65
Ημερήσια	4,010.15	4,358.86	4,379.20	4,376.29

Πίνακας 5.6: Ποσόν αποπληρωμής δανείου με χρήση open loop scrubber

Ποσόν αποπληρωμής δανείου Open Loop				
Δόση (\$)	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Μηνιαία	121,975.34	130659	131278	131189
Ετήσια	1,463,704.11	1567916	1575340	1574279
Ημερήσια	4,010.15	4,295.66	4316.00	4,313.09

Πίνακας 5.7: Ποσόν αποπληρωμής δανείου με χρήση hybrid scrubber

Ποσόν αποπληρωμής δανείου Hybrid Loop				
Δόση (\$)	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Μηνιαία	121,975.34	131,284.40	131,903.11	131,814.72
Ετήσια	1,463,704.11	1,575,412.72	1,582,837.31	1,581,776.65
Ημερήσια	4,010.15	4,316.19	4,336.54	4,333.63

5.2 Λειτουργικά έξοδα πλοίου

Εκτός από τα έξοδα κατασκευής, ο πλοιοκτήτης καλείται να καλύπτει και τα ετήσια λειτουργικά έξοδα του πλοίου. Στην κατηγορία αυτή, εντάσσονται τα έξοδα για τις ανάγκες του πληρώματος, τα ανταλλακτικά και τα λιπαντικά, τις εργασίες επισκευής και συντήρησης, την ασφάλιση και τη διαχείριση του πλοίου. Κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες αποτελεί ένα ποσοστό του συνολικού ποσού των λειτουργικών εξόδων, όπως φαίνεται στον πίνακα 5.8.

Πίνακας 5.8: Ανάλυση λειτουργικών εξόδων

Operating Costs (100%)	
Manning	45%
Store & Lubricants	15%
Repairs & Maintenance	15%
Insurance	12%
Administration	13%

Από την πλοιοκτήτρια εταιρία έχουμε σαν δεδομένο τα επιμέρους κόστη ασφάλισης του υπό μελέτη πλοίου για τα τέσσερα εξεταζόμενα σενάρια όπως φαίνεται στον πίνακα 5.9.

Πίνακας 5.9: Κόστος ασφάλισης πλοίου

Insurance Item	Case 1	Case 2,3 & 4
Hull & Machinery	51,614	51,614
Loss of Hire	12,757	12,757
War Risk	1,696	1,696
Misc.	4,346	4,346
Drugs	5,394	5,394
P&I	38,677	38,677
Freight	5,836	5,836
Scrubber	0	17,288
Total Insurance Cost (\$)	120,320	137,608

Οικονομική μελέτη

Έχοντας το συνολικό κόστος ασφάλισης για κάθε σενάριο και γνωρίζοντας ότι αναλογεί στο 12% του συνολικού λειτουργικού κόστους, είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε το συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος καθώς και τα επιμέρους κόστη που το αποτελούν. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον πίνακα 5.10. Παρατηρείται αύξηση στο κόστος πληρώματος, καθώς γίνεται πρόσληψη προσωπικού για την σωστή λειτουργία και συντήρηση του scrubber.

Πίνακας 5.10: Ετήσια και ημερήσια λειτουργικά έξοδα πλοίου

Operating cost [\$]		
	Case 1	Case 2,3 & 4
Manning	451,200.15	516,029.85
Store & Lubricants	150,400.05	172,009.95
Repairs & Maintenance	150,400.05	172,009.95
Insurance	120,320.04	137,607.96
Administration	130,346.71	149,075.29
Yearly operating cost (\$)	1,002,667	1,146,733
Daily operating cost (\$)	2,747	3,141
Increase (%)	0 %	14%

5.2.1 Λειτουργικά έξοδα λόγω χρήσης ναυτικής πλυντρίδας

Η λειτουργία ναυτικής πλυντρίδας κλειστού βρόχου, απαιτεί τη χρήση υδροξειδίου του νατρίου (NaOH) για τη δέσμευση του θείου που βρίσκεται σε υψηλή περιεκτικότητα στο Heavy Fuel Oil (HFO). Μέσω της διαδικασίας αυτής, δημιουργείται ιλύδες υπολείμμα (sludge) το οποίο αποθηκεύεται σε κατάλληλη δεξαμενή στο πλοίο έως ότου μεταφερθεί στις ειδικές εγκαταστάσεις διαχείρισης αποβλήτων των λιμανιών.

Σύμφωνα με τον ABS, γίνεται χρήση υδροξειδίου του νατρίου (NaOH) πυκνότητας 1.58 kg/lit με ρυθμό παραγωγής 155 lit/h. Το κόστος του συγκεκριμένου χημικού (υδροξειδίου του νατρίου/καυστική σόδα) στην αγορά κυμαίνεται από 50 έως 250 \$/t. Στη συγκεκριμένη μελέτη λάβαμε ως κόστος αγοράς καυστικής σόδας μία μέση τιμή 150 \$/t. Πραγματοποιώντας τις κατάλληλες πράξεις, υπολογίζεται το ετήσιο και ημερήσιο κόστος λειτουργίας λόγω χρήσης καυστικής σόδας όπως φαίνεται στον πίνακα 5.11 για τα σενάρια 2, 3 και 4 όπου λειτουργεί σύστημα scrubber closed loop.

Η παραγόμενη ποσότητα ιλύδους υπολείμματος εξαρτάται από το φορτίο λειτουργίας του κινητήρα σε κάθε κατάσταση πλεύσης. Λόγω έλλειψης δεδομένων, θεωρούμε πως το scrubber λειτουργεί σε όλες τις καταστάσεις πλεύσης στο μέγιστο φορτίο του, δηλαδή στα 190kW. Στην κατάσταση αυτή έχουμε παραγωγή ιλύδους υπολείμματος 25 lit/h με πυκνότητα 1.2 kg/lit (ABS, 2018).

Οικονομική μελέτη

Το κόστος επεξεργασίας και μεταφοράς του υπολείμματος ανέρχεται στα 139,69 \$/t. Πραγματοποιώντας τις κατάλληλες πράξεις, υπολογίζεται το ετήσιο και ημερήσιο κόστος λειτουργίας λόγω παραγωγής ιλυώδους υπολείμματος, όπως φαίνεται στον πίνακα 5.12 για τα σενάρια 2, 3 και 4 όπου λειτουργεί σύστημα scrubber closed loop.

Πίνακας 5.11: Λειτουργικά έξοδα λόγω χρήσης καυστικής σόδας στην περίπτωση λειτουργίας scrubber closed loop

NaOH Cost [\$]	
Production [lt/h]	155
Density [kg/lt]	1.57
Price [\$/t]	150
Yearly expense [\$]	321,584.2
Daily expense [\$]	881

Πίνακας 5.12: Λειτουργικά έξοδα λόγω παραγωγής ιλυώδους υπολείμματος στην περίπτωση λειτουργίας scrubber closed loop

Sludge Cost [\$]	
Production [lt/h]	25
Density [kg/lt]	1.2
Transportation [\$/t]	139.69
Yearly expense [\$]	36,710.53
Daily expense [\$]	100.58

Στην περίπτωση λειτουργίας scrubber open loop δεν χρησιμοποιείται καυστική σόδα για τη δέσμευση του θείου, παράγεται όμως ιλυώδες υπόλειμμα ο ρυθμός παραγωγής του οποίου είναι σταθερός και ίσος με 0.8 lt/h (πίνακας 5.13). Η παραγόμενη ποσότητα όμως μεταβάλλεται ανάλογα με το πλήθος ημερών που το σύστημα βρίσκεται εν λειτουργία, δηλαδή το πλήθος ημερών που το πλοίο πλέει σε ζώνη non ECA. Με τον ίδιο τρόπο λειτουργεί και το σύστημα hybrid όπου όταν το πλοίο βρίσκεται σε ζώνη ECA λειτουργεί ως closed loop scrubber, ενώ όταν το πλοίο βρίσκεται σε ζώνη non ECA λειτουργεί ως open loop scrubber. Οι υπολογισμοί για τα λειτουργικά έξοδα των συστημάτων open loop και hybrid scrubber βρίσκεται στον κώδικα rython ο οποίος παρατίθεται στο παράρτημα Γ του συγγράμματος.

Πίνακας 5.13: Ανάλυση εξόδων λόγω παραγωγής ιλυώδους υπολείμματος όταν λειτουργεί open loop και hybrid scrubber

Sludge Cost (\$)	
Production [lt/h]	0.8
Density [kg/lt]	1.2
Transportation [\$/t]	139.69

Οικονομική μελέτη

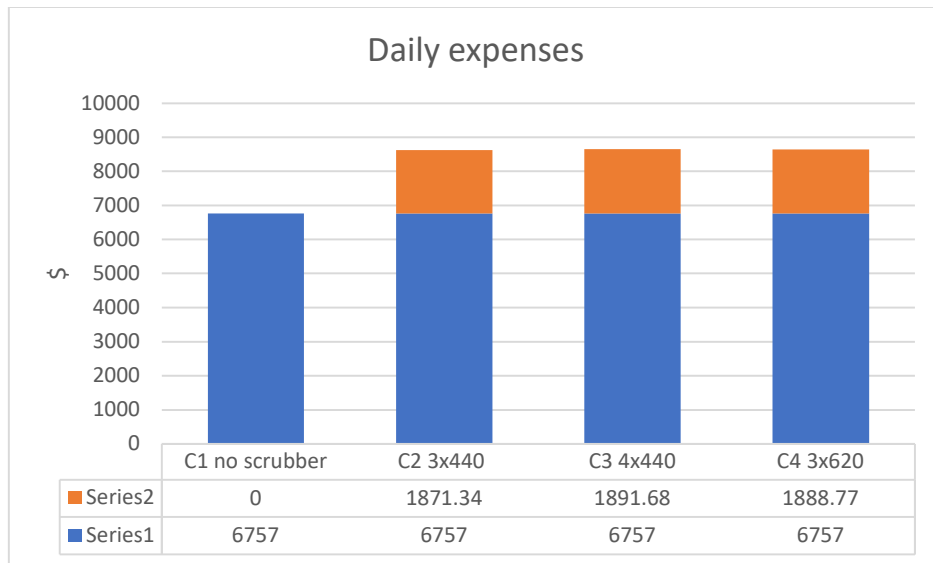
Το ετήσιο κόστος συντήρησης ενός συστήματος scrubber ισούται με το 4% του κόστους εξοπλισμού του (Reynolds et al., 2011). Με βάση λοιπόν τον πίνακα 3.14 υπολογίζεται το ετήσιο κόστος συντήρησης του scrubber.

Στον πίνακα 5.14 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα ετήσια έξοδα της εταιρίας για κάθε εξεταζόμενο σενάριο. Οι αναγραφόμενες ποσότητες είναι ανεξάρτητες των ημερών πλεύσης σε περιοχές ελέγχου αέριων εκπομπών (ECA) καθώς εξετάζονται οι περιπτώσεις εγκατάστασης συστήματος closed loop scrubber. Τα αντίστοιχα ποσά για τις περιπτώσεις εγκατάστασης συστήματος open loop και hybrid scrubber, παρατίθενται λόγω πολυπλοκότητας στον κώδικα rython στο παράρτημα Γ του συγγράμματος.

Πίνακας 5.14: Συνολικά σταθερά έξοδα πλοιοκτήτη για closed loop scrubber

Total Expenses				
Cost per year [\$/yr]	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Operation	1,002,667	1,146,733	1,146,733	1,146,733
Scrubber	Sludge	0	36,710.53	36,710.53
	NaOH	0	321,582.00	321,582.00
	Maintenance	0	53,333.34	53,333.34
	Scrubber Total	0	411,625.9	411,625.9
Loan	1,463,705	1,590,984	1,598,408	1,597,346
GRAND TOTAL	2,466,372	3,149,342.87	3,156,76.87	3,155,704.87
Daily Expenses (\$)	6,757.18	8,628.34	8,648.68	8,645.77

Οικονομική μελέτη



Διάγραμμα 5.1: Συνολικά έξοδα πλοιοκτήτη για κάθε εξεταζόμενο σενάριο με closed loop scrubber

Στο διάγραμμα 5.1 παρουσιάζονται τα ημερήσια έξοδα του πλοιοκτήτη για τα τέσσερα εξεταζόμενα σενάρια. Με πορτοκαλί χρώμα (Series 2) εμφανίζονται τα επιπλέον έξοδα λόγω χρήσης closed loop scrubber.

5.3 Κόστος καυσίμων και λιπαντικών

Όπως έχει αναλυθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, κατά τη διάρκεια του ταξιδιού του ένα πλοίο περνά από τέσσερις καταστάσεις πλεύσης: Sea Going, Harbour In&Out, Loading in Port και Rest in Port. Σε κάθε κατάσταση, η κύρια μηχανή και οι ηλεκτρογεννήτριες λειτουργούν σε διαφορετικό φορτίο ενώ μπορεί να βρίσκεται σε λειτουργία και η ναυτική πλυντρίδα. Όπως είναι φανερό λοιπόν, για κάθε κατάσταση πλεύσης, υπολογίζεται διαφορετική κατανάλωση καυσίμων και λιπαντικών στην κύρια μηχανή και στις ηλεκτρογεννήτριες, ενώ τα παραπάνω επηρεάζονται άμεσα και από το πλήθος των ημερών που το πλοίο βρίσκεται σε περιοχές ECA σε διάρκεια ενός χρόνου.

Σε αυτήν την ενότητα πραγματοποιείται υπολογισμός του κόστους των καυσίμων και των λιπαντικών με βάση την κατανάλωσή τους σε κάθε κατάσταση πλεύσης του πλοίου και σε καθένα από τα τέσσερα εξεταζόμενα σενάρια. Όπως έχει αναφερθεί και στην ενότητα 4.1, μετατρέπουμε τις ημέρες που αντιστοιχούν σε κάθε κατάσταση πλεύσης σε ποσοστά ενός ημερολογιακού έτους (πίνακας 5.15) με σκοπό την παραμετροποίηση του κόστους με βάση τις ημέρες πλεύσης σε ζώνες ECA.

Πίνακας 5.15: Ποσοστά παραμονής σε κάθε κατάσταση πλεύσης στη διάρκεια ενός έτους

	SEA GOING	HARBOUR IN AND OUT	LOADING IN PORT	REST IN PORT
% per year	61.66	1.378	13.79	23.17

Για τη διευκόλυνση των υπολογισμών, χρησιμοποιούμε στοιχεία από τη γραμμική άλγεβρα και κάνουμε πράξεις μεταξύ πινάκων.

Ξεκινώντας, δημιουργούμε πίνακα A διαστάσεων 1×4 όπου ως στοιχεία του ορίζουμε τα ποσοστά παραμονής του πλοίου σε κάθε κατάσταση πλεύσης, σύμφωνα με τον πίνακα 5.15.

$$A = [0.6166 \quad 0.01378 \quad 0.1379 \quad 0.2317] \quad (5.2)$$

Δημιουργούμε πίνακες Y_{ECA} και $Y_{N_{ECA}}$ διαστάσεων 366×1 με το πλήθος των ημερών πλεύση σε ζώνες ECA και Non ECA αντίστοιχα ($Y_{ECA} + Y_{N_{ECA}} = 365$).

$$Y_{ECA} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ \dots \\ 365 \end{bmatrix} \quad Y_{N_{ECA}} = \begin{bmatrix} 365 \\ 364 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

Οικονομική μελέτη

Υστερα, πολλαπλασιάζουμε καθέναν από τους πίνακες Y_{ECA} και $Y_{N_{ECA}}$ με τον πίνακα A , ώστε να βρούμε τις ημέρες που αντιστοιχούν σε κάθε κατάσταση πλεύσης με βάση τις ημέρες που το πλοίο βρίσκεται σε ζώνη ECA στο διάστημα ενός έτους. Οι πίνακες D_{ECA} και $D_{N_{ECA}}$ που προκύπτουν, έχουν διαστάσεις 366×4 όπου κάθε στήλη αντιστοιχεί σε μία κατάσταση πλεύσης και κάθε γραμμή στο πλήθος ημερών που αντιστοιχούν σε πλεύση σε περιοχή ECA (ή Non ECA, ανάλογα με τον πίνακα στον οποίο βρισκόμαστε), για κάθε κατάσταση.

$$\begin{aligned} D_{ECA} &= Y_{ECA} * A \\ D_{N_{ECA}} &= Y_{N_{ECA}} * A \end{aligned} \quad (5.4)$$

Με βάση τους πίνακες του 4^{ου} κεφαλαίου, στους οποίους υπολογίστηκαν οι καταναλώσεις καυσίμων και λιπαντικών της κύριας μηχανής και των ηλεκτρογεννητριών (πίνακες 4.7, 4.11, 4.17), δημιουργούνται οι πίνακες P_{ECA} και $P_{N_{ECA}}$ διαστάσεων 4×3 ο καθένας. Κάθε γραμμή του πίνακα αντιστοιχεί σε μία κατάσταση πλεύσης ενώ οι στήλες έχουν ως εξής:

- $j=1$: Κατανάλωση καυσίμων κύριας μηχανής
- $j=2$: Κατανάλωση λιπαντικών κύριας μηχανής
- $j=3$: Κατανάλωση καυσίμων ηλεκτρογεννητριών

$$P = \begin{bmatrix} i \setminus j & \text{Fuel Cons. M/E} & \text{Lub Cons. M/E} & \text{Fuel Cons. D/G} \\ SG & \dots & \dots & \dots \\ H_{in\&out} & \dots & \dots & \dots \\ LP & \dots & \dots & \dots \\ RP & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

Έτσι λοιπόν έχουμε για τον πίνακα P_{ECA} ο οποίος αναφέρεται στις καταναλώσεις καυσίμων και λιπαντικών της κύριας μηχανής και των ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης, με βάση τις μέρες που το πλοίο βρίσκεται σε ζώνη ECA:

$$P_{ECA} = \begin{bmatrix} 866.9 & 70.4 & 3.1 \\ 580.6 & 148.3 & 2.0 \\ 0 & 200.9 & 0 \\ 0 & 45.6 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

Οικονομική μελέτη

Αντίστοιχα προκύπτει και ο πίνακας P_{N_ECA} ο οποίος αναφέρεται στις μέρες που το πλοίο βρίσκεται εκτός ζώνης ECA:

$$P_{N_ECA} = \begin{bmatrix} 880.6 & 71.6 & 3.2 \\ 589.8 & 158.8 & 2.0 \\ 0 & 204.2 & 0 \\ 0 & 47.3 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

Σημειώνεται πως τα παραπάνω στοιχεία αφορούν τις **καταναλώσεις μόνο του σεναρίου 1** (Case 1: No scrubber, D/G set 3x440kW) και οι μονάδες μέτρησης όλων των παραπάνω ποσοτήτων είναι kg/h. Για τα σενάρια 2,3 & 4, μπορεί κανείς να ανατρέξει στον κώδικα που παρατίθεται στο παράρτημα Γ της εργασίας, όπου αναφέρονται αναλυτικά όλοι οι υπολογισμοί.

Για την εύρεση της κάθε κατανάλωσης σε κάθε κατάσταση πλεύσης με βάση τις μέρες εντός ECA, πολλαπλασιάζουμε τα στοιχεία της κάθε στήλης του πίνακα D_{ECA} με τα στοιχεία της κάθε γραμμής του πίνακα P_{ECA} και τα αποτελέσματα τα καταχωρούμε σε πίνακα K_{ECA} . Αντίστοιχες πράξεις γίνονται και μεταξύ των πινάκων D_{N_ECA} και P_{N_ECA} και δημιουργείται ο πίνακας K_{N_ECA} . Οι παραπάνω πίνακες έχουν διαστάσεις 366x3 και οι μονάδες μέτρησης των στοιχείων τους είναι kg.

$$\begin{aligned} K_{ECA_i} &= 24 * D_{ECA_i} * P_{ECA_i} \\ K_{N_ECA_i} &= 24 * D_{N_ECA_i} * P_{N_ECA_i} \end{aligned} \quad (5.7)$$

Όπου με δείκτη i έχουμε τις τέσσερις καταστάσεις πλεύσης, δηλαδή:

- $i=1$: Sea Going
- $i=2$: Harbour In&Out
- $i=3$: Loading in Port
- $i=4$: Rest in Port

Οι στήλες j των πινάκων K_{ECA} και K_{N_ECA} έχουν να κάνουν με τις καταναλώσεις καυσίμων και λιπαντικών στην κύρια μηχανή και στις ηλεκτρογεννήτριες. Θυμίζουμε πως:

- $j=1$: Κατανάλωση καυσίμων κύριας μηχανής
- $j=2$: Κατανάλωση λιπαντικών κύριας μηχανής
- $j=3$: Κατανάλωση καυσίμων ηλεκτρογεννητριών

Οικονομική μελέτη

Τέλος συγκεντρώνουμε τα αποτελέσματα από τις καταναλώσεις των καυσίμων και των λιπαντικών, αθροίζοντας τις αντίστοιχες τιμές των πινάκων K και τα καταχωρούμε σε πίνακες C. Όπως και πριν, έτσι και εδώ δημιουργούμε πίνακες C_{ECA} και C_{N_ECA} με βάση τις ημέρες πλεύσης του πλοίου στις αντίστοιχες ζώνες. Οι διαστάσεις των παραπάνω πινάκων είναι 366x1 και οι μονάδες μέτρησης των στοιχείων τους είναι ton.

$$\begin{aligned}C_{ECA_{1i}} &= \frac{\sum_{j=1}^4 (K_{ECA_{j=1}} + K_{ECA_{j=3}})}{1000}, i = 1, \dots, 366 \\C_{ECA_{2i}} &= \frac{\sum_{j=1}^4 (K_{ECA_{j=2}})}{1000}, i = 1, \dots, 366 \\C_{N_{ECA_{1i}}} &= \frac{\sum_{j=1}^4 (K_{N_{ECA_{j=1}}} + K_{N_{ECA_{j=3}}})}{1000}, i = 1, \dots, 366 \\C_{N_{ECA_{2i}}} &= \frac{\sum_{j=1}^4 (K_{N_{ECA_{j=2}}})}{1000}, i = 1, \dots, 366\end{aligned}\tag{5.8}$$

Όπου:

- $C_{ECA_{1i}}$: η συνολική κατανάλωση καυσίμων στην κύρια μηχανή και στις ηλεκτρογεννήτριες για πλεύση σε περιοχές ECA
- $C_{ECA_{2i}}$: η συνολική κατανάλωση λιπαντικών στην κύρια μηχανή για πλεύση σε περιοχές ECA
- $C_{N_{ECA_{1i}}}$: η συνολική κατανάλωση καυσίμων στην κύρια μηχανή και στις ηλεκτρογεννήτριες για πλεύση σε περιοχές Non ECA
- $C_{N_{ECA_{2i}}}$: η συνολική κατανάλωση λιπαντικών στην κύρια μηχανή για πλεύση σε περιοχές Non ECA

Οικονομική μελέτη

Όπως γνωρίζουμε ήδη για το σενάριο 1, όταν το πλοίο βρίσκεται σε ζώνες ECA, χρησιμοποιεί καύσιμο MGO με 0,1% S και κυλινδρέλαιο BN40, ενώ όταν βρίσκεται σε ζώνες εκτός ECA, χρησιμοποιεί καύσιμο LSFO με 0,5% S και κυλινδρέλαιο BN40. Στα σενάρια 2,3 και 4, όπου υπάρχει εγκατάσταση ναυτικής πλυντρίδας κλειστού βρόχου (closed loop scrubber), το πλοίο χρησιμοποιεί καύσιμο HFO με 3,5% S τόσο σε ζώνες ECA όσο και σε Non ECA. Τα παραπάνω καύσιμα, πριν φτάσουν στην κύρια μηχανή, θα πρέπει να θερμανθούν (LSFO και HFO) ή να ψυχθούν (MGO) ώστε το ιξώδες τους να φτάσει την τιμή που απαιτείται από τον κατασκευαστή. Θεωρούμε λοιπόν πως (Reynolds et al., 2011):

- Για τη θέρμανση του LSFO καταναλώνεται επιπλέον 1% της ποσότητάς του,
- Για τη θέρμανση του HFO καταναλώνεται επιπλέον 2% της ποσότητάς του και
- Για την ψύξη του MGO καταναλώνεται επιπλέον 0.18% της ποσότητάς του.

Έτσι λοιπόν, διορθώνουμε τους πίνακες C σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, και παραθέτουμε τους τύπους υπολογισμού των καταναλώσεων που αντιστοιχούν στο σενάριο 1:

$$\begin{aligned} C_{ECA_{1i}} &= C_{ECA_{1i}} * 1.0018, & i = 1, \dots, 366 \\ C_{NECA_{1i}} &= C_{NECA_{1i}} * 1.01, & i = 1, \dots, 366 \end{aligned} \quad (5.9)$$

Ύστερα, για την εύρεση του κόστους των καταναλωμένων καυσίμων και λιπαντικών σε κάθε κατάσταση πλεύσης και για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια, δεν μένει παρά να πολλαπλασιάσουμε τα στοιχεία των πινάκων κατανάλωσης C με την τιμή του εκάστοτε στοιχείου. Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών έχουν μονάδες μέτρησης \$ και καταχωρούνται σε πίνακα T διαστάσεων 366x1.

$$\begin{aligned} T_{ECA_{1i}} &= C_{ECA_{1i}} * cost_{MGO}, & i = 1, \dots, 366 \\ T_{ECA_{2i}} &= C_{ECA_{2i}} * cost_{BN40}, & i = 1, \dots, 366 \\ T_{NECA_{1i}} &= C_{NECA_{1i}} * cost_{LSFO}, & i = 1, \dots, 366 \\ T_{NECA_{2i}} &= C_{NECA_{2i}} * cost_{BN40}, & i = 1, \dots, 366 \end{aligned} \quad (5.10)$$

Όπου:

- $T_{ECA_{1i}}, T_{ECA_{2i}}$ το κόστος λόγω κατανάλωσης καυσίμου MGO και λιπαντικών τύπου BN40 αντίστοιχα, στην κύρια μηχανή και τις ηλεκτρογεννήτριες όταν το πλοίο βρίσκεται σε ζώνη ECA
- $T_{NECA_{1i}}, T_{NECA_{2i}}$ το κόστος λόγω κατανάλωσης καυσίμου LSFO και λιπαντικών τύπου BN40 αντίστοιχα, στην κύρια μηχανή και τις ηλεκτρογεννήτριες όταν το πλοίο βρίσκεται σε ζώνη Non ECA

Οικονομική μελέτη

Όσον αφορά τα στοιχεία *cost*, έχουμε τα εξής:

- $cost_{MGO}$ η τιμή του καυσίμου MGO στο εμπόριο [\$/ton]
- $cost_{LSFO}$ η τιμή του καυσίμου LSFO στο εμπόριο [\$/ton] και
- $cost_{BN40}$ η τιμή του λιπαντικού BN40 στο εμπόριο [\$/ton]

Στην περίπτωση που υπάρχει εγκαταστημένη ναυτική πλυντρίδα κλειστού βρόχου, βρισκόμαστε δηλαδή σε ένα από τα σενάρια 2,3 ή 4, χρησιμοποιείται καύσιμο HFO με 3,5% S και κυλινδρέλαιο BN100. Οι πίνακες καταναλώσεων και κόστους λοιπόν παίρνουν τη μορφή:

$$\begin{aligned} C_{ECA_{1i}} &= C_{ECA_{1i}} * 1.02, & i &= 1, \dots, 366 \\ C_{NECA_{1i}} &= C_{NECA_{1i}} * 1.02, & i &= 1, \dots, 366 \end{aligned} \quad (5.11)$$

$$\begin{aligned} T_{ECA_{1i}} &= C_{ECA_{1i}} * cost_{HFO}, & i &= 1, \dots, 366 \\ T_{ECA_{2i}} &= C_{ECA_{2i}} * cost_{BN100}, & i &= 1, \dots, 366 \\ T_{NECA_{1i}} &= C_{NECA_{1i}} * cost_{HFO}, & i &= 1, \dots, 366 \\ T_{NECA_{2i}} &= C_{NECA_{2i}} * cost_{BN100}, & i &= 1, \dots, 366 \end{aligned} \quad (5.12)$$

Όπου:

- $cost_{HFO}$ η τιμή του καυσίμου HFO στο εμπόριο [\$/ton] και
- $cost_{BN100}$ η τιμή του λιπαντικού BN100 στο εμπόριο [\$/ton]

Ενδεικτικά αναφέρονται οι μέσες τιμές του κόστους των καυσίμων όπως αυτές διαμορφώθηκαν κατά το οικονομικό έτος 2020 (Ship & Bunker, 2020). Ακόμα, παρουσιάζονται οι τιμές των λιπαντικών στον πίνακα 5.16 όπως αυτές διαμορφώθηκαν κατά το έτος 2019 (Shell, 2019).

Πίνακας 5.16: Τιμές καυσίμων και λιπαντικών για το 2020

Item	Cost [\$/ton]
LSFO	416
MGO	481
HFO	245
BN40	4890
BN100	5450

Οικονομική μελέτη

Τέλος, τα κόστη των καυσίμων και των λιπαντικών, αθροίζονται μεταξύ τους και τα αποτελέσματα καταχωρούνται σε πίνακα TC διαστάσεων 366x1. Κάθε γραμμή του πίνακα TC περιέχει το συνολικό κόστος για τα καύσιμα και τα λιπαντικά με βάση τις μέρες που το πλοίο βρίσκεται σε ζώνη ECA (η 1^η γραμμή αντιστοιχεί σε 0 μέρες πλεύσης σε ζώνη ECA, ενώ η τελευταία για 365 μέρες πλεύσης σε ζώνη ECA). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια (Case 1,2,3, & 4).

$$TC_{tot_i} = T_{ECA_{1i}} + T_{ECA_{2i}} + T_{NECA_{1i}} + T_{NECA_{2i}}, \quad i = 1, \dots, 366 \quad (5.13)$$

5.4 Οικονομική αξιολόγηση

Έχοντας όλα τα απαραίτητα δεδομένα για τα σταθερά και τα μεταβλητά έξοδα του πλοιοκτήτη, η μελέτη συνεχίζεται με τα αντίστοιχα σταθερά και μεταβλητά έσοδα. Σύμφωνα με τον πίνακα 5.16, το σενάριο 1 (Case 1: no scrubber installed, genset 3x440kW), το οποίο απαιτεί τη χρήση καυσίμων MGO, LSFO και λιπαντικού BN40, έχει το μεγαλύτερο κόστος. Θεωρώντας το λοιπόν ως σενάριο αναφοράς και αφαιρώντας από αυτό τα κόστη των υπόλοιπων σεναρίων, υπολογίζεται το ποσόν που εξοικονομείται σε ένα έτος με βάση τις ημέρες πλεύσης σε ζώνη ECA, όταν στο πλοίο υπάρχει εγκατάσταση ναυτικής πλυντρίδας κλειστού βρόχου (εξισώσεις 5.14).

$$\begin{aligned} SV_{Case2_i} &= TC_{Case1_i} - TC_{Case2_i}, & i &= 1, \dots, 366 \\ SV_{Case3_i} &= TC_{Case1_i} - TC_{Case3_i}, & i &= 1, \dots, 366 \\ SV_{Case4_i} &= TC_{Case1_i} - TC_{Case4_i}, & i &= 1, \dots, 366 \end{aligned} \quad (5.14)$$

Θεωρούμε πως η πλοιοκτήτρια εταιρία αποκομίζει από το ναυλωτή ημερήσιο ναύλο ύψους 12,000\$, συν το ποσόν που εξοικονομείται ημερησίως λόγω εγκατάστασης συστήματος scrubber (SV εξισώσεων 5.14). Αφαιρώντας από το ποσόν αυτό τα λειτουργικά έξοδα του πλοίου, όπως αυτά υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 5.2, προκύπτει το ημερήσιο κέρδος του πλοιοκτήτη για τα τέσσερα εξεταζόμενα σενάρια με βάση τις ημέρες πλεύσης σε ζώνες ECA, εξισώσεις 5.15.

Πίνακας 5.17: Έσοδα πλοιοκτήτη

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Scrubber installed	NO	YES	YES	YES
Daily Expenses [\$]	6757	8628	8648	8645
Fare [\$]	12000	12000	12000	12000

Οικονομική μελέτη

$$\begin{aligned}
 Revenue_{1_i} &= fare - Dexp, i = 1, \dots, 365 \\
 Revenue_{2_i} &= fare + \frac{SV_{Case2_i}}{365} - Dexp, i = 1, \dots, 365 \\
 Revenue_{3_i} &= fare + \frac{SV_{Case3_i}}{365} - Dexp, i = 1, \dots, 365 \\
 Revenue_{4_i} &= fare + \frac{SV_{Case4_i}}{365} - Dexp, i = 1, \dots, 365 \quad (5.15)
 \end{aligned}$$

Για την αξιολόγηση της κάθε επένδυσης, χρησιμοποιείται το κριτήριο καθαρής παρούσας αξίας (NPV), του χρόνου αποπληρωμής επένδυσης (DPP) και του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (IRR) όπως αυτά αναλύονται παρακάτω.

Ως καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ ή NPV) ορίζεται το άθροισμα των παρούσων αξιών των εισερχομένων και εξερχομένων ταμειακών ροών κατά τη διάρκεια συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (στην προκειμένη περίπτωση, ενός έτους). Μετράει το πλεόνασμα ή την έλλειψη ταμειακών ροών - σε όρους παρούσας αξίας- σε σχέση με το κόστος κεφαλαίων (cost of funds) που χρησιμοποιήθηκαν για την επένδυση. Η παρούσα αξία των αναμενόμενων ταμειακών ροών υπολογίζεται με την προεξόφληση τους, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο προεξοφλητικό επιτόκιο (discount rate).

Το προεξοφλητικό επιτόκιο r (discount rate) είναι το επιτόκιο με το οποίο η μελλοντική αξία μίας επένδυσης μετατρέπεται σε παρούσα αξία (discounted cash flow, DCF) και είναι το επιτόκιο που η Εθνική Κεντρική Τράπεζα χρεώνει τις εμπορικές τράπεζες εάν αυτές χρειαστούν ρευστά διαθέσιμα. Ο τύπος υπολογισμού της παρούσας καθαρής αξίας σύμφωνα με το προεξοφλητικό επιτόκιο δίνεται από την εξίσωση 5.16.

$$NPV_{j_i} = -initial\ investment + \sum_{t=1}^n \frac{Revenue_{j_i} * 365}{(1+r)^t} \quad (5.16)$$

Όπου:

- Initial investment=Ship_building_cost_i/2 (για κάθε σενάριο και τύπο scrubber)
- $r=8\%$ το προεξοφλητικό επιτόκιο
- $t=10$ η χρονική περίοδος
- $j=1, \dots, 4$ τα εξεταζόμενα σενάρια και
- $i=1, \dots, 365$ οι μέρες πλεύσης σε ζώνη ECA

Οικονομική μελέτη

Ως περίοδος αποπληρωμής μίας επένδυσης (DPP-discounted payback period) ορίζεται το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να γίνει ανάκτηση του αρχικού κόστους επένδυσης, να μπορέσουν δηλαδή τα έσοδα μίας επένδυσης να αντισταθμίσουν το αρχικό της κόστος. Ο υπολογισμός της περιόδου αποπληρωμής προκύπτει μέσω της εξίσωσης 5.17 (Bhandari, 1989) .

$$DPP_{j_i} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{\text{initial investment} * r}{\text{Revenue}_{j_i}}\right)}{\ln(1 + r)} \quad (5.17)$$

Όπου:

- Initial investment: αρχικό κεφάλαιο επένδυσης
- $r=8\%$ το προεξοφλητικό επιτόκιο
- $t=10$ η χρονική περίοδος
- $j=1, \dots, 4$ τα εξεταζόμενα σενάρια και
- $i=1, \dots, 365$ οι μέρες πλεύσης σε ζώνη ECA

Ως εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR – Internal Rate of Return) ορίζεται ο δείκτης που μετρά την απόδοση μίας μακροχρόνιας επένδυσης, εξισώνοντας την παρούσα αξία των μελλοντικών ταμειακών ροών πλέον της τελικής αγοραίας αξίας, με την τρέχουσα αγοραία αξία της επένδυσης. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης ενός χρεογράφου που εκδίδεται σε τιμή κατώτερη της ονομαστικής (discount note), είναι ισοδύναμος με ένα σταθερό προεξοφλητικό επιτόκιο που καθιστά ίση την παρούσα αξία της ροής των πληρωμών προς την αρχική επένδυση.

$$0 = -\text{initial investment} + \sum_{t=1}^n \frac{\text{Revenue}_{j_i} * 365}{(1 + IRR_{j_i})^t} \quad (5.18)$$

Διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις:

- $IRR_{j_i} > r$ (r =προεξοφλητικό επιτόκιο): η επένδυση εγκρίνεται και $NPV_{j_i} > 0$
- $IRR_{j_i} = r$: η επένδυση είναι αδιάφορη και $NPV_{j_i} = 0$
- $IRR_{j_i} < r$: η επένδυση απορρίπτεται, $NPV_{j_i} < 0$ και δεν υπολογίζεται περίοδος αποπληρωμής (DPP)

5.5 Ανάλυση ευαισθησίας

Μία ανάλυση ευαισθησίας μελετά τις συνέπειες που υφίσταται η βέλτιστη λύση ενός γραμμικού μοντέλου, ως συνέπεια αλλαγών στις τιμές των παραμέτρων του (Τσάντας, 2007). Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μεταβάλλονται οι καταναλώσεις των καυσίμων και των λιπαντικών στην κύρια μηχανή και στις ηλεκτρογεννήτριες, τα λειτουργικά έξοδα του πλοίου λόγω ύπαρξης συστήματος open loop και hybrid scrubber και τα έσοδα του πλοιοκτήτη, όλα με βάση τις ημέρες που το πλοίο πλέει σε ζώνες ECA. Η ανάλυση ευαισθησίας που ακολουθεί, έχει ως παράμετρο το πλήθος ημερών σε ECA ζώνες και παρουσιάζει τη μεταβολή των οικονομικών στοιχείων που προκύπτουν μέσω των προαναφερθέντων ποσοτήτων, σε ειδικά διαμορφωμένα διαγράμματα.

Όσον αφορά τις τιμές των καυσίμων, λαμβάνεται υπόψιν η κατάσταση της αγοράς σε χρονικό διάστημα ενός έτους, και συγκεκριμένα για την περίοδο Οκτώβριος 2019-Οκτώβριος 2020. Παρατηρείται πως οι τιμές των καυσίμων μεταβάλλονται σημαντικά μεταξύ των δύο εξεταζόμενων εξαμήνων. Για το λόγο αυτό, πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας με μια επιπλέον παράμετρο, την τιμή του καυσίμου. Συγκεκριμένα, διακρίνονται τρία σενάρια μελέτης, με βάση τη διαφορά στην τιμή των καυσίμων MGO- HFO και MGO- LSF0. Τα σενάρια ονομάζονται optimistic για μεγάλη διαφορά τιμής (όπως διαμορφώθηκε η αγορά κατά το πρώτο εξεταζόμενο εξάμηνο), pessimistic για μικρή διαφορά τιμής (όπως διαμορφώθηκε η αγορά κατά το δεύτερο εξεταζόμενο εξάμηνο) και average για μία μέση τιμή μεταξύ των δύο εξαμήνων. Οι τιμές των καυσίμων και οι εν λόγω διαφορές, παρουσιάζονται στον πίνακα 5.18 (Ship & Bunker, 2020).

Πίνακας 5.18: Τιμές καυσίμων για τη χρονική περίοδο Οκτώβριος 2019-Οκτώβριος 2020

	Optimistic	Average	pessimistic
LSFO [\$]	517	416	315
MGO [\$]	584	481	378
HFO [\$]	233	245	257
Diff MGO-HFO [\$]	351	236	121
Diff MGO-LSFO [\$]	67	65	63

Στο σημείο αυτό υπενθυμίζεται πως:

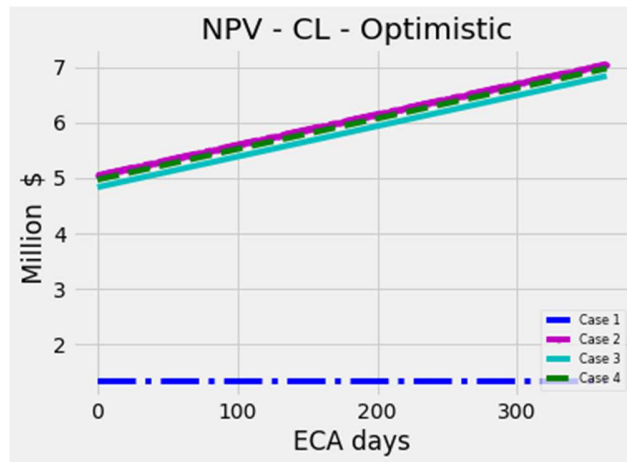
- η διάρκεια της επένδυση είναι δέκα χρόνια
- ο ναύλος είναι σταθερός (το βάρος ωφέλιμου φορτίου που χάνεται λόγω εγκατάστασης scrubber, θεωρείται αμελητέο) και ο ιδιοκτήτης λαμβάνει όλο το ποσόν που εξοικονομείται λόγω χρήσης φθηνού καυσίμου στην περίπτωση ύπαρξης scrubber
- Η επιμέρους κατανομή των ημερών πλεύσης είναι σταθερή σε όλη τη διάρκεια της ανάλυσης
- Αρνητικές τιμές καθαρής παρούσας αξίας απορρίπτουν την επένδυση και δεν υπολογίζεται χρόνος αποπληρωμής

Οικονομική μελέτη

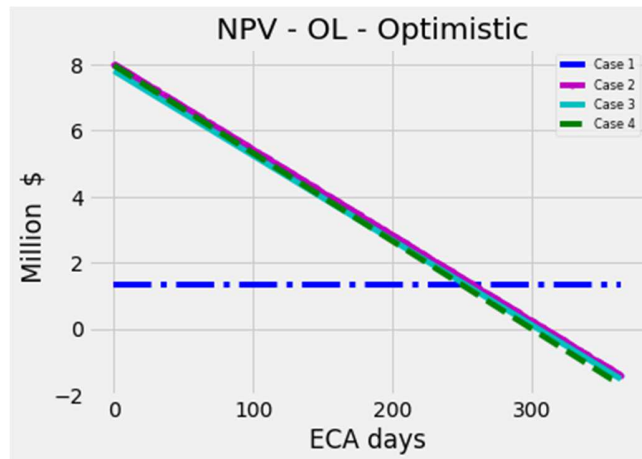
Στη μελέτη που ακολουθεί υπολογίζονται με τη μορφή διαγραμμάτων, τα μεταβλητά μεγέθη NPV, DPP, IRR, Owners Daily Profit και Daily Savings όπως αυτά έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες. Για τις τρεις περιπτώσεις τιμών καυσίμου (optimistic, pessimistic και average), μελετώνται τα τρία συστήματα scrubber (closed loop, open loop και hybrid), για τα τέσσερα εξεταζόμενα σενάρια (Case 1,2,3 και 4) με βάση τις ημέρες πλεύσης του πλοίου σε ζώνες ECA. Στην παρούσα ενότητα για λόγους ευκολίας, παρουσιάζονται μόνο τα διαγράμματα που αφορούν την καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης (NPV). Τα διαγράμματα των υπόλοιπων ποσοτήτων βρίσκονται στο παράρτημα Α του συγγράμματος.

Οικονομική μελέτη

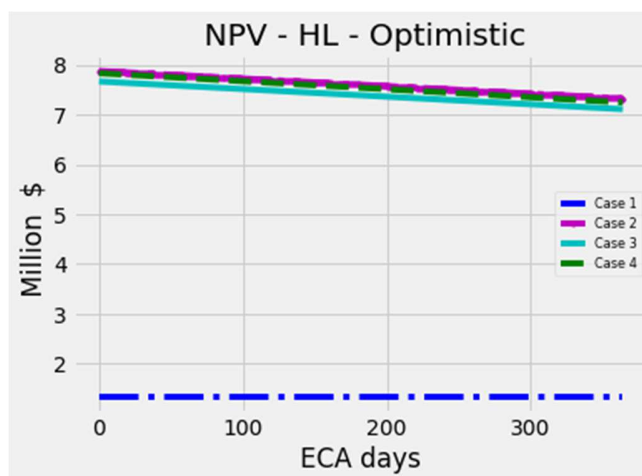
5.5.1 Optimistic case analysis



Διάγραμμα 5.2: Ανάλυση NPV για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber



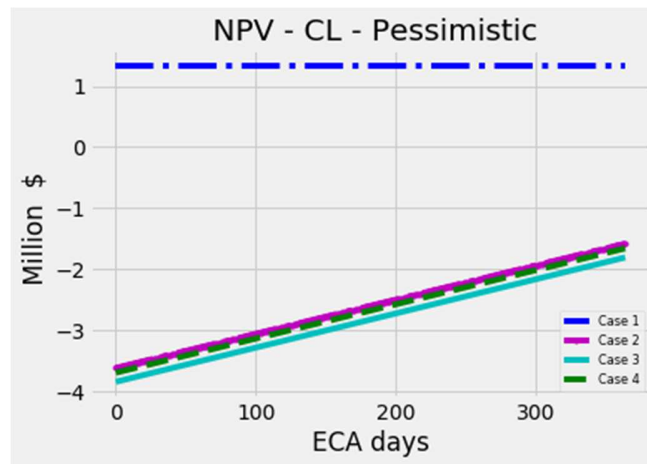
Διάγραμμα 5.3: Ανάλυση NPV για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber



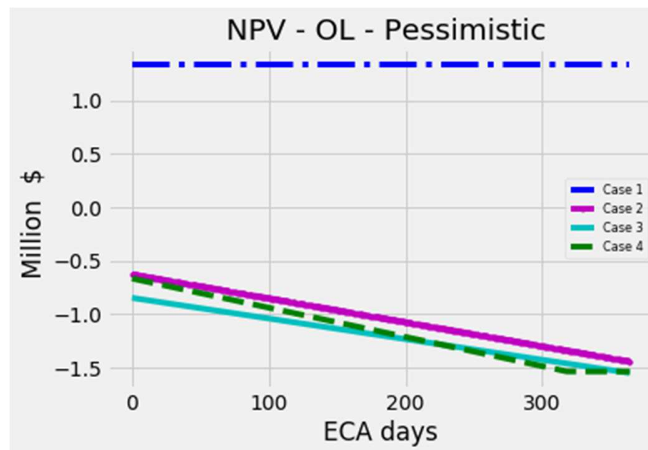
Διάγραμμα 5.4: Ανάλυση NPV για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber

Οικονομική μελέτη

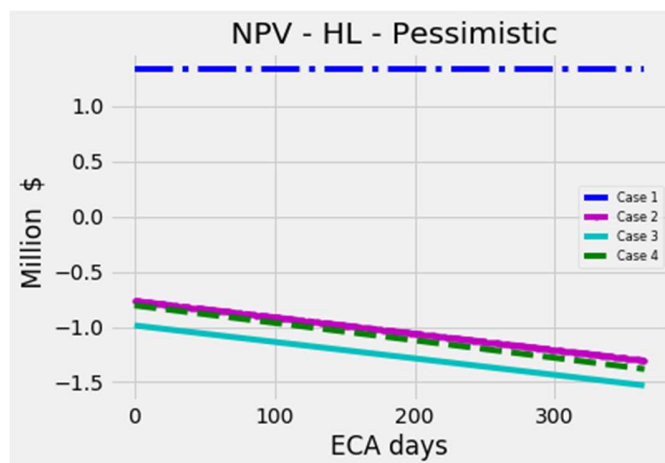
5.5.2 Pessimistic case analysis



Διάγραμμα 5.5: Ανάλυση NPV για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber



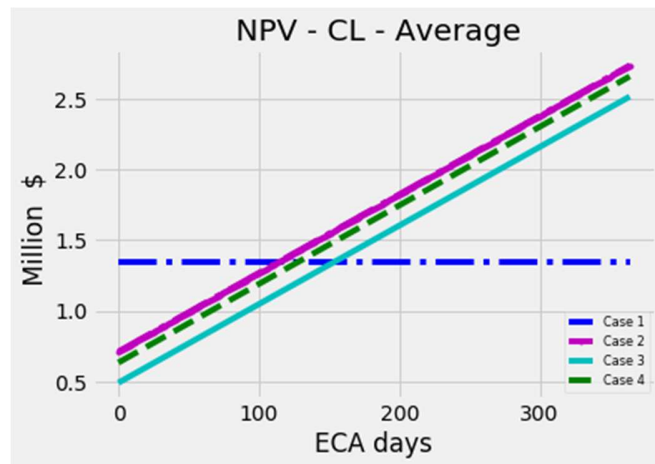
Διάγραμμα 5.6: Ανάλυση NPV για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber



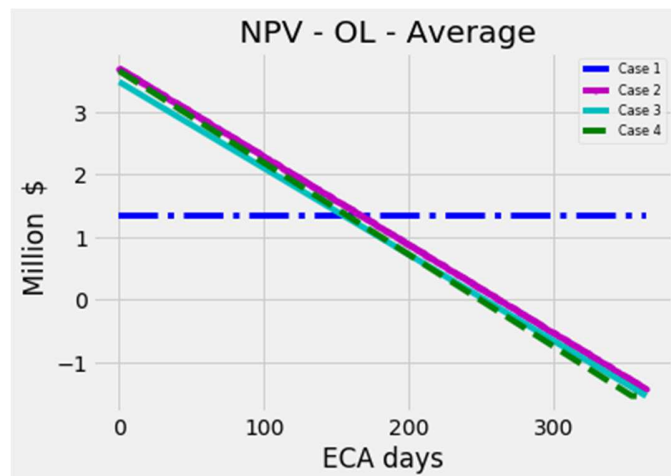
Διάγραμμα 5.7: Ανάλυση NPV για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber

Οικονομική μελέτη

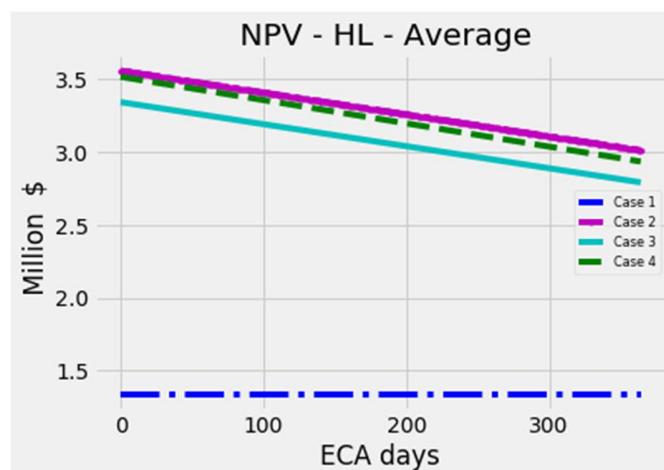
5.5.3 Average case analysis



Διάγραμμα 5.8: Ανάλυση NPV για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber



Διάγραμμα 5.9: Ανάλυση NPV για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber



Διάγραμμα 5.10: Ανάλυση NPV για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber

5.5.4 Αποτελέσματα μελέτης

Η αξιολόγηση της επένδυσης εγκατάστασης ναυτικής πλυντρίδας γίνεται με βάση τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων της ενότητας 5.5. Συγκρίνονται δηλαδή οι καμπύλες των σεναρίων 2,3 και 4 όπου υπάρχει scrubber, με την καμπύλη του σεναρίου αναφοράς (σενάριο 1). Αρχικά παρατηρείται πως η καμπύλη του σεναρίου 3 δίνει σε κάθε περίπτωση τα χειρότερα αποτελέσματα και για το λόγο αυτό απορρίπτεται. Μεταξύ των σεναρίων 2 και 4, δεν υπάρχει αισθητή απόκλιση, ωστόσο Στο σενάριο 2, ο αριθμός των εν λειτουργία ηλεκτρογεννητριών σε κάθε κατάσταση πλεύσης, διαφέρει από τον αντίστοιχο αριθμό του σεναρίου αναφοράς (πίνακες 4.17 & 4.18). Έτσι, το σενάριο 2 απορρίπτεται και μελετώνται πλέον μόνο τα σενάρια 1 και 4.

Για τη διευκόλυνση στη λήψη της ορθότερης απόφασης, θεωρείται πως το υπό μελέτη πλοίο θα αντικαταστήσει αδελφό πλοίο της εταιρίας και θα ακολουθήσει τις ίδιες διαδρομές. Με βάση λοιπόν τις ημέρες που αντιστοιχούν σε κάθε κατάσταση πλεύσης της παραπάνω διαδρομής όταν υπάρχει εγκατάσταση open loop και hybrid scrubber, το πλήθος ημερών πλεύσης σε ζώνες ECA είναι 99 (ECA zones and ECA alike zones). Στην περίπτωση που δεν υπάρχει εγκατάσταση scrubber και στην περίπτωση που υπάρχει closed loop scrubber, θεωρείται ότι το πλήθος ημερών πλεύσης σε ζώνες ECA είναι 31.3. Οι παραπάνω τιμές προκύπτουν μετά από ανάλυση των ταξιδιών αδελφού πλοίου, όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.3 της ενότητας 4. Με βάση την τιμή αυτή, υπολογίζονται όλα τα μεταβλητά έξοδα και έσοδα που αφορούν τις τέσσερις καταστάσεις πλεύσης, για όλους τους τύπους ναυτικής πλυντρίδας και για τις τρεις διαφορετικές τιμές καυσίμου στην αγορά.

Στους πίνακες 5.19–5.21 παρατίθενται τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών. Σημειώνεται πως για την επιλογή του βέλτιστου σεναρίου, απαιτείται υψηλή καθαρή παρούσα αξία, μικρός χρόνος αποπληρωμής επένδυσης και υψηλός εσωτερικός βαθμός απόδοσης.

Οικονομική μελέτη

Πίνακας 5.19: Αποτελέσματα μελέτης για μεγάλη διαφορά στην τιμή των καυσίμων και συγκεκριμένο πλήθος ημερών πλεύσης σε ζώνες ECA

Fuel prices Difference - Optimistic					
	Scrubber Type	No scrubber	Hybrid Loop	Closed Loop	Open Loop
Sensitivity Analysis	Best Case	case1	Case4	Case4	Case4
Investment Terms					
ECA Days	[d]	31.3	99	31.3	99
Non ECA Days	[d]	333.7	266	333.7	266
Life cycle	[years]	10	10	10	10
Interest Rate	[%]	5	5	5	5
Loan	[%]	50	50	50	50
Ship Building Cost	[\$]	23,000,000	23,100,000	23,100,000	23,100,000
Scrubber Cost	[\$]	N/A	1,755,340	2,000,000	1,637,540
Total cost	[\$]	23,000,000	24,855,340	25,100,000	24,737,540
Analysis Results-Overview					
Expenses	[\$/year]	2,466,370	2,873,356	3,155,708	2,764,999
Fuel Saving	[\$/year]	N/A	1,489,657	1,411,657	1,024,366
Profit	[\$/year]	1,913,629	2,996,301	2,635,949	2,639,366
Discount Rate	[%]	8	8	8	8
NPV	[\$-Present]	1,340,607	7,677,757	5,137,432	5,341,592
DPP	[Years-Present]	8.52	5.24	6.23	6.11
IRR	[%]	10.52	20.32	16.40	16.83

Οικονομική μελέτη

Πίνακας 5.20: Αποτελέσματα μελέτης για μέση διαφορά στην τιμή των καυσίμων και συγκεκριμένο πλήθος ημερών πλεύσης σε ζώνες ECA

Fuel prices Difference - Average					
	Scrubber Type	No scrubber	Hybrid Loop	Closed Loop	Open Loop
Sensitivity Analysis	Best Case	case1	Case4	Case4	Case4
Investment Terms					
ECA Days	[d]	31.3	99	31.3	99
Non ECA Days	[d]	333.7	266	333.7	266
Life cycle	[years]	10	10	10	10
Interest Rate	[%]	5	5	5	5
Loan	[%]	50	50	50	50
Ship Building Cost	[\$]	23,000,000	23,100,000	23,100,000	23,100,000
Scrubber Cost	[\$]	N/A	1,755,340	2,000,000	1,637,540
Total cost	[\$]	23,000,000	24,855,340	25,100,000	24,737,540
Analysis Results-Overview					
Expenses	[\$/year]	2,466,370	2,873,356	3,155,708	2,764,999
Fuel Saving	[\$/year]	N/A	846475	766300	556454
Profit	[\$/year]	1,913,629	2,352,526	1,990,592	2,171,454
Discount Rate	[%]	8	8	8	8
NPV	[\$-Present]	1,340,607	3,357,972	807,035	2,201,868
DPP	[Years-Present]	8.52	7.14	9.12	7.90
IRR	[%]	10.52	13.68	9.40	11.80

Οικονομική μελέτη

Πίνακας 5.21: Αποτελέσματα μελέτης για μικρή διαφορά στην τιμή των καυσίμων και συγκεκριμένο πλήθος ημερών πλεύσης σε ζώνες ECA

Fuel prices Difference - Pessimistic					
	Scrubber Type	No scrubber	Hybrid Loop	Closed Loop	Open Loop
Sensitivity Analysis	Best Case	case1	Case4	Case4	Case4
Investment Terms					
ECA Days	[d]	31.3	99	31.3	99
Non ECA Days	[d]	333.7	266	333.7	266
Life cycle	[years]	10	10	10	10
Interest Rate	[%]	5	5	5	5
Loan	[%]	50	50	50	50
Ship Building Cost	[\$]	23,000,000	23,100,000	23,100,000	23,100,000
Scrubber Cost	[\$]	N/A	1,755,340	2,000,000	1,637,540
Total cost	[\$]	23,000,000	24,855,340	25,100,000	24,737,540
Analysis Results-Overview					
Expenses	[\$/year]	2,466,370	2,873,356	3,155,708	2,764,999
Fuel Saving	[\$/year]	N/A	202,107	120,943	88,542
Profit	[\$/year]	1,913,629	1,708,750	1,345,235	1,703,543
Discount Rate	[%]	8	8	8	8
NPV	[\$-Present]	1,340,607	-961,811	-3,523,361	-937,856
DPP	[Years-Present]	8.52	N/A	N/A	N/A
IRR	[%]	10.52	6.25	1.28	6.29

6 Συμπεράσματα

Καθώς η παγκόσμια οικονομία ολοένα και αναπτύσσεται, η ανάγκη για μεταφορές αυξάνονται με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο αριθμός των πλοίων και η συνολική μεταφορική ικανότητα. Αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση των αέριων ρύπων από τα καυσαέρια των πλοίων. Οι κυριότεροι ρύποι των καυσαερίων είναι τα οξειδία του θείου, του αζώτου και του άνθρακα.

Οι παραπάνω ρύποι βλάπτουν σοβαρά τόσο την ανθρώπινη υγεία όσο και το περιβάλλον. Συγκεκριμένα προκαλούν αναπνευστικά προβλήματα, χρόνια βρογχίτιδα και καρδιοπάθειες μεταξύ άλλων, στον ανθρώπινο οργανισμό. Στο περιβάλλον από την άλλη, συμβάλουν στην ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου, αυξάνουν την τρύπα του όζοντος, συντελούν στην δημιουργία όξινης βροχής και του φωτοχημικού νέφους. Μία πληθώρα οργανισμών σε τοπική αλλά και παγκόσμια κλίμακα έχουν σπεύσει να αντιμετωπίσουν αυτό το πρόβλημα θεσπίζοντας κανονισμούς και επιβάλλοντας ολοένα και αυστηρότερα όρια στις εκπομπές καυσαερίων.

Η διπλωματική αυτή επικεντρώθηκε στους τρόπους μείωσης εκπομπών οξειδίων του θείου από τα ναυτιλιακά καύσιμα. Εξεταστήκαν λοιπόν τέσσερις τρόποι συμμόρφωσης στους κανονισμούς, οι οποίοι έχουν ως εξής :

- a) Χρήση καυσίμων LSFO και MGO με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο
- b) Εγκατάσταση συστήματος scrubber ανοιχτού βρόχου με χρήση καυσίμου HFO
- c) Εγκατάσταση συστήματος scrubber κλειστού βρόχου με χρήση καυσίμου HFO
- d) Εγκατάσταση συστήματος scrubber υβριδικής λειτουργίας με χρήση καυσίμου HFO

Οι επιλογές b,c,d απαρτίζονται από μία πρόσθετη ενεργειακή κατανάλωση η οποία είναι διαφορετική για κάθε τύπο scrubber και ορίζεται από τον κατασκευαστή. Για τον λόγο αυτό ήταν απαραίτητη η εξέταση τριών πιθανών σεναρίων ηλεκτρολογικής εγκατάστασης:

- I. Εγκατάσταση τριών ηλεκτρογεννητριών με μέγιστη απόδοση 440kW η κάθε μία
- II. Εγκατάσταση τεσσάρων ηλεκτρογεννητριών με μέγιστη απόδοση 440kW η κάθε μία
- III. Εγκατάσταση τριών ηλεκτρογεννητριών με μέγιστη απόδοση 620kW η κάθε μία

Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τις εργοστασιακές δοκιμές (shop trials) που διεξήχθησαν για την κύρια μηχανή και τις ηλεκτρογεννήτριες αντλήθηκαν δεδομένα για την ειδική κατανάλωση καυσίμου στα διάφορα φορτία λειτουργίας τους. Ακόμη έγινε υπολογισμός της ειδικής κατανάλωσης κυλινδρέλαιου για την κύρια μηχανή στα φορτία λειτουργίας σύμφωνα με το εγχειρίδιο του κατασκευαστή.

Η ηλεκτρική απαίτηση των ηλεκτρογεννητριών προέκυψε από το αρχείο Electric Power Table, όπου παρουσιάζονται οι απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας όλων των καταναλωτών σε τέσσερις καταστάσεις πλεύσης. Οι προαναφερθείσες καταστάσεις έχουν ως εξής:

- Sea Going
- Harbour In & Out
- Loading in Port
- Rest in Port

Με βάση τα δεδομένα της πλοιοκτήτριας εταιρίας και τη διαδρομή που ακολούθησε αδερφό πλοίο, πραγματοποιήθηκε υπολογισμός των ποσοστών που αναλογούν σε κάθε μία από τις καταστάσεις πλεύσης στη διάρκεια ενός έτους.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το πλοίο υποχρεούται να συμμορφώνεται στους εκάστοτε κανονισμούς ελέγχου εκπομπών που ισχύουν σε κάθε περιοχή πλεύσης. Έτσι, για διαφορετικές περιοχές, γίνεται χρήση καυσίμου με διαφορετική περιεκτικότητα σε θείο. Καθώς δεν γνωρίζουμε από την αρχή το πλήθος ημερών πλεύσης σε περιοχές ελέγχου εκπομπών, στην παραπάνω εργασία πραγματοποιήθηκε υπολογισμός των καταναλώσεων καυσίμου και λιπαντικών για κάθε κατάσταση πλεύσης και πλήθους ημερών σε ζώνες ECA στη διάρκεια ενός έτους.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, πραγματοποιήθηκε οικονομική αξιολόγηση στα σενάρια που έχουν ήδη αναφερθεί. Σημειώνεται πως εξετάστηκαν και τρεις περιπτώσεις κόστους καυσίμου, σύμφωνα με τα δεδομένα της αγοράς για το έτος 2020. Τα αποτελέσματα της μελέτης αξιολογήθηκαν με βάση τους δείκτες NPV, DPP και IRR για επένδυση διάρκειας 10 ετών με δάνειο που καλύπτει το 50% του απαιτούμενου κεφαλαίου.

Η αξιολόγηση της επένδυσης εγκατάστασης scrubber γίνεται με βάση τα αποτελέσματα της ενότητας 5.5. Συγκρίνονται δηλαδή τα αποτελέσματα των σεναρίων 2,3 και 4 όπου υπάρχει scrubber, με τα αποτελέσματα του σεναρίου αναφοράς (σενάριο 1). Για τη διευκόλυνση της όλης διαδικασίας, θεωρείται με βάση το ταξίδι του αδελφού πλοίου, πως όταν υπάρχει εγκατάσταση open loop και hybrid scrubber, το πλήθος ημερών πλεύσης σε ζώνες ECA είναι 99 (ECA zones and ECA alike zones). Στην περίπτωση που δεν υπάρχει εγκατάσταση scrubber και στην περίπτωση που υπάρχει closed loop scrubber, θεωρείται ότι το πλήθος ημερών πλεύσης σε ζώνες ECA είναι 31. Με βάση τις τιμές αυτές, υπολογίζονται όλα τα μεταβλητά έξοδα και έσοδα που αφορούν τις τέσσερις καταστάσεις πλεύσης, για

Συμπεράσματα

όλους τους τύπους scrubber και για τις τρεις διαφορετικές τιμές καυσίμου στην αγορά.

Στην περίπτωση που στην αγορά εμφανίζεται μεγάλη διαφορά μεταξύ των τιμών καυσίμου MGO- HFO και MGO- LSF0 θεωρείται βέλτιστη επιλογή η εγκατάσταση συστήματος scrubber hybrid loop με 3 ηλεκτρογεννήτριες 620 kW η κάθε μία. Το ίδιο ισχύει και για μία μέση διαφορά στην τιμή των καυσίμων. Όταν όμως οι τιμές στην αγορά διαμορφώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε η διαφορά μεταξύ των καυσίμων να είναι μικρή, ως βέλτιστη επιλογή θεωρείται η χρήση καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο ανεξαρτήτως ζώνης πλεύσης.

Συμπερασματικά, η επιλογή χρήσης καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, είναι μία επιλογή με μικρό ρίσκο συγκριτικά με την επιλογή εγκατάστασης scrubber καθώς προσφέρει κέρδος ανεξαρτήτως της τιμής των καυσίμων στην αγορά. Με βάση τα σημερινά δεδομένα της αγοράς (πίνακας 5.21, Απρίλιος- Οκτώβριος 2020), όπου η διαφορά στην τιμή των καυσίμων είναι μικρή για ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, θεωρείται πως η επιλογή της πλοιοκτήτριας εταιρίας, να μην γίνει εγκατάσταση scrubber, είναι σωστή.

Συμπεράσματα

7 Βιβλιογραφία

Ξένη βιβλιογραφία :

- Abadie, L. M., Goicoechea, N., & Galarraga, I. (2017). Adapting the shipping sector to stricter emissions regulations: Fuel switching or installing a scrubber? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 57(October), 237–250. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.09.017>
- ABS. (2018). *ABS ADVISORY ON EXHAUST GAS SCRUBBER SYSTEMS*. July. <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/advisories-and-debriefs/exhaust-gas-scrubber-systems-advisory.pdf>
- ABS. (2019). *Marine fuel oil advisory*. December, 8217. https://www.standard-club.com/media/3229389/abs_marine-fuel-advisory.pdf
- Agrawal, H., Malloy, Q. G. J., Welch, W. A., Wayne Miller, J., & Cocker, D. R. (2008). In-use gaseous and particulate matter emissions from a modern ocean going container vessel. *Atmospheric Environment*, 42(21), 5504–5510. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.02.053>
- Bergqvist, R., Turesson, M., & Weddmark, A. (2015). Sulphur emission control areas and transport strategies -the case of Sweden and the forest industry. *European Transport Research Review*, 7(2). <https://doi.org/10.1007/s12544-015-0161-9>
- Bhandari, S. (1989). *DISCOUNTED PAYBACK PERIOD-SOME EXTENSIONS*.
- Bialystocki, N., & Konovessis, D. (2016). On the estimation of ship's fuel consumption and speed curve: A statistical approach. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 1(2), 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2016.02.001>
- CCS. (2018). Technical notice. In *Pure Mathematical Sciences* (Vol. 4). <https://doi.org/10.12988/pms.2015.4820>
- ClassNK. (2016). Technical Information Technical Information. In *Lemnis public lighting* (Vol. 1, Issue 0715). <https://www.astbearings.com/bearing-materials.html>
- Corbett, J.J., Fischbeck, P. (1997). *Emissions from ships*. *Science* 278, 823–824.
- Corbett, J. J., Fischbeck, P. S., & Pandis, S. N. (1999). Global nitrogen and sulfur inventories for oceangoing ships. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 104(D3), 3457–3470. <https://doi.org/10.1029/1998JD100040>
- Corbett, J. J., Winebrake, J. J., Green, E. H., Kasibhatla, P., Eyring, V., & Lauer, A. (2007). Mortality from ship emissions: A global assessment. *Environmental Science and Technology*, 41(24), 8512–8518. <https://doi.org/10.1021/es071686z>
- Cullinane, S. (2014). Mitigating the negative environmental impacts of long haul freight transport. *Transport and Sustainability*, 6, 31–61. <https://doi.org/10.1108/S2044-994120140000006002>
- DNV-GL. (2016). *GLOBAL SULPHUR CAP 2020 Know the different choices and challenges for on-time compliance*. 24.
- DNV-GL. (2018). Global Sulphur Cap 2020. *Marine Engineering*, 53(1), 48–55. <https://doi.org/10.5988/jime.53.48>

Βιβλιογραφία

- EEB, & SAR. (2004). *Air pollution from ships. November*, 1–3.
https://www.airclim.org/sites/default/files/documents/shipbriefing_nov04.pdf
- Endresen, Ø., Sørsgård, E., Sundet, J. K., Dalsøren, S. B., Isaksen, I. S. A., Berglen, T. F., & Gravir, G. (2003). Emission from international sea transportation and environmental impact. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(17).
<https://doi.org/10.1029/2002jd002898>
- Heywood, J. B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. N. York: McGraw-Hill.
- Hoogeveen, R. (2017). Record breaking marine scrubber installed on ship. *Filtration + Separation*, 54(6), 18–20. [https://doi.org/10.1016/s0015-1882\(18\)30126-5](https://doi.org/10.1016/s0015-1882(18)30126-5)
- ICS. (2014). Shipping, World Trade and the Reduction of CO₂. *International Chamber of Shipping*, 6.
- IMO. (2008a). AMENDMENTS TO THE TECHNICAL CODE ON CONTROL OF EMISSION OF NITROGEN OXIDES FROM MARINE DIESEL ENGINES (NO_x Technical Code 2008). *Annex 14*, x.
[http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Air pollution/Resolution MEPC.177\(58\) NO_x Technical Code 2008.pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Air%20pollution/Resolution%20MEPC.177(58)%20NOx%20Technical%20Code%202008.pdf)
- IMO. (2008b). *Marpol 73/78 Annex VI*. http://hulpinnood.nl/wp-content/uploads/2015/03/BIJLAGE3_Marpol-annex-VI.pdf
- IMO. (2009). INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION MARITIME KNOWLEDGE CENTRE International Shipping and World Trade Facts and figures. *Development*, October, 1–37.
- IMO. (2014). Mepc.245(66) - 2014 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (Eedi) for New Ships. *International Maritime Organization*, 245(April), 1–30.
- Jeroen Berger. (2017). *IMO NO_x Tier III emission standards for NECA areas*. September 11. http://www.bergermaritiem.nl/nox_tier_iii_neca
- Kjølholt, J., Aakre, S., Jørgensen, C., & Lauridsen, J. (2012). Assessment of possible impacts of scrubber water discharges on the marine environment. In *Environmental Project No. 1431* (Issue 1431).
- Kullas-Nyman, B.-M. (2011). Exhaust Gas Scrubbing Systems Technical and Economical Aspects. *Maritime Stakeholder Event, Brussels, 1st June 2011, JUNE*, 1–21.
- Lindstad, H. E., Rehn, C. F., & Eskeland, G. S. (2017). Sulphur abatement globally in maritime shipping. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 57(October 2017), 303–313. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.09.028>
- Lloyd's Register. (2020). *IMO 2020: has the shipping industry met the mark?*
<https://www.lr.org/en/insights/articles/imo-2020-has-the-shipping-industry-met-the-mark/?fbclid=IwAR2f9d7Wgi9jeXGhvN7mgSxGeSvwbKvxpNYLLHBA65fCzEiIsdBFPgjaK9U>
- MAN, & B&W. (2004). Emission Control MAN B & W Two-stroke Diesel Engines Contents : *Flame Marine*, x, 1–22. www.flamemarine.com/files/MANBW.pdf
- MEPC.259(68). (2015). 259(May), 1–23.

Βιβλιογραφία

- Nishida, O., Fujita, H., Harano, W., Hendratna, K., Ariana, I. M., Kawazoe, R., & Fujio, M. (2009). New System for 80% Reduction of Marine NO_x, SO_x and PM. *Journal of The Japan Institute of Marine Engineering*, 44, 95–103.
<https://doi.org/10.5988/jime.44.95>
- Panasiuk, I., & Turkina, L. (2015). The evaluation of investments efficiency of SO_x scrubber installation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 40(2015), 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.08.004>
- Paulsrud, H. (2015). A Practical Guide to Wärtsilä Scrubber Systems. *Journal of the JIME.50 (3)*. 40-42.
- Reynolds, K. J., Associates, T. G., Kevin J. Reynolds, Caughlan, S. a., & Strong, R. S. (2011). Exhaust Gas Cleaning Systems Selection Guide. *Ship Operations Cooperative Program (SOCP) Ellicott City, MD, File No. 10047.01, 22 February 2011, Rev. A*, 154.
http://www.marad.dot.gov/documents/Exhaust_Gas_Cleaning_Systems_Guide.PDF
- Schröder, C., Reimer, N., & Jochmann, P. (2017). Environmental impact of exhaust emissions by Arctic shipping. *Ambio*, 46, 400–409.
<https://doi.org/10.1007/s13280-017-0956-0>
- Shell. (2019). *Marine Lubricants International Price Schedule*. 91, 1–17.
[http://ctgl.net/Chevron_PriceScheduleUpdate15Jan2008_PRINT\[2\].pdf](http://ctgl.net/Chevron_PriceScheduleUpdate15Jan2008_PRINT[2].pdf)
- Ship & Bunker. (2020). *Bunker Prices*. <https://shipandbunker.com/prices>
- UNCTAD. (2019). *海運評述2019_En* (Issue October).
[https://unctad.org/en/Pages/Publications/Review-of-Maritime-Transport-\(Series\).aspx](https://unctad.org/en/Pages/Publications/Review-of-Maritime-Transport-(Series).aspx)
- Wärtsilä. (2017). *SO_x scrubber technology*. 8.
<https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/egc/product-guide-o-env-sox-scrubber-tech.pdf>
- Yang, Z. L., Zhang, D., Caglayan, O., Jenkinson, I. D., Bonsall, S., Wang, J., Huang, M., & Yan, X. P. (2012). Selection of techniques for reducing shipping NO_x and SO_x emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(6), 478–486. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2012.05.010>
- Zis, T., & Psaraftis, H. N. (2017). The implications of the new sulphur limits on the European Ro-Ro sector. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 185–201. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.03.010>

Βιβλιογραφία

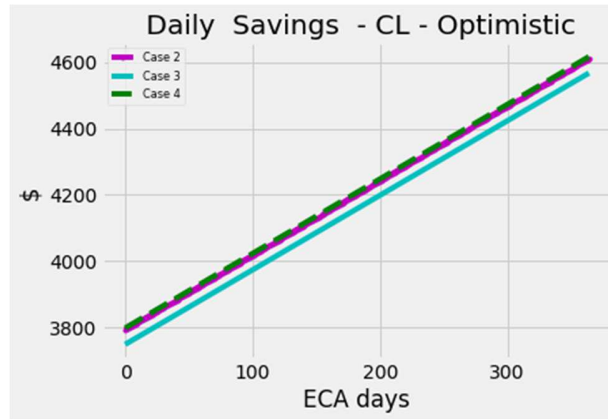
Ελληνική βιβλιογραφία :

- ΕΥ. (2005). *Το ευρωπαϊκό κοινοβούλιο και το συμβούλιο της ευρωπαϊκής ένωσης. 2003*, 59–69. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:191:0059:0069:EL:PDF>
- Κοτρίλκα Ά.-Μ. (2015). *Ναυτιλία και περιβάλλον*. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. 143-180.
- Μάλλης, Ε. (2019). *Διερεύνηση Θεμάτων Κάλυψης Ενεργειακών Αναγκών Συστημάτων Περιορισμού Αέριων Ρύπων Μηχανών Πλοίου*.
- Τσάντας, Ν. (2007). *Προσδιοριστικές Μέθοδοι Επιχειρησιακής Έρευνας*. <https://thalis.math.upatras.gr/~tsantas/DownloadFiles/GraphicalSensAnal.pdf>

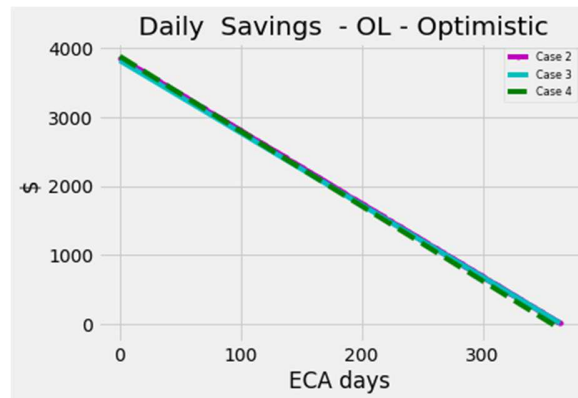
Παράρτημα

8 Παράρτημα

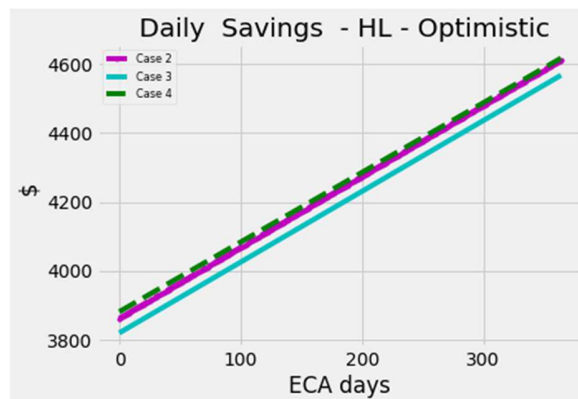
8.1 Παράρτημα Α



Διάγραμμα 8.1: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber

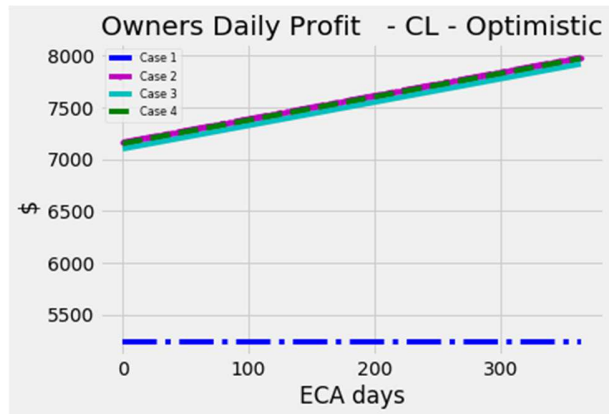


Διάγραμμα 8.2: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber

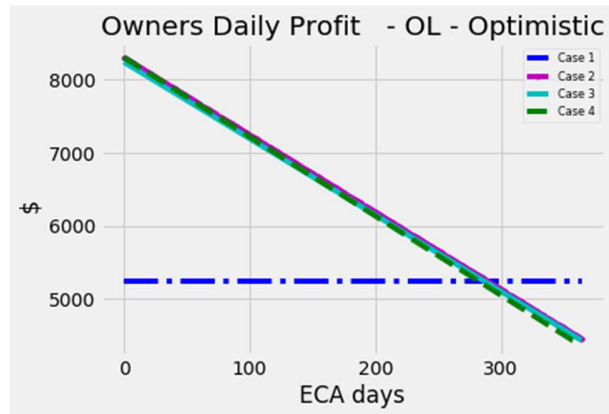


Διάγραμμα 8.3: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber

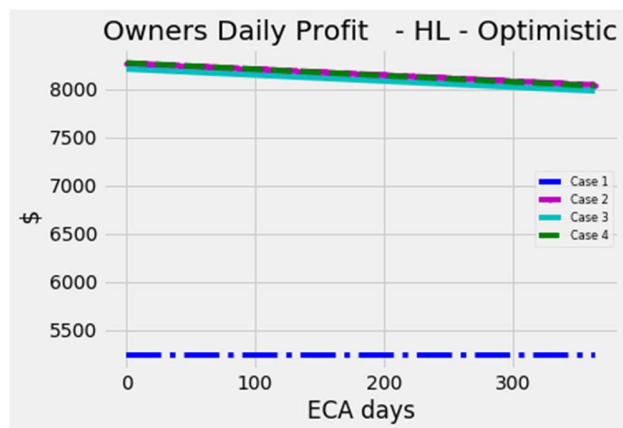
Παράρτημα



Διάγραμμα 8.4: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber

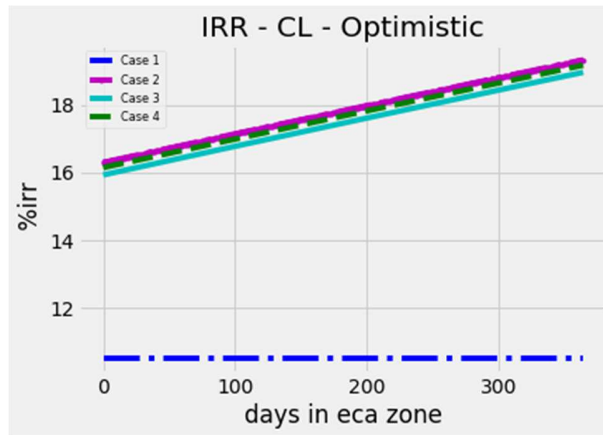


Διάγραμμα 8.5: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber

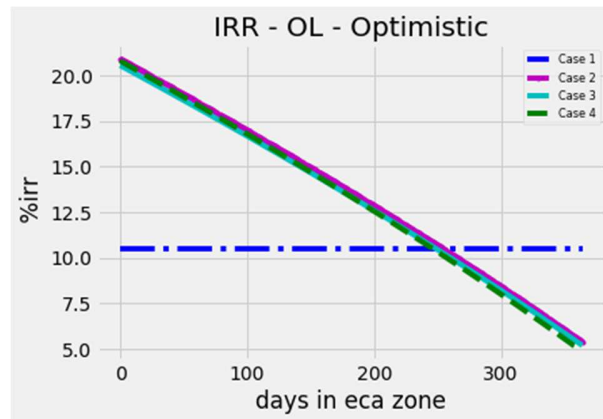


Διάγραμμα 8.6: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber

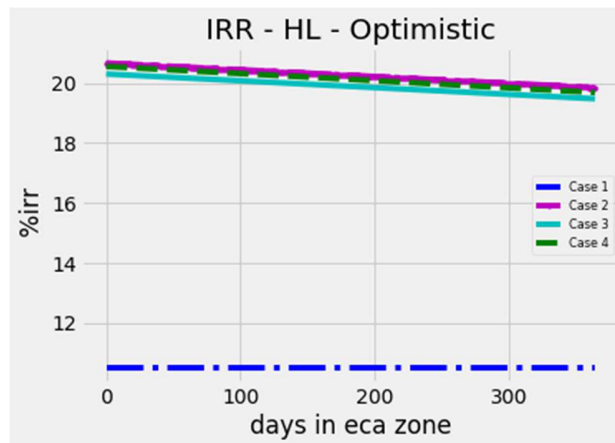
Παράρτημα



Διάγραμμα 8.7: Ανάλυση IRR για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber

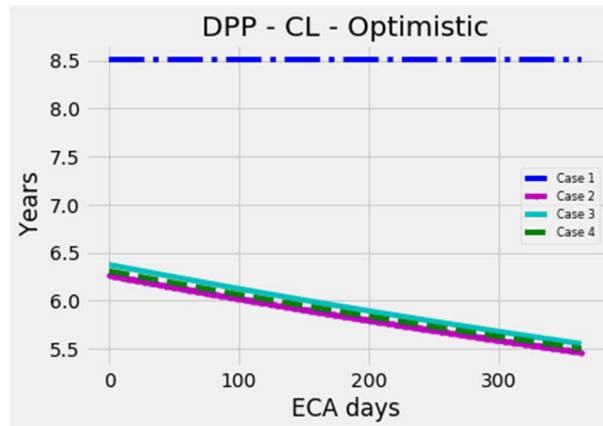


Διάγραμμα 8.8: Ανάλυση IRR για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber

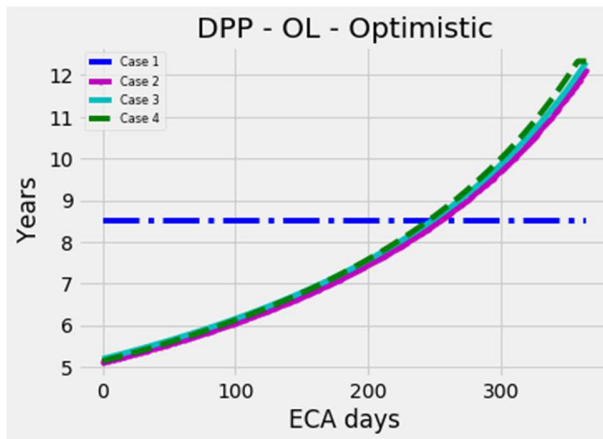


Διάγραμμα 8.9: Ανάλυση IRR για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber

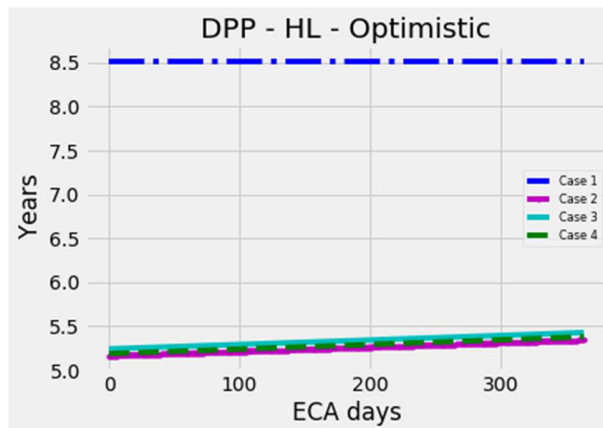
Παράρτημα



Διάγραμμα 8.10: Ανάλυση DPP για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber

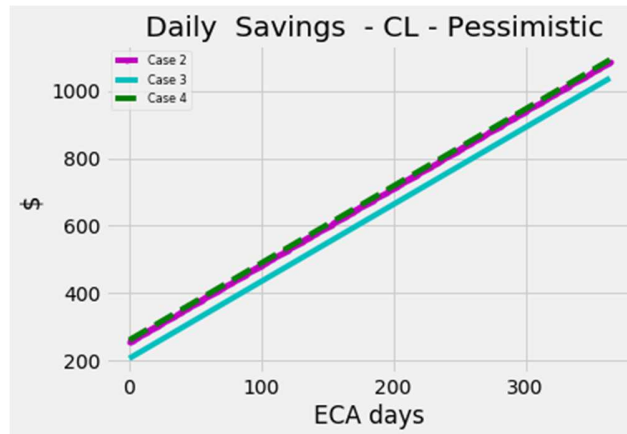


Διάγραμμα 8.11: Ανάλυση DPP για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber

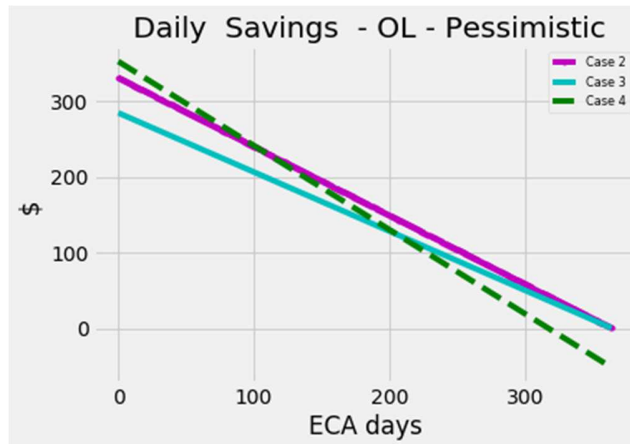


Διάγραμμα 8.12: Ανάλυση DPP για μεγάλη διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber

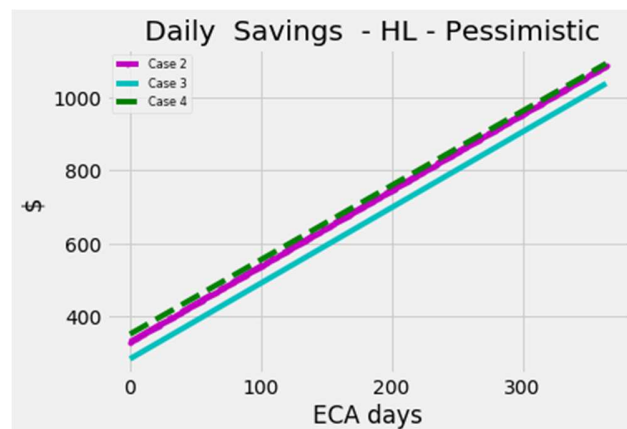
Παράρτημα



Διάγραμμα 8.13: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber

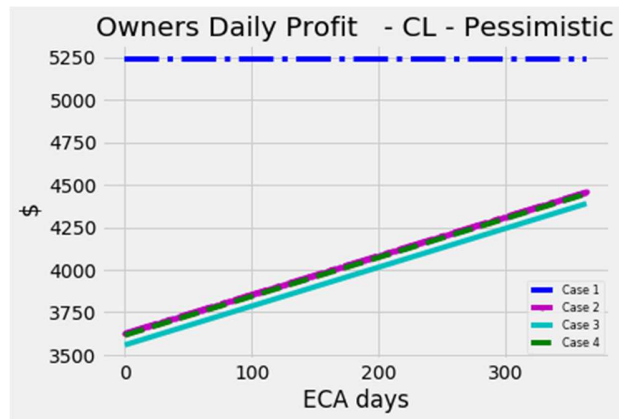


Διάγραμμα 8.14: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber

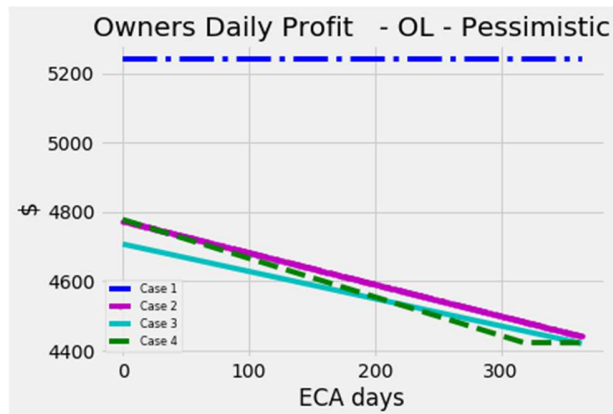


Διάγραμμα 8.15: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber

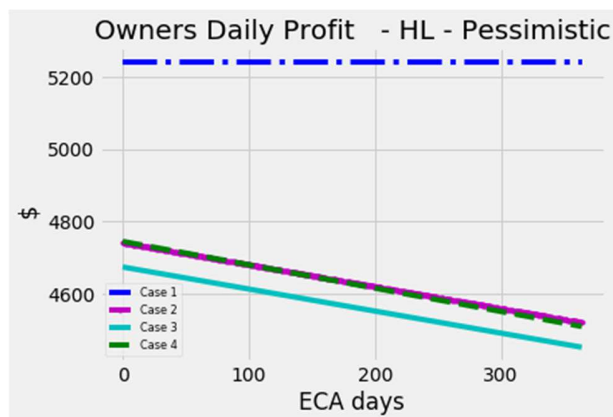
Παράρτημα



Διάγραμμα 8.16: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber

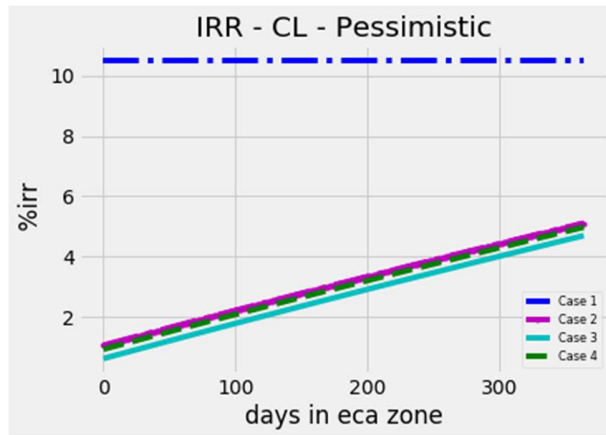


Διάγραμμα 8.17: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber

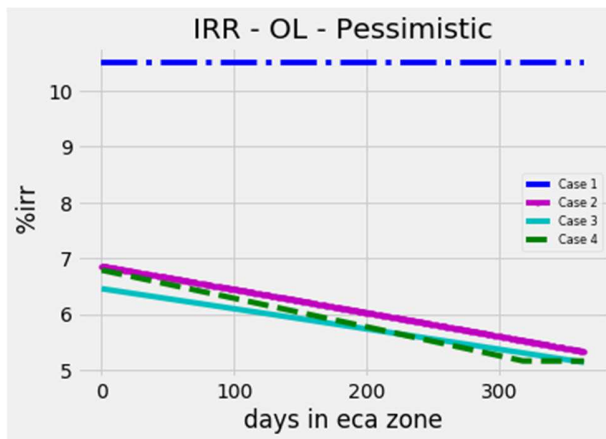


Διάγραμμα 8.18: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber

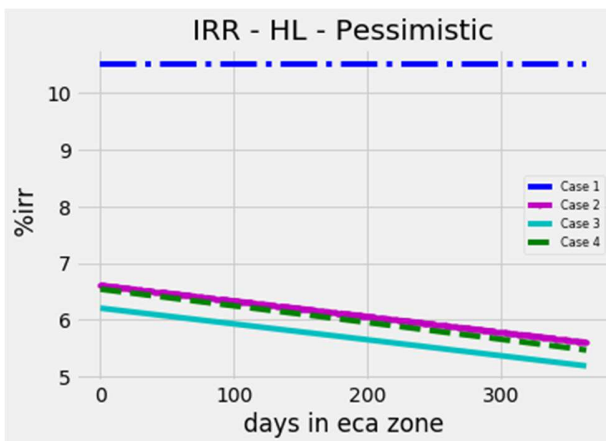
Παράρτημα



Διάγραμμα 8.19: Ανάλυση IRR για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber

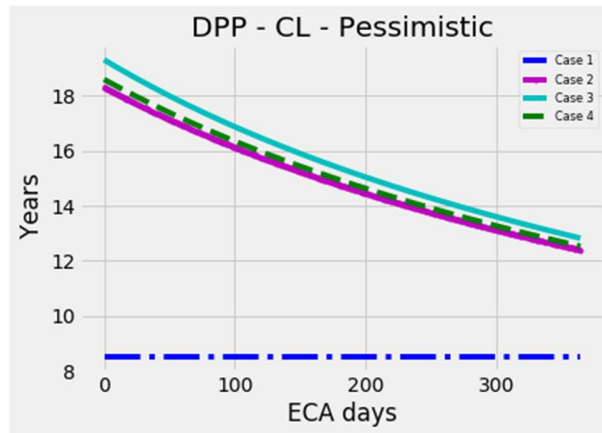


Διάγραμμα 8.20: Ανάλυση IRR για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber

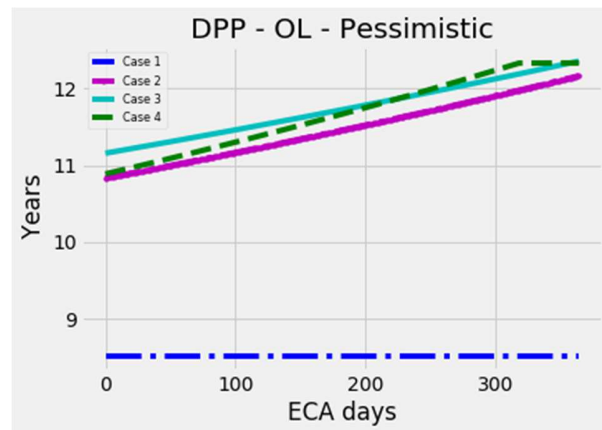


Διάγραμμα 8.21: Ανάλυση IRR για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber

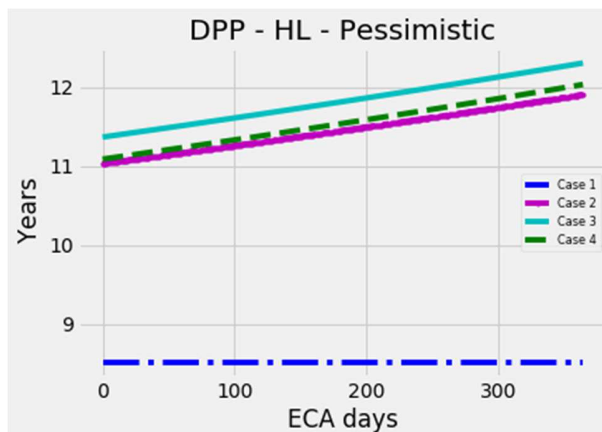
Παράρτημα



Διάγραμμα 8.22: Ανάλυση DPP για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber

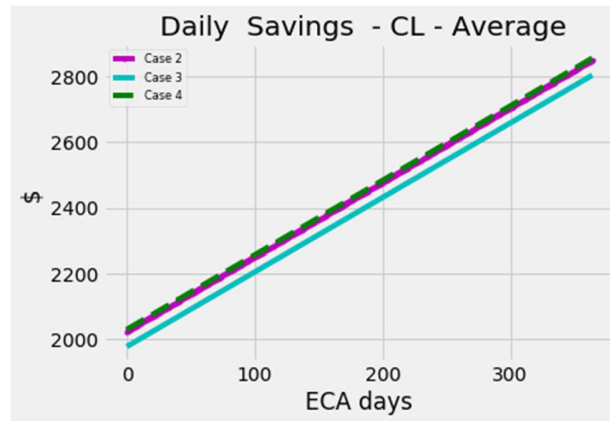


Διάγραμμα 8.23: Ανάλυση DPP για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber

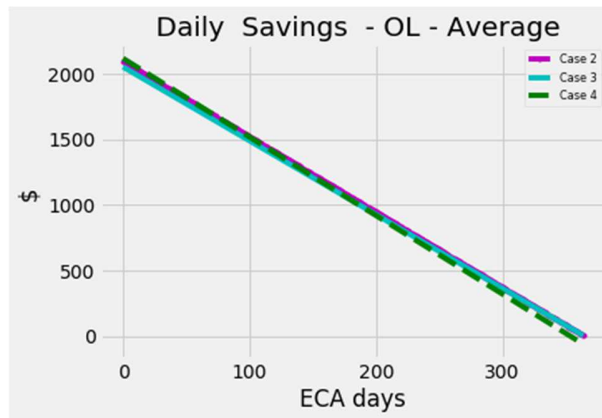


Διάγραμμα 8.24: Ανάλυση DPP για μικρή διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber

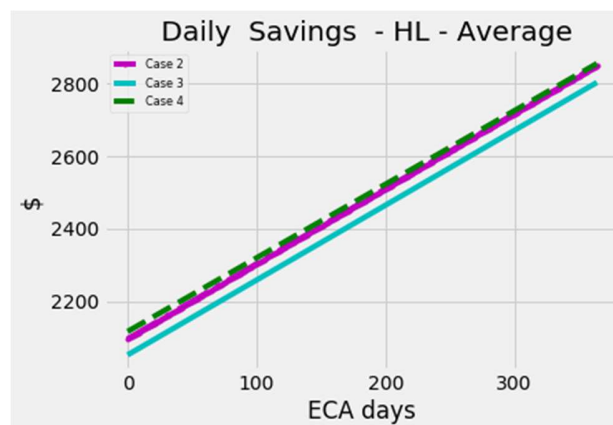
Παράρτημα



Διάγραμμα 8.25: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber

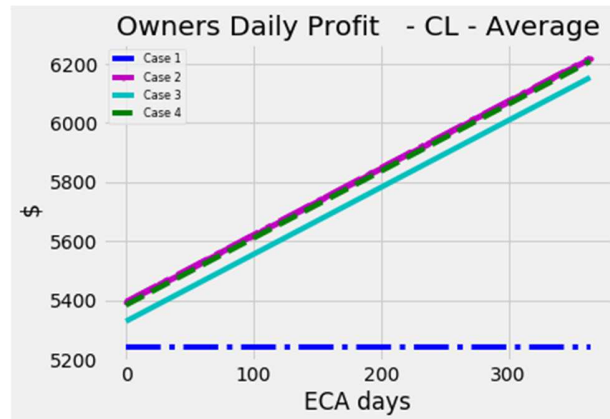


Διάγραμμα 8.26: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber

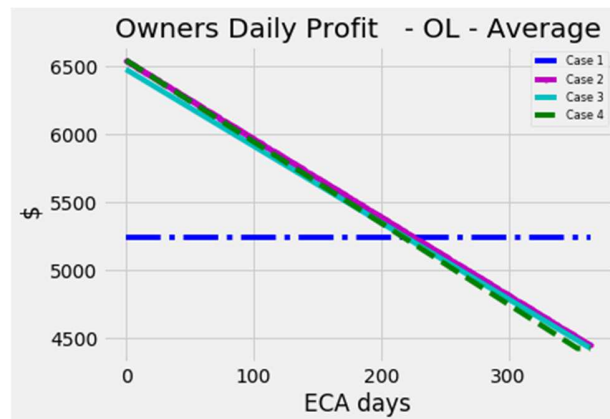


Διάγραμμα 8.27: Ανάλυση ημερήσιας εξοικονόμησης για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber

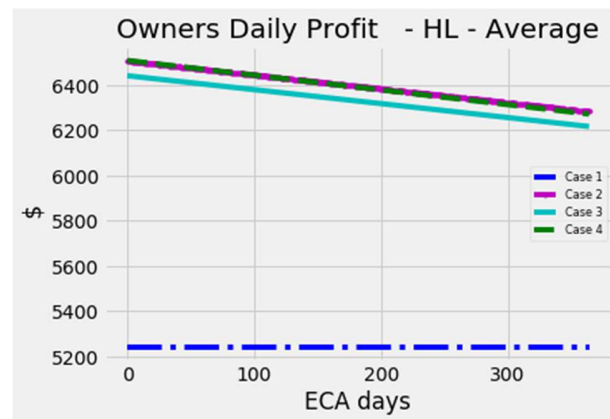
Παράρτημα



Διάγραμμα 8.28: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber

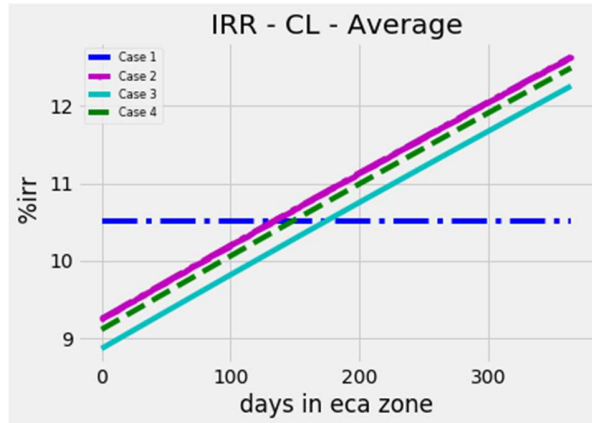


Διάγραμμα 8.29: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber

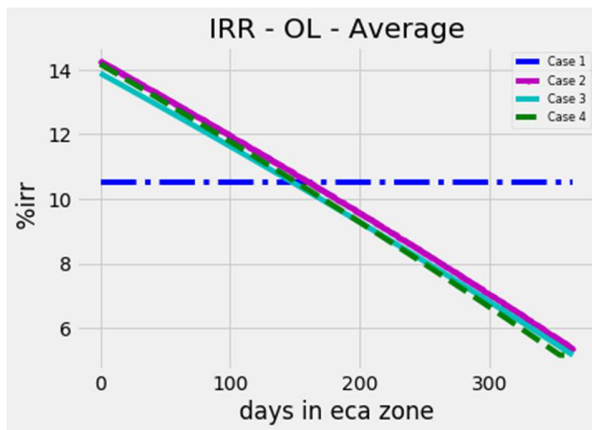


Διάγραμμα 8.30: Ανάλυση ημερήσιων κερδών για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber

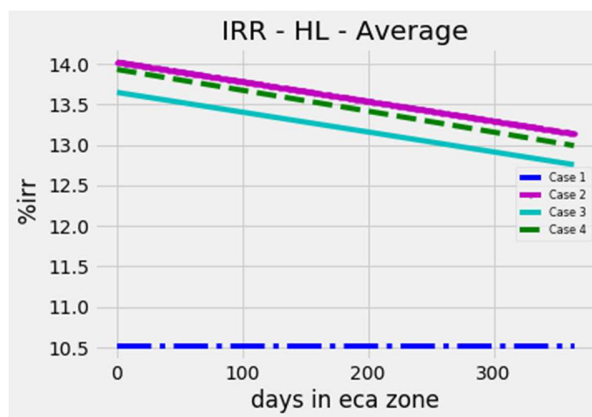
Παράρτημα



Διάγραμμα 8.31: Ανάλυση IRR για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber

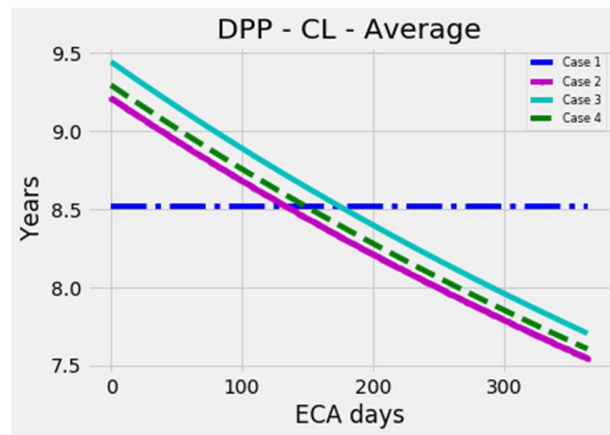


Διάγραμμα 8.32: Ανάλυση IRR για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber

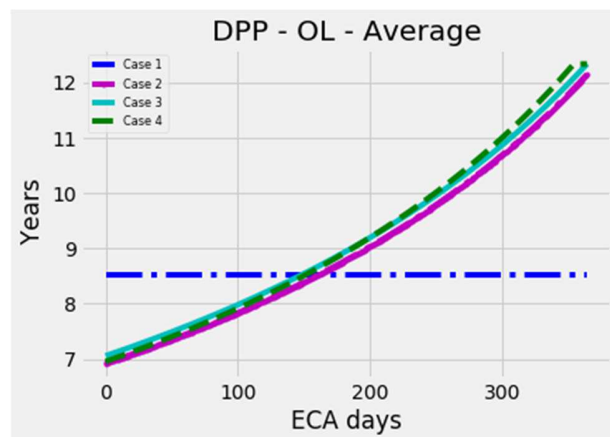


Διάγραμμα 8.33: Ανάλυση IRR για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber

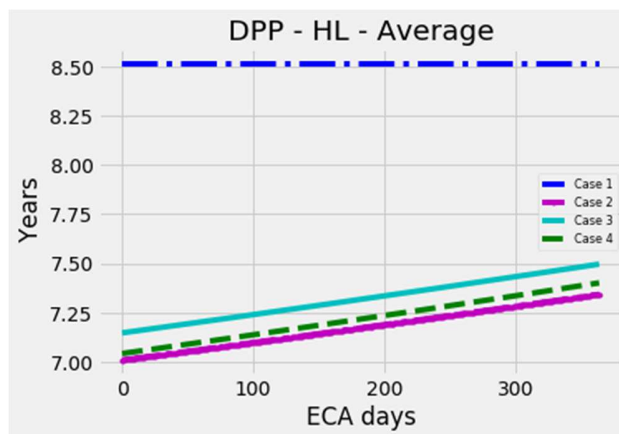
Παράρτημα



Διάγραμμα 8.34: Ανάλυση DPP για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση closed loop scrubber



Διάγραμμα 8.35: Ανάλυση DPP για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση open loop scrubber



Διάγραμμα 8.36: Ανάλυση DPP για μέση διαφορά στην τιμή καυσίμων και χρήση hybrid scrubber

Παράρτημα

8.2 Παράρτημα Β

Πίνακας 8.1 : Συγκεντρωτικά δεδομένα και αποτελέσματα των shop trials της ηλεκτρογεννήτριας

No. 2 ENG.		No. 2								
試験成績表・TEST RECORD					ヤンマー株式会社 YANMAR CO., LTD					
機関形式 Engine Model		機関番号 Engine No.		試験日・Date			天候 Weather			
6EY18ALW		9526		日・Day	月・Mon	年・Year	曇 Cloudy			
7		3		2019						
使用燃料油・Fuel Oil		使用潤滑油 Lube Oil		負荷方法 Method of Load Test			発電機・Generator			
A重油 (M. D. O)		真発熱量 Net Specific Energy (MJ/kg) 42.62		SAE#40		製造所名・Manufacturer TAIYO			製造番号・No. 310617	
項目・Item		計測値・Measurement								
負荷・Load %		# 0	# 25	# 50	# 75	100	100	110	規格値 (100%負荷時) Standard (at 100%Load)	
時刻・Time		13:00 5	13:20 5	13:40 5	14:00 5	09:30 5	10:00 5	10:30 5		
機関回転速度 Engine Speed min ⁻¹		900	900	900	900	900	900	900		
発電機出力 Generator Output kW		0	110	220	330	440	440	484		
燃料消費量 Fuel Oil Consumption	計測量・Measuring Vol. kg	-	1.0	1.0	1.5	2.0	2.0	2.0		
	時間・Time sec.	-	111.1	70.0	76.0	79.1	78.8	72.0		
	量/時 kg/h	-	32.2	51.1	70.7	90.5	90.9	99.4		
	量/発電機出力・時 gr/kW・h	-	292.4	232.0	213.7	205.3	206.1	205.1		
正味燃料消費率 (機関出力) Brake Specific Fuel Consumption (at Engine output) gr/kW・h		-	-	-	-	195.41	195.73	-	≦ 203.70 (194 + 5 %)	
周囲温度 Ambient Temp. °C		25	26	27	27	23	24	24		
大気圧力 Atmosphere hPa		-	-	-	-	1007.5	1007.5	-		
排気色 Smoke		-	-	-	-	0.15	-	-	≦ 0.50	
* 空気始動試験・Air Starting Test										
始動方式 Method		遠隔・Remote								
空気槽容量 Air Tank Capacity		150 ℓ								
初期状態 Primary Condition		周囲温度 Ambient Temp. : 18 °C			潤滑油温度 L.O. Temp. : 26 °C		冷却水温度 C.W. Temp. : 27 °C			
規定回数・Specified Times		≧ 3	1	2	3	始動可能な最低圧力 Lowest air press. which can start			規格値 Standard	
17タンク圧力 Air Tank Press.	始動前 Before Starting	MPa	2.45	2.20	1.95	始動前 Before starting			MPa	1.25
	圧力降下 Press. Drop	MPa	0.25	0.25	0.25	始動後 After starting			MPa	1.05
* 燃料噴射ポンプ突始め角度(度)・Fuel Injection Timing(degree)								基準噴射時期 Standard Timing		4.5-6.5
No. of Cyl.		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6			
上死点前 before T.D.C.		6.0	6.5	6.0	6.5	6.5	6.5			
発電機効率 Gen. Ef. η _g = 95.6 % (p.f.=1.0 at 100% Load)					相対湿度 Humidity : 48 % (at 100% Load)					

* Inspected by Yanmar

Παράρτημα

Πίνακας 8.2 : Electric Power Table

APPARATUS	n	OUTPUT [KW]	No. OF SET	INPUT [KW]	SEA GOING				HARBOUR IN & OUT				LOADING IN PORT				REST IN PORT				
					N'	fs [%]	KW		N'	fs [%]	KW		N'	fs [%]	KW		N'	fs [%]	KW		
							C.L.	LL.			C.L.	LL.			C.L.	LL.			C.L.	LL.	
Main Air Compressor	0,92	30	2	32,50	1	80		26,00	1	80	26,00		1	80	26,00		1	80	26,00		
Main Air comp																					
Cool. F.W. Pump	0,80	1,50	2	1,87	1	80		1,50	1	80	1,50		1	80	1,50		1	80	1,50		
Cool. Sea Water Pump	0,93	55,00	2	59,33	1	80		47,46	1	80	47,46		1	80	47,46		1	80	47,46		
Port Use Sea Water Pump	0,92	18,50	1	20,15	0	0		0	0	0		1	80	16,12		1	80	16,12			
Jacket Cool. F.W. Pump	0,92	22,00	2	23,86	1	80		19,09	1	80	19,09		0	0		0	0	0			
Main L.O. Pump	0,93	55,00	2	59,33	1	70		41,53	1	70	41,53		0	0		0	0	0			
M/E.F.O. Booster Pump	0,81	1,50	2	1,85	1	80		1,48	1	80	1,48		0	0		0	0	0			
M/E.F.O. Circ. Pump	0,87	3,70	2	4,27	1	80		3,42	1	80	3,42		1	80	3,42		1	80	3,416		
Aux. Blower	0,91	37,00	2	40,84	0	0		0	2	80	65,34		0	0		0	0	0			
Start Up Pump for M/E Hydraulic System	0,92	26,00	2	28,17	0	0		0	0	0		0	0		0	0	0	0			
ST L.O. Pump	0,68	0,40	2	0,59	1	80		0,47	1	80	0,47		0	0		0	0	0			
PART TOTAL							113,46	27,50			206,30	0,00			67,00	27,50			19,54	27,50	
ENGINE AUXILIARIES																					
F.O. Transfer Pump	0,86	5,50	1	6,40	1	80		5,12	1	80	5,12		1	80	5,12		1	80	5,12		
D.O. Transfer Pump	0,83	2,20	1	2,64	0	0		0	1	80	2,11		0	0		0	0	0			
L.O. Transfer Pump	0,81	1,50	1	1,85	1	80		1,48	0	0		1	80	1,48		1	80	1,48			
F.O. Purifier	0,88	5,50	2	6,27	1	70		4,39	1	70	4,389		1	70	4,39		1	70	4,39		
L.O. Purifier	0,88	5,50	2	6,27	1	70		4,39	1	70	4,389		1	70	4,39		1	70	4,39		
D/G L.O. Purifier	0,87	3,70	1	4,25	1	70		2,98	1	70	2,975		1	70	2,98		1	70	2,98		
Pur. L.O. Supply Pump	0,81	1,50	1	1,85	1	80		1,48	1	80	1,48		1	80	1,48		1	80	1,48		
D/G Pur. L.O. Supply Pump	0,68	0,40	1	0,59	1	80		0,47	1	80	0,472		1	80	0,47		1	80	0,47		
F.O. Shifter Pump	0,87	3,70	1	4,27	1	80		3,42	1	80	3,42		1	80	3,42		1	80	3,416		
Bilge & Ballast Pump	0,93	75,00	1	81,08	0	0		0	1	80	64,86		1	80	64,86		0	0	0		
Fire & Genera Serv. Pump	0,94	37,00	1	39,40	0	0		0	1	80	31,52		0	0		0	0	0			
Bilge Pump	0,75	0,75	1	1,00	1	80		0,80	0	0		1	80	0,80		1	80	0,8			
F.W. Pump	0,87	3,70	1	4,25	1	80		3,40	1	80	3,40		1	80	3,40		1	80	3,4		
Drink. W. Pump	0,87	3,70	1	4,25	1	80		3,40	1	80	3,40		1	80	3,40		1	80	3,4		
Sludge Pump	0,81	1,50	1	1,85	0	0		0	0	0		0	0		0	0	0	0			
Ref. March. Cool. S. W. Pump	0,91	11,00	1	12,09	1	80		9,67	1	80	9,672		1	80	9,67		1	80	9,67		
Hot Water Circ. Pump	0,70	0,40	1	0,57	1	80		0,46	1	80	0,456		1	80	0,46		1	80	0,46		
E/R Vent. Fan	0,90	11,00	2	12,22	2	90		22,00	2	90	22		1	90	11,00		1	90	11,00		
C/R Air Conditioner	0,85	2,20	1	2,59	1	80		2,07	1	80	2,072		1	80	2,07		1	80	2,07		
F.W. Generator	0,77	0,75	1	0,97	1	80		0,78	0	0		0	0		0	0	0	0			
Do.(Ejector Pump)	0,87	5,50	1	6,30	1	80		5,04	0	0		0	0		0	0	0	0			
D/G F.O. Booster Pump	0,75	0,75	2	1,00	1	80		0,80	1	80	0,8		1	80	0,80		1	80	0,80		
D/G F.O. Circulating Pump	0,81	1,50	2	1,85	1	80		1,48	1	80	1,48		1	80	1,48		1	80	1,48		
D/G L.O. Priming Pump	0,81	1,50	3	1,85	2	80		2,96	1	80	1,48		0	0		2	80	2,96			
Incinerator Cool. Fan	0,89	7,50	1	8,45	1	80		6,76	0	0		0	0		0	0	0	0			
Incinerator Burn Fan	0,80	1,50	1	1,87	1	80		1,50	0	0		0	0		0	0	0	0			
BWTS(MIURA)	1	84,00	2	84,00	0	0		0	0	0		2	100	0		0	0	0			
HFO Sett. Tank Heater	1	20,00	1	20,00	1	100		20,00	0	0		0	0		0	0	0	0			
Calorifier Unit	1	75,00	1	75,00	1	100		75,00	0	0		0	0		0	0	0	0			
PART TOTAL							58,96	120,87			116,53	48,97			17,62			42,14	17,62		
SHIP SERVICE AUXILIARIES																					
BLR																					
HFO/MGO Burning Pump	0,77	0,75	1	0,97	0,00	0		0	1	80	0,78		1	80	0,78		1	80	0,78		
BLR FD Fan	0,85	2,20	1	2,59	0,00	0		0	1	80	2,07		1	80	2,07		1	80	2,07		
BLR Feed Water Pump	0,87	5,50	2	6,30	1,00	80		5,04	1	80	5,04		1	80	5,04		1	80	5,04		
Heater	1	6,00	1	6,00	0	0		0	1	100	6,00		1	100	6,00		1	100	6,00		
PART TOTAL							0,00	5,04			0,00	13,89			0,00	13,89			0,00	13,89	
BOILER AUXILIARIES																					
Steering Gear	0,91	11,00	2	12,09	2,00	30		7,25	2	40	9,67		0	0		0	0	0			
Electric Hyd. Oil Pump For Windlass	0,93	75,00	1	81,08	0,00	0		0	1	80	64,86		0	0		0	0	0			
Electric Hyd. Oil Pump For Mooring Winch	0,93	55,00	1	59,33	0,00	0		0	1	50	29,67		0	0		0	0	0			
Electric Hyd. Oil Pump For Hatch Cover	0,91	30,00	2	32,86	0,00	0		0	0	0		0	0		0	0	0	0			
Prov. Ref. Machine	0,87	3,00	1	3,45	1,00	80		2,76	1	80	2,76		1	80	2,76		1	80	2,76		
Aircon. Ref Machine	0,92	26,00	1	28,17	1,00	80		22,54	1	80	22,54		1	80	22,54		1	80	22,54		
Do. Supply Fan	0,92	15,00	1	16,39	1,00	80		13,11	1	80	13,11		1	80	13,11		1	80	13,11		
Galley Air Cond.	0,87	3,70	1	4,25	1,00	80		3,40	1	80	3,40		1	80	3,40		1	80	3,40		
Do. Supply Fan	0,77	0,75	1	0,98	1,00	80		0,78	1	80	0,78		1	80	0,78		1	80	0,78		
Galley Exh. Fan	0,77	0,75	1	0,98	1,00	90		0,88	1	90	0,88		1	90	0,88		1	90	0,88		
Sanitary Space Exh. Fan	0,70	0,40	2	0,57	2,00	90		1,03	2	90	1,03		2	90	1,03		2	90	1,03		
Provisions Store Exh. Fan	0,63	0,20	1	0,32	1,00	90		0,29	1	90	0,29		1	90	0,29		1	90	0,29		
Electric Room Exh. Fan	0,77	0,75	1	0,98	0,00	0		0	0	0		1	90	0,88		0	0	0			
Electric Range	1	23,00	1	23,00	1,00	100		23,00	1	100	23,00		1	100	23,00		1	100	23,00		
Navl. & Radio Equipment	1	3,00	1	3,00	1	60		1,80	1	60	1,80		0	0		0	0	0			
PART TOTAL							53,84	23,00			150,79	23,00			45,67	23,00			44,79	23,00	
DECK MACHINERY																					
Deck crane	0,74	105,00	4	141,68	0,00	0		0	0	0		4	75	425		0	0	0			
Oil Cooler Fan	0,85	5,50	4	6,47	0	0		0	0	0		4	100	25,9		0	0	0			
PART TOTAL							0,00	0,00			0,00	0,00			451	0,00			0,00	0,00	
CARGO GEAR & SERVICE																					
Main Trans.	1	75,00	1	75,00	1,00	40		30,00	1	45	33,75		1	45	33,75		1	40	30,00		
Cargo Light Trans.	1	15,00	2	15,00	0,00	0		0	0	0		2	80	24,00		2	40	12,00			
Fore Light Trans.	1	7,50	1	7,50	0	0		0	1	80	6,00		1	80	6,00		1	40	3,00		
PART TOTAL							30,00	0,00			39,75	0									

Παράρτημα

Πίνακας 8.3 List of ports

VOY 01						
1	SHIPYARD	JAPAN		6/6/2016	Delivery	
2	KIMITSU	JAPAN	6/8/2016	6/11/2016	Loading/ Bunkering	SLAG IN BULK/ ifo rcvd 1,200mt
3	DARWIN	AUSTRALIA	6/20/2016	6/23/2016	Discharging	
VOY 02						
4	GLADSTONE	AUSTRALIA	6/29/2016	7/9/2016	Loading	ALUMINA IN BULK
5	NEWCASTLE	AUSTRALIA	7/11/2016	7/15/2016	Discharging	ALUMINA IN BULK
VOY 03						
6	GLADSTONE	AUSTRALIA	7/18/2016	7/21/2016	Loading	ALUMINA IN BULK
7	NEWCASTLE	AUSTRALIA	7/23/2016	7/29/2016	Discharging	ALUMINA IN BULK
VOY 04						
8	TAURANGA	NEW ZEALAND	8/2/2016	8/4/2016	Loading	LOGS
9	MARSDEN POINT	NEW ZEALAND	8/4/2016	8/9/2016	Loading	LOGS
10	LANQUIAO	CHINA	8/26/2016	9/4/2016	Discharging Bunkering	LOGS HSFO:1,000MT
VOY 05						
11	GLADSTONE	AUSTRALIA	9/18/2016	9/21/2016	Loading	CEMENT CLINKER
12	PORT KEMBLA	AUSTRALIA	9/23/2016	9/28/2016	Discharging	CEMENT CLINKER
VOY 06						
13	TAURANGA	NEW ZEALAND	10/3/2016	10/8/2016	Loading	LOGS
14	CAOFEIDIAN	CHINA	10/26/2016	11/7/2016	Discharging	LOGS
15	YEOSU	SOUTH KOREA	11/9/2016	11/10/2016	Bunkering	HSFO/850MT- DO(0.1%)240MT
VOY 07						
16	TAURANGA	NEW ZEALAND	11/26/2016	12/1/2016	Loading	Logs/Lumber
17	CAOFEIDIAN	CHINA	12/19/2016	1/5/2017	Discharging/ Bunkering	rcvd 800mt ifo Logs/Lumber
VOY 08						
18	BRISBANE	AUSTRALIA	1/21/2017	2/1/2017	Loading	Grains
19	TAURANGA	NEW ZEALAND	2/5/2017	2/8/2017	Discharging	Grains
VOY 09						
20	GISBORNE	NEW ZEALAND	2/8/2017	2/12/2017	Loading	Logs
21	TAURANGA	NEW ZEALAND	2/13/2017	2/17/2017	Loading	Logs
22	LIANYUNGANG	CHINA	3/8/2017	3/17/2017	Discharging/ Bunkering	Logs rcvd 800mt ifo
VOY 10						
23	LABASA	FIJI ISLANDS	4/2/2017	4/9/2017	Loading	Raw Sugar
24	LAUTOKA	FIJI ISLANDS	4/10/2017	4/13/2017	Loading	Raw Sugar
25	BALBOA/ CRISTOBAL	PANAMA	5/3/2017	5/6/2017	Transit/ Bunkering	rcvd 500mt ifo
26	BRINDISI	ITALY	5/23/2017	6/2/2017	Discharging	Raw Sugar
VOY 11						
27	ISTANBUL	TURKEY	6/5/2017	6/6/2017	Transit	Owners' matters
28	MARIUPOL	UKRAINE	6/7/2017	6/10/2017	Loading	Pig Iron
29	LAVRION	GREECE	6/13/2017	6/13/2017	Transit	Owners' matters

Παράρτημα

30	GIBRALTAR	GIBRALTAR	6/18/2017	6/18/2017	Bunkering	HSFO = 500.040 MT, MGO = 46.405 MT
31	MOREHEAD CITY	N. CAROLINA	6/29/2017	7/6/2017	Discharging	Pig Iron
VOY 12						
32	NEW ORLEANS	LOUISIANA	7/11/2017	7/17/2017	Loading	Grains
33	VERACRUZ	MEXICO	7/20/2017	7/29/2017	Discharging	Grains
VOY 13						
34	HOUSTON	TEXAS	7/31/2017	8/2/2017	Loading/ Bunkering	Petcoke IFOHS= 450MT/ MGO= 65 MT
35	ROSARIO	ARGENTINA	8/25/2017	9/9/2017	Discharging	Petcoke
VOY 14						
36	SAN LORENZO	ARGENTINA	9/11/2017	9/20/2017	Loading/ Bunkering	Grains LSFO rcvd 261.87mt.
37	MANGELLAN STRAIT	CHILE	9/24/2017	9/25/2017	Transit	
38	PUERTO MONTT	CHILE	9/29/2017	10/6/2017	Discharging	(CORN / WHEAT)
39	SAN ANTONIO	CHILE	10/8/2017	10/13/2017	Discharging/ Bunkering	LSFO rcvd 620.224
VOY 15						
40	MONTEVIDEO	URUGUAY	10/22/2017	11/2/2017	Loading	Logs
41	SINGAPORE	SINGAPORE	12/3/2017	12/3/2017	Bunkering	HSFO = 796.344 MT, DO(0.1%): 49.063 MT
42	WEIFANG	CHINA	12/14/2017	11/10/2016	Discharging	Logs
VOY 16						
43	FUKUYAMA	JAPAN	12/26/2017	1/5/2018	Loading	Slags
44	THI VAI	VIETNAM	1/11/2018	1/14/2018	Discharging	Slags
VOY 17						
45	SINGAPORE	SINGAPORE	1/16/2018	1/17/2018	Bunkering	HSFO: 1127.32 mt / DO: 198.70 mt
46	KWINANA	AUSTRALIA	1/25/2018	1/28/2018	Loading	Iron Ore fines
47	JIANGYIN	CHINA	2/10/2018	2/20/2018	Discharging Bunkering	Iron Ore fines HSFO = 359.96
VOY 18						
48	TIMARU	NEW ZEALAND	3/11/2018	3/16/2018	Loading	LOGS
49	NAPIER	NEW ZEALAND	3/17/2018	3/23/2018	Loading	LOGS
50	TAICANG	CHINA	4/12/2018	4/23/2018	Discharging	LOGS
VOY 19						
51	YANGZHOU	CHINA	4/25/2018	5/1/2018	Loading	CEMENT
52	HOUSTON	TEXAS	5/22/2018	5/24/2018	Discharging	CEMENT
53	SOUTH CAROLINA	USA	5/27/2018	5/29/2018	Discharging	CEMENT
VOY 20						
52	MIAMI	USA	6/14/2018	6/16/2018	Loading	SCRAP
53	SINGAPORE	SINGAPORE	7/13/2018	7/13/2018	Bunkering	HSFO: 879.75 mt / DO: 147.428 mt
54	CHITTAGONG	BANGLADESH	7/18/2018	8/10/2018	Discharging	SCRAP
VOY 21						
55	ESPERANCE	AUSTRALIA	8/25/2018	8/28/2018	Loading	WHEAT
56	LYTTTELTON	NEW ZEALAND	9/7/2018	9/10/2018	Discharging	WHEAT
57	NEW PLYMOUTH	NEW ZEALAND	9/11/2018	9/17/2018	Discharging	WHEAT IN BULK

Παράρτημα

58	AUCKLAND	NEW ZEALAND	9/20/2018	9/23/2018	Discharging/ Bunkering	WHEAT IN BULK HSFO: 250.08MT
VOY 22						
59	BLUFF	NEW ZEALAND	9/28/2018	10/4/2018	Loading	LOGS
60	PICTON	NEW ZEALAND	10/6/2018	10/8/2018	Loading	LOGS
61	MARSDEN POINT	NEW ZEALAND	10/10/2018	10/18/2018	Loading	LOGS
62	SINGAPORE	SINGAPORE	11/2/2018	11/3/2018	Bunkering	HSFO: 1068.221 /DO: 72.546
63	DEENDAYAL	INDIA	11/12/2018	10/18/2018	Discharging	LOGS
VOY 23						
64	FRAY BENTOS	URUGUAY	12/27/2018	12/30/2018	Loading	PINE LOGS
65	MONTEVIDEO	URUGUAY	12/31/2018	1/4/2019	Loading/ Bunkering	PINE LOGS HSFO: 200.024 mt
66	SINGAPORE	SINGAPORE	2/9/2019	2/9/2019	Bunkering	HSFO: 847.577 MT
67	TAICANG	CHINA	2/17/2019	2/24/2019	Discharging	PINE LOGS

Παράρτημα

8.3 Παράρτημα Γ

Python Closed Loop

```
import numpy as np
from IPython import get_ipython
get_ipython().magic('reset -sf')

#FUEL AND LUB PRICE

senaria_fuel = ['CL - Optimistic', 'CL - Average', 'CL - Pessimistic']

ULSFO_all = [517,416,315]
LSMGO_all = [584,481,378]
LSFO_all = [517,416,315] #0.5 for non ECAs
MGO_all = [584,481,378] #0.1 for ECAs
HFO_all = [233,245,257] # scrubber fuel
r1_all = [8/100, 12/100]
senaria_bonus = ['bonus-optimistic', 'bonus-avg', 'bonus-pessimistic']
ratio_all = [1, 1, 1]

n = 3
v = 3
nn = 6
vv = 2
IRR_all = []
for x in range(n):
    IRR_all.append([])
    for y in range(n):
        IRR_all[x].append([])
        for z in range(nn):
            IRR_all[x][y].append([])
            for k in range(vv):
                IRR_all[x][y][z].append(0)

PV_all = []

for x in range(n):
    PV_all.append([])
    for y in range(n):
        PV_all[x].append([])
        for z in range(nn):
            PV_all[x][y].append([])
            for k in range(vv):
                PV_all[x][y][z].append(0)

NPV_all = []

for x in range(n):
    NPV_all.append([])
    for y in range(n):
        NPV_all[x].append([])
        for z in range(nn):
            NPV_all[x][y].append([])
            for k in range(vv):
                NPV_all[x][y][z].append(0)

#main

for z in range(0,1):
    for y in range(1,2):
```


Παράρτημα

```
for x in range(0,3):
    fare = 12000
    HFO = HFO_all[x]
    LSFO = LSFO_all[x]
    ULSFO = ULSFO_all[x]
    MGO = MGO_all[x]
    LSMGO = LSMGO_all[x]
    kg_lt = 0.932
    BN40 = 525*10*kg_lt
    BN100 = 585*10*kg_lt
    """"

r1 = discount rate for NPV , PV for 4,8,12
""""

r1 = 8/100
# r1_all[z]

""""

ratio for bonus
""""

ratio = ratio_all[y]

dayseca = 0
ratiosailport = 1 #70% sail, 30% port
totaldays = 365
my_list = []
my1_list = []
num = 0
consumption = []
consumption = np.zeros((365,4),float)
consumption_one = np.zeros((365,4),float)
consumption_two = np.zeros((365,4),float)
consumption_three = np.zeros((365,4),float)
consumption_four = np.zeros((365,4),float)
consumption_five = np.zeros((365,4),float)
days = np.zeros((365,1),float)
days[0] = 0
for i in range(365): # create a list with nested lists
    my_list.append([])
    my1_list.append([])
    for n in range(0):
        my1_list[i].append(0)
        my_list[i].append(0)

while dayseca <= 364 :
    eca = dayseca
    noneca = totaldays - dayseca
    days[num] = dayseca

    travelingECA = eca*ratiosailport
    PortECA = eca*(ratiosailport)
    travelingNONECA = noneca*ratiosailport
    portNONECA = noneca*(ratiosailport)

#4 cstrgories for non eca
SGNE = 0.61662*noneca
HINONE = 0.01378*noneca
LOADNE = 0.1379*noneca
RIRNE = 0.2317*noneca

# 4 categories for ECA

SGE = 0.61662*eca
HIOE = 0.01378*eca
LOADE = 0.1379*eca
RiRE = 0.2317*eca

my_list[num].append(SGNE)
my_list[num].append(HINONE)
```

Παράρτημα

```
my_list[num].append (LOADNE)
my_list[num].append(RIRNE)

my_list[num].append(SGE)
my_list[num].append(HIOE)
my_list[num].append(LOADE)
my_list[num].append (RiRE)

dayseca +=1
num +=1
my_list = np.array(my_list)

"""
case1 no scrubber LSFO/MGO
"""
caseone = 'noscrubber'
# consumption [kg/h]    M/E Fuel , D/G Fuel , M/E Lub , D/G Lub
Sea_going_noneca_one   = [880.56184 , 71.57636 , 3.129 , 0] #.19877]
harb_in_out_noneca_one = [589.75925 , 125 , 2.034 , 0] #.32693]
Load_noneca_one       = [0 , 204.18422 , 0 , 0] #.55603]
rest_in_port_noneca_one = [0 , 47.29703 , 0 , 0] #.10729]

Sea_going_eca_one      = [866.93852 , 70.44669 , 3.129 , 0] #.19877]
harb_in_out_eca_one   = [580.63499 , 123.1 , 2.034 , 0] #.32693]
Load_eca_one          = [0 , 200.9685 , 0 , 0] #.55603]
rest_in_port_eca_one  = [0 , 46.55140 , 0 , 0] #.10729]

"""
case3 scrubber HFO 3x440
"""
casethree = 'scrubber'
# consumption [kg/h]    M/E Fuel , D/G Fuel , M/E Lub , D/G Lub
Sea_going_noneca_three = [935.10992 , 128.92109 , 3.65050 , 0] #.36490]
harb_in_out_noneca_three = [626.29301 , 164.83021 , 2.373 , 0] #.51442]
Load_noneca_three      = [0 , 249.93237 , 0 , 0] #.78170]
rest_in_port_noneca_three = [0 , 82.66946 , 0 , 0] #.25817]

Sea_going_eca_three    = [935.10992 , 128.92109 , 3.65050 , 0] #.36490]
harb_in_out_eca_three = [626.29301 , 164.83021 , 2.373 , 0] #.51442]
Load_eca_three         = [0 , 249.93237 , 0 , 0] #.78170]
rest_in_port_eca_three = [0 , 82.66946 , 0 , 0] #.25817]

"""
case4 scrubber HFO 4x440
"""
casefour = 'scrubber'
# consumption [kg/h]    M/E Fuel , D/G Fuel , M/E Lub , D/G Lub
Sea_going_noneca_four  = [935.10992 , 128.92297 , 3.65050 , 0] #.36490]
harb_in_out_noneca_four = [626.29301 , 185.68948 , 2.373 , 0] #.51442]
Load_noneca_four       = [0 , 269.84422 , 0 , 0] #.78170]
rest_in_port_noneca_four = [0 , 102.59557 , 0 , 0] #.25817]

Sea_going_eca_four     = [935.10992 , 128.92297 , 3.65050 , 0] #.36490]
harb_in_out_eca_four   = [626.29301 , 185.68948 , 2.373 , 0] #.51442]
Load_eca_four          = [0 , 269.84422 , 0 , 0] #.78170]
rest_in_port_eca_four  = [0 , 102.59557 , 0 , 0] #.25817]

"""
case5 scrubber HFO 3x620
"""
casefive = 'scrubber'

# consumption [kg/h]    M/E Fuel , D/G Fuel , M/E Lub , D/G Lub
Sea_going_noneca_five  = [935.10992 , 120.04557 , 3.65050 , 0] #.36490]
harb_in_out_noneca_five = [626.29301 , 178.05408 , 2.37300 , 0] #.51442]
```

Παράρτημα

```
Load_nonECA_five = [0 , 269.84422 , 0 , 0]#.78170]
rest_in_port_nonECA_five = [0 , 89.289990 , 0 , 0]#.25817]

Sea_going_eCA_five = [935.10992 , 120.04557 , 3.65050 , 0]#.36490]
harb_in_out_eCA_five = [626.29301 , 178.05408 , 2.37300 , 0]#.51442]
Load_eCA_five = [0 , 269.84422 , 0 , 0]#.78170]
rest_in_port_eCA_five = [0 , 89.289990 , 0 , 0]#.25817]
consumption = np.zeros((365,4),float)

"""
case2 no scrubber MGO/LSMGO
"""
casetwo = 'noscrubber'
Sea_going_nonECA_two = [868.16 , 73.301 , (3129)*10**-3 , (220.85)*10**-3]
harb_in_out_nonECA_two = [868.16 , 125.41 , (3129)*10**-3 , (363.26)*10**-3]
Load_nonECA_two = [0 , 208.144 , 0 , (617.81)*10**-3 ]
rest_in_port_nonECA_two = [0 , 45.73 , 0 , (119.2)*10**-3]
Sea_going_eCA_two = [866.939 , 73.198 , (3129)*10**-3 , (220.85)*10**-3]
harb_in_out_eCA_two = [866.939 , 125.24 , (3129)*10**-3 , (363.26)*10**-3]
Load_eCA_two = [0 , 207.851 , 0 , (617.81)*10**-3 ]
rest_in_port_eCA_two = [0 , 45.663 , 0 , (119.2)*10**-3]

#print(rest_in_port_eCA_three)

'''
function to calculate cost_consumption
'''
def fuel_oils (my_list, case, Sea_going_nonECA, harb_in_out_nonECA, Load_nonECA, rest_in_port_nonECA, Sea_going_eCA,
harb_in_out_eCA, Load_eCA, rest_in_port_eCA , consumption ):

    a1 = np.zeros((365,4),float)
    a2 = np.zeros((365,4),float)
    a3 = np.zeros((365,4),float)
    a4 = np.zeros((365,4),float)
    a5 = np.zeros((365,4),float)
    a6 = np.zeros((365,4),float)
    a7 = np.zeros((365,4),float)
    a8 = np.zeros((365,4),float)
    b1 = np.zeros((365,1),float)
    b2 = np.zeros((365,1),float)
    b3 = np.zeros((365,1),float)
    b4 = np.zeros((365,1),float)
    b5 = np.zeros((365,1),float)
    b6 = np.zeros((365,1),float)

    for i in range(0, 365) :
        for k in range (0,4,1):
            a1[i][k] = (my_list[i][0])*(Sea_going_nonECA[k])*24
            a2[i][k] = (my_list[i][1])*harb_in_out_nonECA[k]*24
            a3[i][k] = (my_list[i][2])*Load_nonECA[k]*24
            a4[i][k] = (my_list[i][3])*rest_in_port_nonECA[k]*24
            a5[i][k] = (my_list[i][4])*(Sea_going_eCA[k])*24
            a6[i][k] = (my_list[i][5])*harb_in_out_eCA[k]*24
            a7[i][k] = (my_list[i][6])*Load_eCA[k]*24
            a8[i][k] = (my_list[i][7])*rest_in_port_eCA[k]*24

            #FO NON ECA

            b1[i] = ( a1[i][0] +a1[i][1] + a2[i][0] +a2[i][1] + a3[i][0] +a3[i][1] + a4[i][0] +a4[i][1] )/10**3
            #LO NON ECA

            b2[i] = ( a1[i][2] +a1[i][3] + a2[i][2] +a2[i][3] + a3[i][2] +a3[i][3] + a4[i][2] +a4[i][3] )/10**3

            #FO ECA ( MGO)

            b3[i] = ( a5[i][0] +a5[i][1] + a6[i][0] +a6[i][1] + a7[i][0] +a7[i][1] + a8[i][0] +a8[i][1] )/10**3
```

Παράρτημα

```
#LO ECa

b4[i] = ( a5[i][2] + a5[i][3] + a6[i][2] + a6[i][3] + a7[i][3] + a7[i][2] + a8[i][2] + a8[i][3] )/10**3

b5[i] = ( a1[i][2] + a2[i][2] + a3[i][2] + a4[i][2] + a5[i][2] + a6[i][2] + a7[i][2] + a8[i][2] )/10**3
b6[i] = ( a1[i][3] + a2[i][3] + a3[i][3] + a4[i][3] + a5[i][3] + a6[i][3] + a7[i][3] + a8[i][3] )/10**3

if (case == 'noscrubber'):

    consumption[i][0] = b1[i]*(1+1/100)
    consumption[i][1] = b3[i]*(1+0.18/100)
    consumption[i][2] = 0
    consumption[i][3] = (b4[i] + b2[i])*1
elif (case == 'scrubber'):
    consumption[i][0] = (b1[i] + b3[i])*(1+2/100)
    consumption[i][1] = 0
    consumption[i][2] = (b5[i] + b6[i])*1
    consumption[i][3] = 0
return consumption
#consumption_one = np.zeros((344,4),float)
fuel_oils(my_list, caseone, Sea_going_noneca_one, harb_in_out_noneca_one , Load_noneca_one, rest_in_port_noneca_one,
Sea_going_eca_one, harb_in_out_eca_one, Load_eca_one, rest_in_port_eca_one , consumption_one)
fuel_oils(my_list, casethree, Sea_going_noneca_three, harb_in_out_noneca_three , Load_noneca_three,
rest_in_port_noneca_three, Sea_going_eca_three, harb_in_out_eca_three, Load_eca_three, rest_in_port_eca_three ,
consumption_three)
fuel_oils(my_list, casetwo, Sea_going_noneca_two, harb_in_out_noneca_two , Load_noneca_two, rest_in_port_noneca_two,
Sea_going_eca_two, harb_in_out_eca_two, Load_eca_two, rest_in_port_eca_two , consumption_two)
fuel_oils(my_list, casefour, Sea_going_noneca_four, harb_in_out_noneca_four , Load_noneca_four,
rest_in_port_noneca_four, Sea_going_eca_four, harb_in_out_eca_four, Load_eca_four, rest_in_port_eca_four , consumption_four)
fuel_oils(my_list, casefive, Sea_going_noneca_five, harb_in_out_noneca_five , Load_noneca_five, rest_in_port_noneca_five,
Sea_going_eca_five, harb_in_out_eca_five, Load_eca_five, rest_in_port_eca_five , consumption_five)

cost_consumption_one = np.zeros((365,4),float)
cost_consumption_two = np.zeros((365,4),float)
cost_consumption_three = np.zeros((365,4),float)
cost_consumption_four = np.zeros((365,4),float)
cost_consumption_five = np.zeros((365,4),float)
for i in range(0, 365) :
    cost_consumption_one[i][0] = consumption_one[i][0]*LSFO
    cost_consumption_one[i][1] = consumption_one[i][1]*MGO
    cost_consumption_one[i][2] = consumption_one[i][2]*BN40
    cost_consumption_one[i][3] = consumption_one[i][3]*BN40
    cost_consumption_two[i][0] = consumption_two[i][0]*MGO
    cost_consumption_two[i][1] = consumption_two[i][1]*LSMGO
    cost_consumption_two[i][2] = consumption_two[i][2]*BN100
    cost_consumption_two[i][3] = consumption_two[i][3]*BN40
    cost_consumption_three[i][0] = consumption_three[i][0]*HFO
    cost_consumption_three[i][1] = consumption_three[i][1]*HFO
    cost_consumption_three[i][2] = consumption_three[i][2]*BN100
    cost_consumption_three[i][3] = consumption_three[i][3]*BN100
    cost_consumption_four[i][0] = consumption_four[i][0]*HFO
    cost_consumption_four[i][1] = consumption_four[i][1]*HFO
    cost_consumption_four[i][2] = consumption_four[i][2]*BN100
    cost_consumption_four[i][3] = consumption_four[i][3]*BN100
    cost_consumption_five[i][0] = consumption_five[i][0]*HFO
    cost_consumption_five[i][1] = consumption_five[i][1]*HFO
    cost_consumption_five[i][2] = consumption_five[i][2]*BN100
    cost_consumption_five[i][3] = consumption_five[i][3]*BN100

#print(cost_consumption_one[55])
cost_one = np.zeros((365,1),float)
cost_two = np.zeros((365,1),float)
cost_three = np.zeros((365,1),float)
cost_four = np.zeros((365,1),float)
cost_five = np.zeros((365,1),float)
SV_one = np.zeros((365,1),float)
```

Παράρτημα

```
SV_two = np.zeros((365,1),float)
SV_three = np.zeros((365,1),float)
SV_four = np.zeros((365,1),float)
SV_five = np.zeros((365,1),float)

for i in range(0,365) :
    for k in range (0,4):
        cost_one[i] = cost_one[i] +cost_consumption_one[i][k]
        cost_two[i] = cost_two[i] +cost_consumption_two[i][k]
        cost_three[i] =cost_three[i] + cost_consumption_three[i][k]
        cost_four[i] =cost_four[i] + cost_consumption_four[i][k]
        cost_five[i] = cost_five[i] + cost_consumption_five[i][k]
        SV_one[i] = SV_one[i] +cost_consumption_one[i][k]
        SV_two[i] = SV_two[i] +cost_consumption_two[i][k]
        SV_three[i] =SV_three[i] + cost_consumption_three[i][k]
        SV_four[i] =SV_four[i] + cost_consumption_four[i][k]
        SV_five[i] = SV_five[i] + cost_consumption_five[i][k]

    cost_four[i] =(fare)*365 +cost_four[i]
    cost_five[i] =(fare)*365 +cost_five[i]
    cost_three[i] =(fare)*365 +cost_three[i]
    cost_one[i] = fare*365 +cost_one[i]
    cost_two[i] = fare*365 +cost_two[i]

    bonus_one = np.zeros((365,1),float)
    bonus_two = np.zeros((365,1),float)
    bonus_three = np.zeros((365,1),float)
    bonus_four = np.zeros((365,1),float)
    bonus_five = np.zeros((365,1),float)

for i in range (0,365):
    if (cost_one[i] >= cost_three[i] ):
        bonus_three[i] = (cost_one[i] -cost_three[i])
    if (cost_one[i] >= cost_four[i] ):
        bonus_four[i] = (cost_one[i] -cost_four[i])
    if (cost_one[i] >= cost_five[i] ):
        bonus_five[i] = (cost_one[i] -cost_five[i])
for i in range(0,365) :
    SV_three[i]=SV_one[i]-SV_three[i]
    SV_four[i]= SV_one[i]-SV_four[i]
    SV_five[i]= SV_one[i]-SV_five[i]
"""
scrubber cost

"""
scrubber_cost = 1.2*10**6
scrubber_fit_cost = 8*10**5

"""
scrubber operational costs

"""
sludge = np.zeros((365,1),float)
sludge_price_ton = 139.69
sludge_production = 1.2*25*(10**-3)*24*365
NaOH_production = 155*(10**-3)*24*365*150/95

# NaOH_production = 155*(10**-3)*24*365
NaOH_price_ton = 150

""" final prices charged to charterer """
sludge_cost = sludge_price_ton*sludge_production
NaOH_cost = NaOH_price_ton*NaOH_production
scrubber_maintenance_cost = 53333.34
#0.04*scrubber_cost
#charterer will pay nothing for operational costs just a premium of 2300 usd/day
```

Παράρτημα

```
""
enginner manhour cost to be charged on ship owner
""
""total cost in 1 year period for ship owner only for scrubber ""
scrubber_operating_engineer_cost = 0
scrubber_operational_cost= scrubber_operating_engineer_cost+scrubber_maintenance_cost+NaOH_cost+sludge_cost

""ship cost without DG""

ship_cost =22.65*10**6
""for case 1,2,3""
DG_3x440 = 350000
""case 4 4x440""
DG_4x440 = DG_3x440*4/3
""case5 3x680""
DG_3x680 = 450000

""LOANS""
loan_one = (DG_3x440+ship_cost)/2
loan_two = loan_one
loan_three = (DG_3x440 + ship_cost +scrubber_cost +scrubber_fit_cost)/2
loan_four = (DG_4x440 + ship_cost +scrubber_cost +scrubber_fit_cost)/2
loan_five = (DG_3x680 + ship_cost +scrubber_cost +scrubber_fit_cost)/2
intrest_rate = 5/100
r = intrest_rate

""10 years period""
period = 10 #10yr
n = period
insurance_noscrubber = 120320
insurance_scrubber = 17288 +insurance_noscrubber
operating_cost_noScrubber = insurance_noscrubber/0.12
operating_cost_scrubber = insurance_scrubber/0.12

extra_peryear_three = (scrubber_cost+scrubber_fit_cost)/2 *(r*(1+r)**n)/((1+r)**n-1)
extra_peryear_four = (scrubber_cost+scrubber_fit_cost+DG_3x440/3)/2*(r*(1+r)**n)/((1+r)**n-1)
extra_peryear_five = (scrubber_cost+scrubber_fit_cost+ DG_3x680 -DG_3x440)/2*(r*(1+r)**n)/((1+r)**n-1)
plp=0
m=12
plp= np.zeros((0,0),float)

def monthpaymentsto_bank (loan,n,m,r,plp):
    n=m*n
    r=r/m
    plp=loan/(((1+r)**n)-1)/(r*(1+r)**n))
    #plp=loan/(((1+a)*b-1)/(a*(1+a)*b))
    return plp
#isos pw apla oti plp=0 mesa stin function same same e?
payment_loan_peryear_four=0
payment_loan_peryear_one=0
payment_loan_peryear_two=0
payment_loan_peryear_three=0
payment_loan_peryear_five=0
payment_loan_peryear_one=monthpaymentsto_bank(loan_one, n, m, r,payment_loan_peryear_one )
payment_loan_peryear_two=monthpaymentsto_bank(loan_two, n, m, r,payment_loan_peryear_two )
payment_loan_peryear_three=monthpaymentsto_bank(loan_three, n, m, r,payment_loan_peryear_three )
payment_loan_peryear_four=monthpaymentsto_bank(loan_four, n, m, r,payment_loan_peryear_four )
payment_loan_peryear_five=monthpaymentsto_bank(loan_five, n, m, r,payment_loan_peryear_five )

""
owner expenses per year
""
outcome_one = payment_loan_peryear_one*12 + operating_cost_noScrubber
outcome_two = payment_loan_peryear_two*12 + operating_cost_noScrubber
outcome_three = payment_loan_peryear_three*12 + operating_cost_scrubber + scrubber_operational_cost
outcome_four = payment_loan_peryear_four*12 + operating_cost_scrubber + scrubber_operational_cost
```

Παράρτημα

```
outcome_five = payment_loan_peryear_five*12 + operating_cost_scrubber +scrubber_operational_cost
"""
charter expenses per year
"""
charter_one = np.zeros((365,1),float)
charter_two = np.zeros((365,1),float)
charter_three = np.zeros((365,1),float)
charter_four = np.zeros((365,1),float)
charter_five = np.zeros((365,1),float)

for i in range(0,365):
    charter_one[i] = cost_one[i]+bonus_one[i]*ratio
    charter_two[i] = cost_two[i]+bonus_two[i]*ratio
    charter_three[i] = cost_three[i]+bonus_three[i]*ratio
    charter_four[i] = cost_four[i]+bonus_four[i]*ratio
    charter_five[i] = cost_five[i]+bonus_five[i]*ratio
"""
income for owner per year
"""
income_onwer_one = np.zeros((365,1),float)
income_onwer_two = np.zeros((365,1),float)
income_onwer_three = np.zeros((365,1),float)
income_onwer_four = np.zeros((365,1),float)
income_onwer_five = np.zeros((365,1),float)
for i in range(0,365) :
    income_onwer_one[i] = fare*365
    income_onwer_two[i] = fare*365 +bonus_two[i]*ratio
    income_onwer_three[i] = fare*365 +bonus_three[i]*ratio
    income_onwer_four[i] = fare*365 +bonus_four[i]*ratio
    income_onwer_five[i] = fare*365 +bonus_five[i]*ratio

"""
profit for owner per year
"""
profit_onwer_one = np.zeros((365,1),float)
profit_onwer_two = np.zeros((365,1),float)
profit_onwer_three = np.zeros((365,1),float)
profit_onwer_four = np.zeros((365,1),float)
profit_onwer_five = np.zeros((365,1),float)
for i in range(0,365):
    profit_onwer_one[i] = income_onwer_one[i]- outcome_one#-loan_one/10
    profit_onwer_two[i] = income_onwer_two[i] - outcome_two# -loan_two/10
    profit_onwer_three[i] = income_onwer_three[i] - outcome_three#-loan_three/10
    profit_onwer_four[i] = income_onwer_four[i] - outcome_four#-loan_four/10
    profit_onwer_five[i] = income_onwer_five[i] - outcome_five#-loan_five/10

"""
DPP
"""
DPPa = np.zeros((365,1),float)
DPP_one= np.zeros((365,1),float)
DPP_two= np.zeros((365,1),float)
DPP_three= np.zeros((365,1),float)
DPP_four= np.zeros((365,1),float)
DPP_five= np.zeros((365,1),float)
profit= np.zeros((365,1),float)

def disc (loan,rate,profit,DPPa):
    for i in range(0,365):
        a= np.log((1-((loan*rate)/profit[i])))
        b=np.log((1+rate))
        DPPa[i]=-a/b
    return DPPa
disc(loan_one,r1,profit_onwer_one,DPP_one)
disc(loan_three,r1,profit_onwer_three,DPP_three)
disc(loan_four,r1,profit_onwer_four,DPP_four)
disc(loan_five,r1,profit_onwer_five,DPP_five)
```

Παράρτημα

```
"""
NPV
"""
revenue_onwer_one = np.zeros((365,1),float)
revenue_onwer_two = np.zeros((365,1),float)
revenue_onwer_three = np.zeros((365,1),float)
revenue_onwer_four = np.zeros((365,1),float)
revenue_onwer_five = np.zeros((365,1),float)
for i in range(0,365):
    revenue_onwer_one[i] = np.npv(r1,[-loan_one ,income_onwer_one[i]-outcome_one ,income_onwer_one[i]-
outcome_one ,income_onwer_one[i]-outcome_one ,income_onwer_one[i]-outcome_one ,income_onwer_one[i]-outcome_one
,income_onwer_one[i]-outcome_one ,income_onwer_one[i]-outcome_one ,income_onwer_one[i]-outcome_one
,income_onwer_one[i]-outcome_one ,income_onwer_one[i]-outcome_one ] )
    revenue_onwer_two[i] = np.npv(r1,[-loan_two,income_onwer_two[i]-outcome_two,income_onwer_two[i]-
outcome_two,income_onwer_two[i]-outcome_two,income_onwer_two[i]-outcome_two,income_onwer_two[i]-
outcome_two,income_onwer_two[i]-outcome_two,income_onwer_two[i]-outcome_two,income_onwer_two[i]-
outcome_two,income_onwer_two[i]-outcome_two,income_onwer_two[i]-outcome_two ] )
    revenue_onwer_three[i] = np.npv(r1, [-loan_three , income_onwer_three[i]-outcome_three, income_onwer_three[i]-
outcome_three, income_onwer_three[i]-outcome_three, income_onwer_three[i]-outcome_three, income_onwer_three[i]-
outcome_three, income_onwer_three[i]-outcome_three, income_onwer_three[i]-outcome_three, income_onwer_three[i]-
outcome_three, income_onwer_three[i]-outcome_three, income_onwer_three[i]-outcome_three ] )
    revenue_onwer_four[i] = np.npv(r1, [-loan_four , income_onwer_four[i]-outcome_four, income_onwer_four[i]-
outcome_four, income_onwer_four[i]-outcome_four, income_onwer_four[i]-outcome_four, income_onwer_four[i]-
outcome_four, income_onwer_four[i]-outcome_four, income_onwer_four[i]-outcome_four, income_onwer_four[i]-
outcome_four, income_onwer_four[i]-outcome_four, income_onwer_four[i]-outcome_four ] )
    revenue_onwer_five[i] = np.npv(r1, [-loan_five, income_onwer_five[i]-outcome_five, income_onwer_five[i]-
outcome_five, income_onwer_five[i]-outcome_five, income_onwer_five[i]-outcome_five, income_onwer_five[i]-outcome_five,
income_onwer_five[i]-outcome_five, income_onwer_five[i]-outcome_five, income_onwer_five[i]-outcome_five,
income_onwer_five[i]-outcome_five, income_onwer_five[i]-outcome_five ] )

"""
Irr
"""

irr_one = np.zeros((365,1),float)
irr_two = np.zeros((365,1),float)
irr_three = np.zeros((365,1),float)
irr_four = np.zeros((365,1),float)
irr_five = np.zeros((365,1),float)

irr_three_2 = np.zeros((365,1),float)
irr_one_2 = np.zeros((365,1),float)
def irr_ (loan_three,income_onwer_three,outcome_three,irr_three_2):
    for i in range(0,365):
        #irr_three[i] = np.irr([-loan_three+outcome_three*10),(income_onwer_three[i])*10])
        irr_three_2[i] = np.irr([-loan_three,income_onwer_three[i]-outcome_three,income_onwer_three[i]-
outcome_three,income_onwer_three[i]-outcome_three,income_onwer_three[i]-outcome_three,income_onwer_three[i]-
outcome_three,income_onwer_three[i]-outcome_three,income_onwer_three[i]-outcome_three,income_onwer_three[i]-
outcome_three,income_onwer_three[i]-outcome_three,income_onwer_three[i]-outcome_three])
        #return irr_three
        irr_three_2[i]=irr_three_2[i]*100
    return irr_three_2

irr_ (loan_one,income_onwer_one,outcome_one,irr_one)
irr_ (loan_three,income_onwer_three,outcome_three,irr_three)
irr_(loan_two,income_onwer_two,outcome_two,irr_two)
irr_(loan_four,income_onwer_four,outcome_four,irr_four)
irr_(loan_five,income_onwer_five,outcome_five,irr_five)
```


Παράρτημα

```
from matplotlib import pyplot as plt

"""
irr plots
"""

"""
daily exrta expenses DUE to scrubber
"""

"""
owners revenue NPV
"""
a=0
for i in range(0,365):
    a=a+revenue_onwer_five[i]
aa=0
for i in range(0,365):
    if abs((a/365 - revenue_onwer_five[i])> 3):
        aa=i

plt.style.use('fivethirtyeight')
plt.plot(days,revenue_onwer_one*10**-6,'b-',label='Case 1')
plt.plot(days,revenue_onwer_three*10**-6,'m-',label='Case 2')
plt.plot(days,revenue_onwer_four*10**-6,'c-',label='Case 3')
plt.plot(days,revenue_onwer_five*10**-6,'g--',label='Case 4')

plt.xlabel('ECA days',color='black')
plt.ylabel(' Million $ ',color='black')
plt.title(' NPV' + ' - ' + senaria_fuel[x] ) # + ' , ' + senaria_bonus[y])
plt.legend(loc=4, fontsize = 'xx-small')
plt.show()

"""DPP"""

print(senaria_fuel[x],senaria_bonus[y])
print(profit_onwer_one[90], 'profit per yr case1')
print (profit_onwer_five[90], 'profit per yr case4')
print(revenue_onwer_one[90], 'NPV case1')
print(revenue_onwer_five[90], 'NPV case4')

plt.plot(days,DPP_one,'b-',label='Case 1')
plt.plot(days,DPP_three,'m-',label='Case 2')
plt.plot(days,DPP_four,'c-',label='Case 3')
plt.plot(days,DPP_five,'g--',label='Case 4')

plt.xlabel('ECA days',color='black')
plt.ylabel(' Years ',color='black')
plt.title('DPP' + ' - ' + senaria_fuel[x] )# + ' , ' + senaria_bonus[y])
plt.legend(loc=0, fontsize = 'xx-small')

plt.show()

"""
owners profit per year no npv
"""

plt.plot(days,profit_onwer_one/365,'b-',label='Case 1')
plt.plot(days,profit_onwer_three/365,'m-',label='Case 2')
plt.plot(days,profit_onwer_four/365,'c-',label='Case 3')
plt.plot(days,profit_onwer_five/365,'g--',label='Case 4')

plt.xlabel('ECA days',color='black')
```

Παράρτημα

```
plt.ylabel(' $ ',color='black')
plt.title(' Owners Daily Profit '+'-' + senaria_fuel[x] )# '+' , '+' + senaria_bonus[y])
plt.legend(loc=0, fontsize = 'xx-small')
plt.show()

"""
PLOT gia na ipologisw posa dollaria eksikonomw ana imera
logo xrhshs scrubber

"""

plt.plot(days,SV_three/365 ,'.m-', label='Case 2')
plt.plot(days,SV_four/365 ,'.c-',label='Case 3')
plt.plot(days,SV_five/365 ,'.g-',label='Case 4')
plt.xlabel('ECA days',color='black')
plt.ylabel(' $ ',color='black')
plt.title(' Daily Savings '+'-' + senaria_fuel[x] )# '+' , '+' + senaria_bonus[y])
plt.legend(loc=0, fontsize = 'xx-small')
plt.show()

"""
irr plots
"""

plt.plot(days,irr_one,'b-',label='Case 1')
plt.plot(days,irr_three,'m-', label='Case 2')
plt.plot(days,irr_four,'c-',label='Case 3')
plt.plot(days,irr_five,'g-',label='Case 4')

plt.xlabel('days in eca zone',color='black')
plt.ylabel(' %irr',color='black')
plt.title('IRR+'-' + senaria_fuel[x])
plt.legend(loc=0, fontsize = 'xx-small')
plt.show()

print('DPP')
print(DPP_one[31],case1)
print(DPP_five[31],case4)
print('NPV')
print(revenue_onwer_one[31],case1)
print(revenue_onwer_five[31],case5)
print('saved')
print(bonus_five[31],case5)
print('profit')
print(profit_onwer_one[31],case 1)
print(profit_onwer_five[31],case 5)
print('expenses')
print(outcome_one,case1)
print(outcome_five,case 5)
print('IRR')
print(irr_one[31],case1)
print(irr_five[31],case4)
```

Παράρτημα

Python Open Loop

```
import numpy as np
from IPython import get_ipython
get_ipython().magic('reset -sf')

#FUEL AND LUB PRICE

senaria_fuel = ['OL - Optimistic', 'OL - Average', 'OL - Pessimistic']

ULSFO_all = [700,670,255] # praktika einai to LSMGO
LSMGO_all = [700,670,255] #eca areas = ulsfo

LSFO_all = [517,416,315] #0.5 for non eca area
MGO_all = [584,481,378] #
HFO_all = [233,245,257] # scrubber fuel
r1_all = [8/100, 12/100]
senaria_bonus = ['bonus-optimistic', 'bonus-avg', 'bonus-pessimistic']
ratio_all = [0.8, 1, 0.6]

n = 3
v = 3
nn = 6
vv = 2
IRR_all = []
for x in range(n):
    IRR_all.append([])
    for y in range(n):
        IRR_all[x].append([])
        for z in range(nn):
            IRR_all[x][y].append([])
            for k in range(vv):
                IRR_all[x][y][z].append(0)

PV_all = []

for x in range(n):
    PV_all.append([])
    for y in range(n):
        PV_all[x].append([])
        for z in range(nn):
            PV_all[x][y].append([])
            for k in range(vv):
                PV_all[x][y][z].append(0)

NPV_all = []

for x in range(n):
    NPV_all.append([])
    for y in range(n):
        NPV_all[x].append([])
        for z in range(nn):
            NPV_all[x][y].append([])
            for k in range(vv):
                NPV_all[x][y][z].append(0)

"""
main
"""
for z in range(0,1):
    for y in range(1,2):
        for x in range(0,3):
            fare = 12000
            HFO = HFO_all[x]
```

Παράρτημα

```
LSFO = LSFO_all[x]
ULSFO = ULSFO_all[x]
MGO = MGO_all[x]
LSMGO = LSMGO_all[x]
kg_lt = 0.932
BN40 = 525*10*kg_lt
BN100 = 585*10*kg_lt
"""
r1= discount rate for NPV , PV for 4,8,12
"""
r1 = r1_all[z]

"""
ratio for bonus
"""
ratio = ratio_all[y]

dayseca = 0
ratiosailport = 1 #70% sail, 30% port
totaldays = 365
my_list = []
my1_list = []
num = 0
consumption = []
consumption = np.zeros((365,4),float)
consumption_one = np.zeros((365,4),float)
consumption_two = np.zeros((365,4),float)
consumption_three = np.zeros((365,4),float)
consumption_four = np.zeros((365,4),float)
consumption_five = np.zeros((365,4),float)
days = np.zeros((365,1),float)
days[0] = 0
for i in range(365): # create a list with nested lists
    my_list.append([])
    my1_list.append([])
    for n in range(0):
        my1_list[i].append(0)
        my_list[i].append(0)

while dayseca <= 364 :
    eca =dayseca
    noneca =totaldays-dayseca
    days[num] = dayseca

    travelingECA = eca*ratiosailport
    PortECA = eca*(ratiosailport)
    travelingNONECA = noneca*ratiosailport
    portNONECA = noneca*(ratiosailport)

    #4 cstrgories for non eca
    SGNE = 0.61662*noneca
    HINONE =0.01378*noneca
    LOADNE = 0.1379*noneca
    RIRNE = 0.2317*noneca

    # 4 categories for ECA

    SGE = 0.61662*eca
    HIOE =0.01378*eca
    LOADE = 0.1379*eca
    RiRE = 0.2317*eca

    my_list[num].append(SGNE)
    my_list[num].append(HINONE)
    my_list[num].append (LOADNE)
    my_list[num].append(RIRNE)

    my_list[num].append(SGE)
```

Παράρτημα

```
my_list[num].append(HIOE)
my_list[num].append(LOADE)
my_list[num].append(RiRE)

dayseca +=1
num +=1
my_list = np.array(my_list)

"""
case1 no scrubber LSFO/MGO
"""
caseone = 'noscrubber'
# consumption [kg/h] M/E Fuel , D/G Fuel , M/E Lub , D/G Lub
Sea_going_noneca_one = [880.56184, 71.57636 , 3.129 , 0] #.19877]
harb_in_out_noneca_one = [589.75925 , 125 , 2.034 , 0] #.32693]
Load_noneca_one = [0 , 204.18422 , 0 , 0] #.55603]
rest_in_port_noneca_one = [0 , 47.29703 , 0 , 0] #.10729]

Sea_going_eca_one = [866.93852, 70.44669 , 3.129 , 0] #.19877]
harb_in_out_eca_one = [580.63499 , 123.1 , 2.034 , 0] #.32693]
Load_eca_one = [0 , 200.9685 , 0 , 0] #.55603]
rest_in_port_eca_one = [0 , 46.55140 , 0 , 0] #.10729]

"""
case3 scrubber HFO 3x440
"""
casethree = 'scrubber'

# consumption [kg/h] M/E Fuel , D/G Fuel , M/E Lub , D/G Lub
Sea_going_noneca_three = [935.10992 , 117 , 3.65050 , 0] #.36490]
harb_in_out_noneca_three = [626.29301 , 152.1 , 2.373 , 0] #.51442]
Load_noneca_three = [0 , 236.8 , 0 , 0] #.78170]
rest_in_port_noneca_three = [0 , 70.3 , 0 , 0] #.25817]

"""
we use MGO scrubber is closed
"""
Sea_going_eca_one = [866.93852, 70.44669 , 3.129 , 0] #.19877]
harb_in_out_eca_one = [580.63499 , 123.1 , 2.034 , 0] #.32693]
Load_eca_one = [0 , 200.9685 , 0 , 0] #.55603]
rest_in_port_eca_one = [0 , 46.55140 , 0 , 0] #.10729]

"""
case4 scrubber HFO 4x440
"""
casefour = 'scrubber'
# consumption [kg/h] M/E Fuel , D/G Fuel , M/E Lub , D/G Lub
Sea_going_noneca_four = [935.10992 , 117 , 3.65050 , 0] #.36490]
harb_in_out_noneca_four = [626.29301 , 173.6 , 2.373 , 0] #.51442]
Load_noneca_four = [0 , 258.2 , 0 , 0] #.78170]
rest_in_port_noneca_four = [0 , 88.1 , 0 , 0] #.25817]

Sea_going_eca_one = [866.93852, 70.44669 , 3.129 , 0] #.19877]
harb_in_out_eca_one = [580.63499 , 123.1 , 2.034 , 0] #.32693]
Load_eca_one = [0 , 200.9685 , 0 , 0] #.55603]
rest_in_port_eca_one = [0 , 46.55140 , 0 , 0] #.10729]

"""
case5 scrubber HFO 3x620
"""
casefive = 'scrubber'

# consumption [kg/h] M/E Fuel , D/G Fuel , M/E Lub , D/G Lub
Sea_going_noneca_five = [935.10992 , 105.0 , 3.65050 , 0] #.36490]
harb_in_out_noneca_five = [626.29301 , 164.2 , 2.37300 , 0] #.51442]
Load_noneca_five = [0 , 256 , 0 , 0] #.78170]
```

Παράρτημα

```
rest_in_port_nonECA_five = [0, 75.4, 0, 0]#.25817]

Sea_going_eca_five = [866.93852, 76.1, 3.129, 0]#.36490]
harb_in_out_eca_five = [580.63499, 130.7, 2.034, 0]#.51442]
Load_eca_five = [0, 216.2, 0, 0]#.78170]
rest_in_port_eca_five = [0, 46.8, 0, 0]#.25817]

"""
case2 no scrubber MGO/LSMGO
"""
casetwo = 'noscrubber'
Sea_going_nonECA_two = [868.16, 73.301, (3129)*10**-3, (220.85)*10**-3]
harb_in_out_nonECA_two = [868.16, 125.41, (3129)*10**-3, (363.26)*10**-3]
Load_nonECA_two = [0, 208.144, 0, (617.81)*10**-3]
rest_in_port_nonECA_two = [0, 45.73, 0, (119.2)*10**-3]
Sea_going_eca_two = [866.939, 73.198, (3129)*10**-3, (220.85)*10**-3]
harb_in_out_eca_two = [866.939, 125.24, (3129)*10**-3, (363.26)*10**-3]
Load_eca_two = [0, 207.851, 0, (617.81)*10**-3]
rest_in_port_eca_two = [0, 45.663, 0, (119.2)*10**-3]

consumption = np.zeros((365,4),float)

'''
function to calculate cost_consumption
'''
def fuel_oils (my_list, case,Sea_going_nonECA, harb_in_out_nonECA,Load_nonECA, rest_in_port_nonECA, Sea_going_eca,
harb_in_out_eca, Load_eca, rest_in_port_eca , consumption ):

a1 = np.zeros((365,4),float)
a2 = np.zeros((365,4),float)
a3 = np.zeros((365,4),float)
a4 = np.zeros((365,4),float)
a5 = np.zeros((365,4),float)
a6 = np.zeros((365,4),float)
a7 = np.zeros((365,4),float)
a8 = np.zeros((365,4),float)
b1 = np.zeros((365,1),float)
b2 = np.zeros((365,1),float)
b3 = np.zeros((365,1),float)
b4 = np.zeros((365,1),float)
b5 = np.zeros((365,1),float)
b6 = np.zeros((365,1),float)

for i in range(0, 365) :
for k in range (0,4,1):
a1[i][k] = (my_list[i][0])*(Sea_going_nonECA[k])*24
a2[i][k] = (my_list[i][1])*harb_in_out_nonECA[k]*24
a3[i][k] = (my_list[i][2])*Load_nonECA[k]*24
a4[i][k] = (my_list[i][3])*rest_in_port_nonECA[k]*24
a5[i][k] = (my_list[i][4])*(Sea_going_eca[k])*24
a6[i][k] = (my_list[i][5])*harb_in_out_eca[k]*24
a7[i][k] = (my_list[i][6])*Load_eca[k]*24
a8[i][k] = (my_list[i][7])*rest_in_port_eca[k]*24
"""
oomadopihs tw n katanalwsewn
"""
#FO NON ECA

b1[i] = ( a1[i][0] +a1[i][1] + a2[i][0] +a2[i][1] + a3[i][0] +a3[i][1] + a4[i][0] +a4[i][1] )/10**3
#LO NON ECA

b2[i] = ( a1[i][2] +a1[i][3] + a2[i][2] +a2[i][3] + a3[i][2] +a3[i][3] + a4[i][2] +a4[i][3] )/10**3

#FO ECA ( MGO)

b3[i] = ( a5[i][0] +a5[i][1] + a6[i][0] +a6[i][1] + a7[i][0] +a7[i][1] + a8[i][0] +a8[i][1] )/10**3
```

Παράρτημα

```
#LO ECa

b4[i] = ( a5[i][2] + a5[i][3] + a6[i][2] + a6[i][3] + a7[i][3] + a7[i][2] + a8[i][2] + a8[i][3] ) / 10**3

b5[i] = ( a1[i][2] + a2[i][2] + a3[i][2] + a4[i][2] + a5[i][2] + a6[i][2] + a7[i][2] + a8[i][2] ) / 10**3
b6[i] = ( a1[i][3] + a2[i][3] + a3[i][3] + a4[i][3] + a5[i][3] + a6[i][3] + a7[i][3] + a8[i][3] ) / 10**3

"""consumption[i][0] = b1[i]*(1+2/100)
consumption[i][1] = b3[i]*(1+0.18/100)
consumption[i][2] = b2[i]
consumption[i][3] = (b4[i])"""
if (case == 'noscrubber'):

    consumption[i][0] = b1[i]*(1+1/100)
    consumption[i][1] = b3[i]*(1+0.18/100)
    consumption[i][2] = b2[i]
    consumption[i][3] = b4[i]
elif (case == 'scrubber'):

    consumption[i][0] = b1[i]*(1+2/100)
    consumption[i][1] = b3[i]*(1+0.18/100)
    consumption[i][2] = b2[i]
    consumption[i][3] = b4[i]
return consumption
#consumption_one = np.zeros((344,4),float)
fuel_oils(my_list, caseone, Sea_going_nonECA_one, harb_in_out_nonECA_one, Load_nonECA_one, rest_in_port_nonECA_one,
Sea_going_eca_one, harb_in_out_eca_one, Load_eca_one, rest_in_port_eca_one, consumption_one)
fuel_oils(my_list, casethree, Sea_going_nonECA_three, harb_in_out_nonECA_three, Load_nonECA_three,
rest_in_port_nonECA_three, Sea_going_eca_one, harb_in_out_eca_one, Load_eca_one, rest_in_port_eca_one, consumption_three)
fuel_oils(my_list, casetwo, Sea_going_nonECA_two, harb_in_out_nonECA_two, Load_nonECA_two, rest_in_port_nonECA_two,
Sea_going_eca_two, harb_in_out_eca_two, Load_eca_two, rest_in_port_eca_two, consumption_two)
fuel_oils(my_list, casefour, Sea_going_nonECA_four, harb_in_out_nonECA_four, Load_nonECA_four,
rest_in_port_nonECA_four, Sea_going_eca_one, harb_in_out_eca_one, Load_eca_one, rest_in_port_eca_one, consumption_four)
fuel_oils(my_list, casefive, Sea_going_nonECA_five, harb_in_out_nonECA_five, Load_nonECA_five, rest_in_port_nonECA_five,
Sea_going_eca_five, harb_in_out_eca_five, Load_eca_five, rest_in_port_eca_five, consumption_five)

cost_consumption_one = np.zeros((365,4),float)
cost_consumption_two = np.zeros((365,4),float)
cost_consumption_three = np.zeros((365,4),float)
cost_consumption_four = np.zeros((365,4),float)
cost_consumption_five = np.zeros((365,4),float)
for i in range(0, 365) :
    cost_consumption_one[i][0] = consumption_one[i][0]*LSFO
    cost_consumption_one[i][1] = consumption_one[i][1]*MGO
    cost_consumption_one[i][2] = consumption_one[i][2]*BN40
    cost_consumption_one[i][3] = consumption_one[i][3]*BN40
    cost_consumption_two[i][0] = consumption_two[i][0]*MGO
    cost_consumption_two[i][1] = consumption_two[i][1]*LSMGO
    cost_consumption_two[i][2] = consumption_two[i][2]*BN100
    cost_consumption_two[i][3] = consumption_two[i][3]*BN40
    cost_consumption_three[i][0] = consumption_three[i][0]*HFO
    cost_consumption_three[i][1] = consumption_three[i][1]*MGO
    cost_consumption_three[i][2] = consumption_three[i][2]*BN100
    cost_consumption_three[i][3] = consumption_three[i][3]*BN40
    cost_consumption_four[i][0] = consumption_four[i][0]*HFO
    cost_consumption_four[i][1] = consumption_four[i][1]*MGO
    cost_consumption_four[i][2] = consumption_four[i][2]*BN100
    cost_consumption_four[i][3] = consumption_four[i][3]*BN40
    cost_consumption_five[i][0] = consumption_five[i][0]*HFO
    cost_consumption_five[i][1] = consumption_five[i][1]*MGO
    cost_consumption_five[i][2] = consumption_five[i][2]*BN100
    cost_consumption_five[i][3] = consumption_five[i][3]*BN40

#print(cost_consumption_one[55])
cost_one = np.zeros((365,1),float)
cost_two = np.zeros((365,1),float)
cost_three = np.zeros((365,1),float)
```

Παράρτημα

```
cost_four = np.zeros((365,1),float)
cost_five = np.zeros((365,1),float)
SV_one = np.zeros((365,1),float)
SV_two = np.zeros((365,1),float)
SV_three = np.zeros((365,1),float)
SV_four = np.zeros((365,1),float)
SV_five = np.zeros((365,1),float)
"""
ipologismos sinolikou kostous kai apo tis 4 katastasis pleusis
"""
for i in range(0,365) :
    for k in range (0,4):
        cost_one[i] = cost_one[i] +cost_consumption_one[i][k]
        cost_two[i] = cost_two[i] +cost_consumption_two[i][k]
        cost_three[i] =cost_three[i] + cost_consumption_three[i][k]
        cost_four[i] =cost_four[i] + cost_consumption_four[i][k]
        cost_five[i] = cost_five[i] + cost_consumption_five[i][k]
        SV_one[i] = SV_one[i] +cost_consumption_one[i][k]
        SV_two[i] = SV_two[i] +cost_consumption_two[i][k]
        SV_three[i] =SV_three[i] + cost_consumption_three[i][k]
        SV_four[i] =SV_four[i] + cost_consumption_four[i][k]
        SV_five[i] = SV_five[i] + cost_consumption_five[i][k]

    cost_four[i] =(fare)*365 +cost_four[i]
    cost_five[i] =(fare)*365 +cost_five[i]
    cost_three[i] =(fare)*365 +cost_three[i]
    cost_one[i] = fare*365 +cost_one[i]
    cost_two[i] = fare*365 +cost_two[i]

bonus_one = np.zeros((365,1),float)
bonus_two = np.zeros((365,1),float)
bonus_three = np.zeros((365,1),float)
bonus_four = np.zeros((365,1),float)
bonus_five = np.zeros((365,1),float)

for i in range (0,365):
    if (cost_one[i] >= cost_three[i] ):
        bonus_three[i] = (cost_one[i] -cost_three[i])
    if (cost_one[i] >= cost_four[i] ):
        bonus_four[i] = (cost_one[i] -cost_four[i])
    if (cost_one[i] >= cost_five[i] ):
        bonus_five[i] = (cost_one[i] -cost_five[i])
for i in range(0,365) :
    SV_three[i]=SV_one[i]-SV_three[i]
    SV_four[i]= SV_one[i]-SV_four[i]
    SV_five[i]= SV_one[i]-SV_five[i]
"""
scrubber cost

"""
scrubber_cost = 1091693.64
scrubber_fit_cost =545846.82

"""
scrubber operational costs

"""
scrubber_operational_cost = np.zeros((365,1),float)
sludge_price_ton = 139.69
sludge_production = 1.2*0.8*(10**-3)
NaOH_production = 155*(10**-3)*24*365*150/95

#NaOH_production = 155*(10**-3)*24*365
NaOH_price_ton = 150

""" final prices charged to charterer """
```


Παράρτημα

```
sludge_cost = sludge_price_ton*sludge_production
sludge_cost_eca=sludge_cost*25/0.8
NaOH_cost = NaOH_price_ton*NaOH_production
scrubber_maintenance_cost = 0.04*scrubber_cost
#0.04*scrubber_cost
"""
enginner manhour cost to be charged on ship owner
"""
"""total cost in 1 year period for ship owner only for scrubber """
#scrubber_operating_engineer_cost = 0
for i in range (0,365):

    scrubber_operational_cost[i]= scrubber_maintenance_cost+sludge_cost*24*i#NaOH_cost+

"""ship cost without DG"""

ship_cost =22.65*10**6
"""for case 1,2,3"""
DG_3x440 = 350000
"""case 4 4x440"""
DG_4x440 = DG_3x440*4/3
"""case5 3x680"""
DG_3x680 = 450000

"""LOANS"""
loan_one = (DG_3x440+ship_cost)/2
loan_two = loan_one
loan_three = (DG_3x440 + ship_cost +scrubber_cost +scrubber_fit_cost)/2
loan_four = (DG_4x440 + ship_cost +scrubber_cost +scrubber_fit_cost)/2
loan_five = (DG_3x680 + ship_cost +scrubber_cost +scrubber_fit_cost)/2
intrest_rate = 5/100
r = intrest_rate

"""10 years period"""
period = 10 #10yr
n = period
insurance_noscrubber = 120320
insurance_scrubber = 17288 +insurance_noscrubber
operating_cost_noScrubber = insurance_noscrubber/0.12
operating_cost_scrubber = insurance_scrubber/0.12
"""

payment_loan_peryear_one = np.zeros((344,1),float)
payment_loan_peryear_two = np.zeros((344,1),float)
payment_loan_peryear_three = np.zeros((344,1),float)
payment_loan_peryear_four = np.zeros((344,1),float)
payment_loan_peryear_five = np.zeros((344,1),float)
"""

extra_peryear_three = (scrubber_cost+scrubber_fit_cost)/2 *(r*(1+r)**n)/((1+r)**n-1)
extra_peryear_four = (scrubber_cost+scrubber_fit_cost+DG_3x440/3)/2*(r*(1+r)**n)/((1+r)**n-1)
extra_peryear_five = (scrubber_cost+scrubber_fit_cost+ DG_3x680 -DG_3x440)/2*(r*(1+r)**n)/((1+r)**n-1)
plp=0
m=12
plp= np.zeros((0,0),float)

def monthypaymentsto_bank (loan,n,m,r,plp):
    n=m*n
    r=r/m
    plp=loan/(((1+r)**n)-1)/(r*(1+r)**n)
    #plp=loan/(((1+a)**b-1)/(a*(1+a)**b))
    return plp
#isos pw apla oti plp=0 mesa stin function same same e?
payment_loan_peryear_four=0
payment_loan_peryear_one=0
payment_loan_peryear_two=0
payment_loan_peryear_three=0
```

Παράρτημα

```
payment_loan_peryear_five=0
payment_loan_peryear_one=monlthpaymentsto_bank(loan_one, n, m, r,payment_loan_peryear_one )
payment_loan_peryear_two=monlthpaymentsto_bank(loan_two, n, m, r,payment_loan_peryear_two )
payment_loan_peryear_three=monlthpaymentsto_bank(loan_three, n, m, r,payment_loan_peryear_three )
payment_loan_peryear_four=monlthpaymentsto_bank(loan_four, n, m, r,payment_loan_peryear_four )
payment_loan_peryear_five=monlthpaymentsto_bank(loan_five, n, m, r,payment_loan_peryear_five )

"""
owner expenses per year
"""
outcome_five=np.zeros((365,1),float)
outcome_four=np.zeros((365,1),float)
outcome_three=np.zeros((365,1),float)
outcome_one=np.zeros((365,1),float)
for i in range(0,365):

    outcome_one[i] = payment_loan_peryear_one*12 + operating_cost_noScrubber
    outcome_two = payment_loan_peryear_two*12 + operating_cost_noScrubber
    outcome_three[i] = payment_loan_peryear_three*12 + operating_cost_scrubber + scrubber_operational_cost[i]
    outcome_four[i] = payment_loan_peryear_four*12 + operating_cost_scrubber + scrubber_operational_cost[i]
    outcome_five[i] = payment_loan_peryear_five*12 + operating_cost_scrubber +scrubber_operational_cost[i]
"""

charter expenses per year

"""
charter_one = np.zeros((365,1),float)
charter_two = np.zeros((365,1),float)
charter_three = np.zeros((365,1),float)
charter_four = np.zeros((365,1),float)
charter_five = np.zeros((365,1),float)

for i in range(0,365):
    charter_one[i] = cost_one[i]+bonus_one[i]*ratio
    charter_two[i] = cost_two[i]+bonus_two[i]*ratio
    charter_three[i] = cost_three[i]+bonus_three[i]*ratio
    charter_four[i] = cost_four[i]+bonus_four[i]*ratio
    charter_five[i] = cost_five[i]+bonus_five[i]*ratio
"""

income for owner per year

"""
income_onwer_one = np.zeros((365,1),float)
income_onwer_two = np.zeros((365,1),float)
income_onwer_three = np.zeros((365,1),float)
income_onwer_four = np.zeros((365,1),float)
income_onwer_five = np.zeros((365,1),float)
for i in range(0,365) :
    income_onwer_one[i] = fare*365
    income_onwer_two[i] = fare*365 +bonus_two[i]*ratio
    income_onwer_three[i] = fare*365 +bonus_three[i]*ratio
    income_onwer_four[i] = fare*365 +bonus_four[i]*ratio
    income_onwer_five[i] = fare*365 +bonus_five[i]*ratio

"""

profit for owner per year

"""
profit_onwer_one = np.zeros((365,1),float)
profit_onwer_two = np.zeros((365,1),float)
profit_onwer_three = np.zeros((365,1),float)
profit_onwer_four = np.zeros((365,1),float)
profit_onwer_five = np.zeros((365,1),float)
for i in range(0,365):
```

Παράρτημα

```
profit_onwer_one[i] = income_onwer_one[i] - outcome_one[i]#-loan_one/10
profit_onwer_two[i] = income_onwer_two[i] - outcome_two# -loan_two/10
profit_onwer_three[i] = income_onwer_three[i] - outcome_three[i]#-loan_three/10
profit_onwer_four[i] = income_onwer_four[i] - outcome_four[i]#-loan_four/10
profit_onwer_five[i] = income_onwer_five[i] - outcome_five[i]#-loan_five/10

"""
DPP
"""
DPPa = np.zeros((365,1),float)
DPP_one= np.zeros((365,1),float)
DPP_two= np.zeros((365,1),float)
DPP_three= np.zeros((365,1),float)
DPP_four= np.zeros((365,1),float)
DPP_five= np.zeros((365,1),float)
profit= np.zeros((365,1),float)

def disc (loan,rate,profit,DPPa):
    for i in range(0,365):
        a = np.log((1-((loan*rate)/profit[i])))
        b=np.log((1+rate))
        DPPa[i]=-a/b
    return DPPa
disc(loan_one,r1,profit_onwer_one,DPP_one)
disc(loan_three,r1,profit_onwer_three,DPP_three)
disc(loan_four,r1,profit_onwer_four,DPP_four)
disc(loan_five,r1,profit_onwer_five,DPP_five)

"""
NPV
"""
revenue_onwer_one = np.zeros((365,1),float)
revenue_onwer_two = np.zeros((365,1),float)
revenue_onwer_three = np.zeros((365,1),float)
revenue_onwer_four = np.zeros((365,1),float)
revenue_onwer_five = np.zeros((365,1),float)
for i in range(0,365):
    revenue_onwer_one[i] = np.npv(r1,[-loan_one ,income_onwer_one[i]-outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-
outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-
outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-
outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-outcome_one[i] ])
    revenue_onwer_two[i] = np.npv(r1,[-loan_two ,income_onwer_two[i]-outcome_two ,income_onwer_two[i]-
outcome_two ,income_onwer_two[i]-outcome_two ,income_onwer_two[i]-outcome_two ,income_onwer_two[i]-
outcome_two ,income_onwer_two[i]-outcome_two ,income_onwer_two[i]-outcome_two ,income_onwer_two[i]-
outcome_two ,income_onwer_two[i]-outcome_two ,income_onwer_two[i]-outcome_two ])
    revenue_onwer_three[i] = np.npv(r1, [-loan_three , income_onwer_three[i]-outcome_three[i], income_onwer_three[i]-
outcome_three[i], income_onwer_three[i]-outcome_three[i], income_onwer_three[i]-outcome_three[i], income_onwer_three[i]-
outcome_three[i], income_onwer_three[i]-outcome_three[i], income_onwer_three[i]-outcome_three[i], income_onwer_three[i]-
outcome_three[i], income_onwer_three[i]-outcome_three[i], income_onwer_three[i]-outcome_three[i] ])
    revenue_onwer_four[i] = np.npv(r1, [-loan_four , income_onwer_four[i]-outcome_four[i], income_onwer_four[i]-
outcome_four[i], income_onwer_four[i]-outcome_four[i], income_onwer_four[i]-outcome_four[i], income_onwer_four[i]-
outcome_four[i], income_onwer_four[i]-outcome_four[i], income_onwer_four[i]-outcome_four[i], income_onwer_four[i]-
outcome_four[i], income_onwer_four[i]-outcome_four[i], income_onwer_four[i]-outcome_four[i] ])
    revenue_onwer_five[i] = np.npv(r1, [-loan_five , income_onwer_five[i]-outcome_five[i], income_onwer_five[i]-
outcome_five[i], income_onwer_five[i]-outcome_five[i], income_onwer_five[i]-outcome_five[i], income_onwer_five[i]-
outcome_five[i], income_onwer_five[i]-outcome_five[i], income_onwer_five[i]-outcome_five[i], income_onwer_five[i]-
outcome_five[i], income_onwer_five[i]-outcome_five[i], income_onwer_five[i]-outcome_five[i] ])

"""
Irr
"""
irr_one = np.zeros((365,1),float)
irr_two = np.zeros((365,1),float)
irr_three = np.zeros((365,1),float)
irr_four = np.zeros((365,1),float)
irr_five = np.zeros((365,1),float)

irr_three_2 = np.zeros((365,1),float)
irr_one_2 = np.zeros((365,1),float)
```

Παράρτημα

```
def irr_ (loan_three,income_onwer_three,outcome_three,irr_three_2):
    for i in range(0,365):
        irr_three_2[i] = np.irr([-loan_three,income_onwer_three[i]-outcome_three[i],income_onwer_three[i]-
outcome_three[i],income_onwer_three[i]-outcome_three[i],income_onwer_three[i]-outcome_three[i],income_onwer_three[i]-
outcome_three[i],income_onwer_three[i]-outcome_three[i],income_onwer_three[i]-outcome_three[i],income_onwer_three[i]-
outcome_three[i],income_onwer_three[i]-outcome_three[i],income_onwer_three[i]-outcome_three[i]])
        irr_three_2[i]=irr_three_2[i]*100
    return irr_three_2

irr_ (loan_one,income_onwer_one,outcome_one,irr_one)
irr_ (loan_three,income_onwer_three,outcome_three,irr_three)
irr_ (loan_four,income_onwer_four,outcome_four,irr_four)
irr_ (loan_five,income_onwer_five,outcome_five,irr_five)

from matplotlib import pyplot as plt

"""
irr plots
"""

plt.plot(days,irr_one,'b-.',label='Case 1')
plt.plot(days,irr_three,'m-.',label='Case 2')
plt.plot(days,irr_four,'c-',label='Case 3')
plt.plot(days,irr_five,'g-',label='Case 4')

plt.xlabel('days in eca zone',color='black')
plt.ylabel(' %irr',color='black')
plt.title("IRR'+ ' - ' + senaria_fuel[x])
plt.legend(loc=0, fontsize = 'xx-small')
plt.show()

"""
daily exrta expenses DUE to scrubber
"""

extra_peryear_three = (scrubber_cost+scrubber_fit_cost)/2 *(r*(1+r)**n)/((1+r)**n-1)
extra_peryear_four = (scrubber_cost+scrubber_fit_cost+DG_3x440/3)/2*(r*(1+r)**n)/((1+r)**n-1)
extra_peryear_five = (scrubber_cost+scrubber_fit_cost+ DG_3x680 -DG_3x440)/2*(r*(1+r)**n)/((1+r)**n-1)
operating_cost_noScrubber = insurance_noscrubber/0.12
operating_cost_scrubber = insurance_scrubber/0.12
payment_loan_peryear_one #gia ti dosi koino gia ola
daily_exp_three_added= (extra_peryear_three + operating_cost_scrubber-
operating_cost_noScrubber+scrubber_operational_cost)/365
daily_exp_four_added = (extra_peryear_four+ operating_cost_scrubber-
operating_cost_noScrubber+scrubber_operational_cost)/365
daily_exp_five_added = (extra_peryear_five+operating_cost_scrubber-
operating_cost_noScrubber+scrubber_operational_cost)/365
daily_exp_one = (payment_loan_peryear_one+operating_cost_scrubber+scrubber_operational_cost)/365
"""
owners revenue NPV
"""
plt.plot(days,revenue_onwer_one*10**-6,'b-.',label='Case 1')
plt.plot(days,revenue_onwer_three*10**-6,'m-.',label='Case 2')
plt.plot(days,revenue_onwer_four*10**-6,'c-',label='Case 3')
plt.plot(days,revenue_onwer_five*10**-6,'g-',label='Case 4')
plt.xlabel('ECA days',color='black')
plt.ylabel(' Million $ ',color='black')
plt.title(' NPV' + ' - ' + senaria_fuel[x] ) #+ ', ' + senaria_bonus[y])
plt.legend(loc=0, fontsize = 'xx-small')
plt.show()
"""
DPP
"""
```

Παράρτημα

```
print(senaria_fuel[x],senaria_bonus[y])
print(profit_onwer_one[90], 'profit per yr case1')
print (profit_onwer_five[90], 'profit per yr case4')
print(revenue_onwer_one[90], 'NPV case1')
print(revenue_onwer_five[90], 'NPV case4')
plt.plot(days,DPP_one,'b-', label='Case 1')
plt.plot(days,DPP_three,'m-', label='Case 2')
plt.plot(days,DPP_four,'c-', label='Case 3')
plt.plot(days,DPP_five,'g-', label='Case 4')
plt.xlabel('ECA days',color='black')
plt.ylabel(' Years ',color='black')
plt.title('DPP' + ' - ' + senaria_fuel[x] )# '+' + senaria_bonus[y])
plt.legend(loc=0, fontsize = 'xx-small')
plt.show()

"""
owners profit per year no npv
"""
plt.plot(days,profit_onwer_one/365,'b-', label='Case 1')
plt.plot(days,profit_onwer_three/365,'m-', label='Case 2')
plt.plot(days,profit_onwer_four/365,'c-', label='Case 3')
plt.plot(days,profit_onwer_five/365,'g-', label='Case 4')
plt.xlabel('ECA days',color='black')
plt.ylabel(' $ ',color='black')
plt.title('Owners Daily Profit ' + ' - ' + senaria_fuel[x] )# '+' + senaria_bonus[y])
plt.legend(loc=0, fontsize = 'xx-small')
plt.show()

"""
PLOT gia na ipologisw posa dollaria eksikonmw ana imera
logo xrhshs scrubber
"""
plt.plot(days,SV_three/365,'m-', label='Case 2')
plt.plot(days,SV_four/365,'c-', label='Case 3')
plt.plot(days,SV_five/365,'g-', label='Case 4')
plt.xlabel('ECA days',color='black')
plt.ylabel(' $ ',color='black')
plt.title(' Daily Savings ' + ' - ' + senaria_fuel[x] )# '+' + senaria_bonus[y])
plt.legend(loc=0, fontsize = 'xx-small')
plt.show()
print('IRR')
print(irr_one[99], 'case1')
print(irr_five[99], 'case4')
print('DPP')
print(DPP_one[99], 'case1')
print(DPP_five[99], 'case4')
print('NPV')
print(revenue_onwer_one[99], 'case1')
print(revenue_onwer_five[99], 'case5')
print('saved')
print(bonus_five[99], 'case5')
print('profit')
print(profit_onwer_one[99], 'case 1')
print(profit_onwer_five[99], 'case 5 ')
print('expenses')
print(outcome_five[99], 'case 5')
```

Παράρτημα

Python Hybrid Loop

```
import numpy as np
from IPython import get_ipython
get_ipython().magic('reset -sf')

#FUEL AND LUB PRICE
senaria_fuel = ['HL - Optimistic' , 'HL - Average' , 'HL - Pessimistic']
ULSFO_all = [700,670,255] # praktika einai to LSMGO
LSMGO_all = [700,670,255] #eca areas = ulsfo

LSFO_all = [517,416,315] #0.5 for non eca area
MGO_all = [584,481,378] #
HFO_all = [233,245,257] # scrubber fuel
r1_all = [8/100 , 12/100]
senaria_bonus = ['bonus-optimistic' , 'bonus-avg' , 'bonus-pessimistic']
ratio_all = [1 , 1 , 0.6]

n = 3
v = 3
nn = 6
vv = 2
IRR_all = []
for x in range(n):
    IRR_all.append([])
    for y in range(n):
        IRR_all[x].append([])
        for z in range(nn):
            IRR_all[x][y].append([])
            for k in range(vv):
                IRR_all[x][y][z].append(0)

PV_all = []

for x in range(n):
    PV_all.append([])
    for y in range(n):
        PV_all[x].append([])
        for z in range(nn):
            PV_all[x][y].append([])
            for k in range(vv):
                PV_all[x][y][z].append(0)

NPV_all = []

for x in range(n):
    NPV_all.append([])
    for y in range(n):
        NPV_all[x].append([])
        for z in range(nn):
            NPV_all[x][y].append([])
            for k in range(vv):
                NPV_all[x][y][z].append(0)

"""
main
"""
for z in range(0,1):
    for y in range(1,2):
        for x in range(0,3):
            fare = 12000
            HFO = HFO_all[x]
            LSFO = LSFO_all[x]
```

Παράρτημα

```
ULSFO = ULSFO_all[x]
MGO = MGO_all[x]
LSMGO = LSMGO_all[x]
kg_lt = 0.932
BN40 = 525*10*kg_lt
BN100 = 585*10*kg_lt
"""
r1= discount rate for NPV , PV for 4,8,12
"""
r1 = r1_all[z]

"""
ratio for bonus
"""
ratio = ratio_all[y]

dayseca = 0
ratiosailport = 1 #70% sail, 30% port
totaldays = 365
my_list = []
my1_list = []
num = 0
consumption = []
consumption = np.zeros((365,4),float)
consumption_one = np.zeros((365,4),float)
consumption_two = np.zeros((365,4),float)
consumption_three = np.zeros((365,4),float)
consumption_four = np.zeros((365,4),float)
consumption_five = np.zeros((365,4),float)
days = np.zeros((365,1),float)
days[0] = 0
for i in range(365): # create a list with nested lists
    my_list.append([])
    my1_list.append([])
    for n in range(0):
        my1_list[i].append(0)
        my_list[i].append(0)

while dayseca <= 364 :
    eca =dayseca
    noneca =totaldays-dayseca
    days[num] = dayseca
    travelingECA = eca*ratiosailport
    PortECA = eca*(ratiosailport)
    travelingNONECA = noneca*ratiosailport
    portNONECA = noneca*(ratiosailport)

    #4 cstrgories for non eca
    SGNE = 0.61662*noneca
    HINONE =0.01378*noneca
    LOADNE = 0.1379*noneca
    RIRNE = 0.2317*noneca

    # 4 categories for ECA

    SGE = 0.61662*eca
    HIOE =0.01378*eca
    LOADE = 0.1379*eca
    RiRE = 0.2317*eca

    my_list[num].append(SGNE)
    my_list[num].append(HINONE)
    my_list[num].append (LOADNE)
    my_list[num].append(RIRNE)

    my_list[num].append(SGE)
    my_list[num].append(HIOE)
    my_list[num].append(LOADE)
```

Παράρτημα

```
my_list[num].append (RiRE)

dayseca +=1
num +=1
my_list = np.array(my_list)

"""
case1 no scrubber LSFO/MGO
"""
caseone = 'noscrubber'
# consumption [kg/h] M/E Fuel , D/G Fuel , M/E Lub , D/G Lub
Sea_going_nonECA_one = [880.56184, 71.57636 , 3.129 , 0] #.19877]
harb_in_out_nonECA_one = [589.75925 , 125 , 2.034 , 0] #.32693]
Load_nonECA_one = [0 , 204.18422 , 0 , 0] #.55603]
rest_in_port_nonECA_one = [0 , 47.29703 , 0 , 0] #.10729]

Sea_going_eCA_one = [866.93852, 70.44669 , 3.129 , 0] #.19877]
harb_in_out_eCA_one = [580.63499 , 123.1 , 2.034 , 0] #.32693]
Load_eCA_one = [0 , 200.9685 , 0 , 0] #.55603]
rest_in_port_eCA_one = [0 , 46.55140 , 0 , 0] #.10729]

"""
case3 scrubber HFO 3x440
"""
casethree = 'scrubber'

# consumption [kg/h] M/E Fuel , D/G Fuel , M/E Lub , D/G Lub
Sea_going_nonECA_three = [935.10992 , 117 , 3.65050 , 0] #.36490]
harb_in_out_nonECA_three = [626.29301 , 152.1 , 2.373 , 0] #.51442]
Load_nonECA_three = [0 , 236.8 , 0 , 0] #.78170]
rest_in_port_nonECA_three = [0 , 70.3 , 0 , 0] #.25817]

"""
we use HFO open loop
"""
Sea_going_eCA_three = [935.10992 , 128.9 , 3.65050 , 0] #.36490]
harb_in_out_eCA_three = [626.29301 , 164.83021 , 2.373 , 0] #.51442]
Load_eCA_three = [0 , 249.93237 , 0 , 0] #.78170]
rest_in_port_eCA_three = [0 , 82.66946 , 0 , 0] #.25817]

"""
case4 scrubber HFO 4x440
"""
casefour = 'scrubber'
# consumption [kg/h] M/E Fuel , D/G Fuel , M/E Lub , D/G Lub
Sea_going_nonECA_four = [935.10992 , 117 , 3.65050 , 0] #.36490]
harb_in_out_nonECA_four = [626.29301 , 173.6 , 2.373 , 0] #.51442]
Load_nonECA_four = [0 , 258.2 , 0 , 0] #.78170]
rest_in_port_nonECA_four = [0 , 88.1 , 0 , 0] #.25817]

Sea_going_eCA_four = [935.10992 , 128.92297 , 3.65050 , 0] #.36490]
harb_in_out_eCA_four = [626.29301 , 185.68948 , 2.373 , 0] #.51442]
Load_eCA_four = [0 , 269.84422 , 0 , 0] #.78170]
rest_in_port_eCA_four = [0 , 102.59557 , 0 , 0] #.25817]

"""
case5 scrubber HFO 3x620
"""
casefive = 'scrubber'

# consumption [kg/h] M/E Fuel , D/G Fuel , M/E Lub , D/G Lub
Sea_going_nonECA_five = [935.10992 , 105.0 , 3.65050 , 0] #.36490]
harb_in_out_nonECA_five = [626.29301 , 164.2 , 2.37300 , 0] #.51442]
Load_nonECA_five = [0 , 256 , 0 , 0] #.78170]
rest_in_port_nonECA_five = [0 , 75.4 , 0 , 0] #.25817]
```


Παράρτημα

```
Sea_going_eca_five = [935.10992 , 120.04557 , 3.65050 , 0]#.36490]
harb_in_out_eca_five = [626.29301 , 178.05408 , 2.37300 , 0]#.51442]
Load_eca_five = [0 , 269.84422 , 0 , 0]#.78170]
rest_in_port_eca_five = [0 , 89.289990 , 0 , 0]#.25817]

"""
case2 no scrubber MGO/LSMGO
"""
casetwo = 'noscrubber'
Sea_going_nonECA_two = [868.16 , 73.301 , (3129)*10**-3 , (220.85)*10**-3]
harb_in_out_nonECA_two = [868.16 , 125.41 , (3129)*10**-3 , (363.26)*10**-3]
Load_nonECA_two = [0 , 208.144 , 0 , (617.81)*10**-3 ]
rest_in_port_nonECA_two = [0 , 45.73 , 0 , (119.2)*10**-3]
Sea_going_eca_two = [866.939 , 73.198 , (3129)*10**-3 , (220.85)*10**-3]
harb_in_out_eca_two = [866.939 , 125.24 , (3129)*10**-3 , (363.26)*10**-3]
Load_eca_two = [0 , 207.851 , 0 , (617.81)*10**-3 ]
rest_in_port_eca_two = [0 , 45.663 , 0 , (119.2)*10**-3]

consumption = np.zeros((365,4),float)

'''
function to calculate cost_consumption
'''
def fuel_oils (my_list, case,Sea_going_nonECA, harb_in_out_nonECA,Load_nonECA, rest_in_port_nonECA, Sea_going_eca,
harb_in_out_eca, Load_eca, rest_in_port_eca , consumption ):

a1 = np.zeros((365,4),float)
a2 = np.zeros((365,4),float)
a3 = np.zeros((365,4),float)
a4 = np.zeros((365,4),float)
a5 = np.zeros((365,4),float)
a6 = np.zeros((365,4),float)
a7 = np.zeros((365,4),float)
a8 = np.zeros((365,4),float)
b1 = np.zeros((365,1),float)
b2 = np.zeros((365,1),float)
b3 = np.zeros((365,1),float)
b4 = np.zeros((365,1),float)
b5 = np.zeros((365,1),float)
b6 = np.zeros((365,1),float)

for i in range(0, 365) :
    for k in range (0,4,1):
        a1[i][k] = (my_list[i][0])*(Sea_going_nonECA[k])*24
        a2[i][k] = (my_list[i][1])*harb_in_out_nonECA[k]*24
        a3[i][k] = (my_list[i][2])*Load_nonECA[k]*24
        a4[i][k] = (my_list[i][3])*rest_in_port_nonECA[k]*24
        a5[i][k] = (my_list[i][4])*(Sea_going_eca[k])*24
        a6[i][k] = (my_list[i][5])*harb_in_out_eca[k]*24
        a7[i][k] = (my_list[i][6])*Load_eca[k]*24
        a8[i][k] = (my_list[i][7])*rest_in_port_eca[k]*24

        #FO NON ECA

b1[i] = ( a1[i][0] +a1[i][1] + a2[i][0] +a2[i][1] + a3[i][0] +a3[i][1] + a4[i][0] +a4[i][1] )/10**3
        #LO NON ECA

b2[i] = ( a1[i][2] +a1[i][3] + a2[i][2] +a2[i][3] + a3[i][2] +a3[i][3] + a4[i][2] +a4[i][3] )/10**3

        #FO ECA ( MGO)

b3[i] = ( a5[i][0] +a5[i][1] + a6[i][0] +a6[i][1] + a7[i][0] +a7[i][1] + a8[i][0] +a8[i][1] )/10**3

        #LO ECA
```

Παράρτημα

```
b4[i] = ( a5[i][2] + a5[i][3] + a6[i][2] + a6[i][3] + a7[i][3] + a7[i][2] + a8[i][2] + a8[i][3] ) / 10**3

b5[i] = ( a1[i][2] + a2[i][2] + a3[i][2] + a4[i][2] + a5[i][2] + a6[i][2] + a7[i][2] + a8[i][2] ) / 10**3
b6[i] = ( a1[i][3] + a2[i][3] + a3[i][3] + a4[i][3] + a5[i][3] + a6[i][3] + a7[i][3] + a8[i][3] ) / 10**3

if (case == 'noscrubber'):

    consumption[i][0] = b1[i]*(1+1/100)
    consumption[i][1] = b3[i]*(1+0.18/100)
    consumption[i][2] = b2[i]
    consumption[i][3] = b4[i]
elif (case == 'scrubber'):

    consumption[i][0] = b1[i]*(1+2/100)
    consumption[i][1] = b3[i]*(1+2/100)
    consumption[i][2] = b2[i]
    consumption[i][3] = b4[i]
return consumption
#consumption_one = np.zeros((344,4),float)
fuel_oils(my_list, caseone, Sea_going_nonECA_one, harb_in_out_nonECA_one, Load_nonECA_one, rest_in_port_nonECA_one,
Sea_going_eCA_one, harb_in_out_eCA_one, Load_eCA_one, rest_in_port_eCA_one, consumption_one)
fuel_oils(my_list, casethree, Sea_going_nonECA_three, harb_in_out_nonECA_three, Load_nonECA_three,
rest_in_port_nonECA_three, Sea_going_eCA_three, harb_in_out_eCA_three, Load_eCA_three, rest_in_port_eCA_three,
consumption_three)
fuel_oils(my_list, casetwo, Sea_going_nonECA_two, harb_in_out_nonECA_two, Load_nonECA_two, rest_in_port_nonECA_two,
Sea_going_eCA_two, harb_in_out_eCA_two, Load_eCA_two, rest_in_port_eCA_two, consumption_two)
fuel_oils(my_list, casefour, Sea_going_nonECA_four, harb_in_out_nonECA_four, Load_nonECA_four,
rest_in_port_nonECA_four, Sea_going_eCA_four, harb_in_out_eCA_four, Load_eCA_four, rest_in_port_eCA_four, consumption_four)
fuel_oils(my_list, casefive, Sea_going_nonECA_five, harb_in_out_nonECA_five, Load_nonECA_five, rest_in_port_nonECA_five,
Sea_going_eCA_five, harb_in_out_eCA_five, Load_eCA_five, rest_in_port_eCA_five, consumption_five)

cost_consumption_one = np.zeros((365,4),float)
cost_consumption_two = np.zeros((365,4),float)
cost_consumption_three = np.zeros((365,4),float)
cost_consumption_four = np.zeros((365,4),float)
cost_consumption_five = np.zeros((365,4),float)
for i in range(0, 365) :
    cost_consumption_one[i][0] = consumption_one[i][0]*LSFO
    cost_consumption_one[i][1] = consumption_one[i][1]*MGO
    cost_consumption_one[i][2] = consumption_one[i][2]*BN40
    cost_consumption_one[i][3] = consumption_one[i][3]*BN40
    cost_consumption_two[i][0] = consumption_two[i][0]*MGO
    cost_consumption_two[i][1] = consumption_two[i][1]*LSMGO
    cost_consumption_two[i][2] = consumption_two[i][2]*BN100
    cost_consumption_two[i][3] = consumption_two[i][3]*BN100
    cost_consumption_three[i][0] = consumption_three[i][0]*HFO
    cost_consumption_three[i][1] = consumption_three[i][1]*HFO
    cost_consumption_three[i][2] = consumption_three[i][2]*BN100
    cost_consumption_three[i][3] = consumption_three[i][3]*BN100
    cost_consumption_four[i][0] = consumption_four[i][0]*HFO
    cost_consumption_four[i][1] = consumption_four[i][1]*HFO
    cost_consumption_four[i][2] = consumption_four[i][2]*BN100
    cost_consumption_four[i][3] = consumption_four[i][3]*BN100
    cost_consumption_five[i][0] = consumption_five[i][0]*HFO
    cost_consumption_five[i][1] = consumption_five[i][1]*HFO
    cost_consumption_five[i][2] = consumption_five[i][2]*BN100
    cost_consumption_five[i][3] = consumption_five[i][3]*BN100

#print(cost_consumption_one[55])
cost_one = np.zeros((365,1),float)
cost_two = np.zeros((365,1),float)
cost_three = np.zeros((365,1),float)
cost_four = np.zeros((365,1),float)
cost_five = np.zeros((365,1),float)
SV_one = np.zeros((365,1),float)
SV_two = np.zeros((365,1),float)
SV_three = np.zeros((365,1),float)
```

Παράρτημα

```
SV_four = np.zeros((365,1),float)
SV_five = np.zeros((365,1),float)

for i in range(0,365) :
    for k in range (0,4):
        cost_one[i] = cost_one[i] +cost_consumption_one[i][k]
        cost_two[i] = cost_two[i] +cost_consumption_two[i][k]
        cost_three[i] =cost_three[i] + cost_consumption_three[i][k]
        cost_four[i] =cost_four[i] + cost_consumption_four[i][k]
        cost_five[i] = cost_five[i] + cost_consumption_five[i][k]
        SV_one[i] = SV_one[i] +cost_consumption_one[i][k]
        SV_two[i] = SV_two[i] +cost_consumption_two[i][k]
        SV_three[i] =SV_three[i] + cost_consumption_three[i][k]
        SV_four[i] =SV_four[i] + cost_consumption_four[i][k]
        SV_five[i] = SV_five[i] + cost_consumption_five[i][k]

    cost_four[i] =(fare)*365 +cost_four[i]
    cost_five[i] =(fare)*365 +cost_five[i]
    cost_three[i] =(fare)*365 +cost_three[i]
    cost_one[i] = fare*365 +cost_one[i]
    cost_two[i] = fare*365 +cost_two[i]

bonus_one = np.zeros((365,1),float)
bonus_two = np.zeros((365,1),float)
bonus_three = np.zeros((365,1),float)
bonus_four = np.zeros((365,1),float)
bonus_five = np.zeros((365,1),float)

for i in range (0,365):
    if (cost_one[i] >= cost_three[i] ):
        bonus_three[i] = (cost_one[i] -cost_three[i])
    if (cost_one[i] >= cost_four[i] ):
        bonus_four[i] = (cost_one[i] -cost_four[i])
    if (cost_one[i] >= cost_five[i] ):
        bonus_five[i] = (cost_one[i] -cost_five[i])
for i in range(0,365) :
    SV_three[i]=SV_one[i]-SV_three[i]
    SV_four[i]= SV_one[i]-SV_four[i]
    SV_five[i]= SV_one[i]-SV_five[i]
"""
scrubber cost

"""
scrubber_cost = 1170226.54
scrubber_fit_cost = 585113.27

"""
scrubber operational costs

"""
scrubber_operational_cost = np.zeros((365,1),float)
sludge_price_ton = 139.69
sludge_production = 1.2*0.8*(10**-3)
NaOH_production = 155*(10**-3)*150/95

#NaOH_production = 155*(10**-3)*24*365
NaOH_price_ton = 150

""" final prices charged to charterer """
sludge_cost = sludge_price_ton*sludge_production
sludge_cost_eca=sludge_cost*25/0.8
NaOH_cost = NaOH_price_ton*NaOH_production
scrubber_maintenance_cost = 0.04*scrubber_cost
#0.04*scrubber_cost
#charterer will pay nothing for operational costs just a premium of 2300 usd/day
"""
```

Παράρτημα

```
enginner manhour cost to be charged on ship owner
"""
"""total cost in 1 year period for ship owner only for scrubber """
#scrubber_operating_engineer_cost = 0
for i in range (0,365):

    scrubber_operational_cost[i]= scrubber_maintenance_cost+sludge_cost*(365-
i)*24+NaOH_cost*24*i+sludge_cost_eca*24*i

"""ship cost without DG"""

ship_cost =22.65*10**6
"""for case 1,2,3"""
DG_3x440 = 350000
"""case 4 4x440"""
DG_4x440 = DG_3x440*4/3
"""case5 3x680"""
DG_3x680 = 450000

"""LOANS"""
loan_one = (DG_3x440+ship_cost)/2
loan_two = loan_one
loan_three = (DG_3x440 + ship_cost +scrubber_cost +scrubber_fit_cost)/2
loan_four = (DG_4x440 + ship_cost +scrubber_cost +scrubber_fit_cost)/2
loan_five = (DG_3x680 + ship_cost +scrubber_cost +scrubber_fit_cost)/2
intrest_rate = 5/100
r = intrest_rate

"""10 years period"""
period = 10 #10yr
n = period
insurance_noscrubber = 120320
insurance_scrubber = 17288 +insurance_noscrubber
operating_cost_noScrubber = insurance_noscrubber/0.12
operating_cost_scrubber = insurance_scrubber/0.12

extra_peryear_three = (scrubber_cost+scrubber_fit_cost)/2 *(r*(1+r)**n)/((1+r)**n-1)
extra_peryear_four = (scrubber_cost+scrubber_fit_cost+DG_3x440/3)/2*(r*(1+r)**n)/((1+r)**n-1)
extra_peryear_five = (scrubber_cost+scrubber_fit_cost+ DG_3x680 -DG_3x440)/2*(r*(1+r)**n)/((1+r)**n-1)
plp=0
m=12
plp= np.zeros((0,0),float)

def monthpaymentsto_bank (loan,n,m,r,plp):
    n=m*n
    r=r/m
    plp=loan/(((1+r)**n)-1)/(r*(1+r)**n)
    return plp
payment_loan_peryear_four=0
payment_loan_peryear_one=0
payment_loan_peryear_two=0
payment_loan_peryear_three=0
payment_loan_peryear_five=0
payment_loan_peryear_one=monthpaymentsto_bank(loan_one, n, m, r,payment_loan_peryear_one )
payment_loan_peryear_two=monthpaymentsto_bank(loan_two, n, m, r,payment_loan_peryear_two )
payment_loan_peryear_three=monthpaymentsto_bank(loan_three, n, m, r,payment_loan_peryear_three )
payment_loan_peryear_four=monthpaymentsto_bank(loan_four, n, m, r,payment_loan_peryear_four )
payment_loan_peryear_five=monthpaymentsto_bank(loan_five, n, m, r,payment_loan_peryear_five )

"""
owner expenses per year
"""
outcome_five=np.zeros((365,1),float)
outcome_four=np.zeros((365,1),float)
outcome_three=np.zeros((365,1),float)
outcome_one=np.zeros((365,1),float)
for i in range(0,365):
```

Παράρτημα

```
outcome_one[i] = payment_loan_peryear_one*12 + operating_cost_noScrubber
outcome_two = payment_loan_peryear_two*12 + operating_cost_noScrubber
outcome_three[i] = payment_loan_peryear_three*12 + operating_cost_scrubber + scrubber_operational_cost[i]
outcome_four[i] = payment_loan_peryear_four*12 + operating_cost_scrubber + scrubber_operational_cost[i]
outcome_five[i] = payment_loan_peryear_five*12 + operating_cost_scrubber + scrubber_operational_cost[i]

"""
charter expenses per year
"""
charter_one = np.zeros((365,1),float)
charter_two = np.zeros((365,1),float)
charter_three = np.zeros((365,1),float)
charter_four = np.zeros((365,1),float)
charter_five = np.zeros((365,1),float)

for i in range(0,365):
    charter_one[i] = cost_one[i]+bonus_one[i]*ratio
    charter_two[i] = cost_two[i]+bonus_two[i]*ratio
    charter_three[i] = cost_three[i]+bonus_three[i]*ratio
    charter_four[i] = cost_four[i]+bonus_four[i]*ratio
    charter_five[i] = cost_five[i]+bonus_five[i]*ratio
"""

income for owner per year
"""
income_onwer_one = np.zeros((365,1),float)
income_onwer_two = np.zeros((365,1),float)
income_onwer_three = np.zeros((365,1),float)
income_onwer_four = np.zeros((365,1),float)
income_onwer_five = np.zeros((365,1),float)
for i in range(0,365) :
    income_onwer_one[i] = fare*365
    income_onwer_two[i] = fare*365 +bonus_two[i]*ratio
    income_onwer_three[i] = fare*365 +bonus_three[i]*ratio
    income_onwer_four[i] = fare*365 +bonus_four[i]*ratio
    income_onwer_five[i] = fare*365 +bonus_five[i]*ratio

"""

profit for owner per year
"""
profit_onwer_one = np.zeros((365,1),float)
profit_onwer_two = np.zeros((365,1),float)
profit_onwer_three = np.zeros((365,1),float)
profit_onwer_four = np.zeros((365,1),float)
profit_onwer_five = np.zeros((365,1),float)
for i in range(0,365):
    profit_onwer_one[i] = income_onwer_one[i] - outcome_one[i]#-loan_one/10
    profit_onwer_two[i] = income_onwer_two[i] - outcome_two# -loan_two/10
    profit_onwer_three[i] = income_onwer_three[i] - outcome_three[i]#-loan_three/10
    profit_onwer_four[i] = income_onwer_four[i] - outcome_four[i]#-loan_four/10
    profit_onwer_five[i] = income_onwer_five[i] - outcome_five[i]#-loan_five/10

"""

DPP
"""
DPPa = np.zeros((365,1),float)
DPP_one= np.zeros((365,1),float)
DPP_two= np.zeros((365,1),float)
DPP_three= np.zeros((365,1),float)
DPP_four= np.zeros((365,1),float)
DPP_five= np.zeros((365,1),float)
profit= np.zeros((365,1),float)

def disc (loan,rate,profit,DPPa):
    for i in range(0,365):
        a = np.log((1-((loan*rate)/profit[i])))
        b=np.log((1+rate))
```

Παράρτημα

```
    DPPa[i]=-a/b
    return DPPa
disc(loan_one,r1,profit_onwer_one,DPP_one)
disc(loan_three,r1,profit_onwer_three,DPP_three)
disc(loan_four,r1,profit_onwer_four,DPP_four)
disc(loan_five,r1,profit_onwer_five,DPP_five)

"""
NPV
"""

revenue_onwer_one = np.zeros((365,1),float)
revenue_onwer_two = np.zeros((365,1),float)
revenue_onwer_three = np.zeros((365,1),float)
revenue_onwer_four = np.zeros((365,1),float)
revenue_onwer_five = np.zeros((365,1),float)
for i in range(0,365):
    revenue_onwer_one[i] = np.npv(r1,[-loan_one ,income_onwer_one[i]-outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-
outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-
outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-
outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-outcome_one[i] ,income_onwer_one[i]-outcome_one[i] ])
    revenue_onwer_two[i] = np.npv(r1,[-loan_two,income_onwer_two[i]-outcome_two,income_onwer_two[i]-
outcome_two,income_onwer_two[i]-outcome_two,income_onwer_two[i]-outcome_two,income_onwer_two[i]-
outcome_two,income_onwer_two[i]-outcome_two,income_onwer_two[i]-outcome_two,income_onwer_two[i]-
outcome_two,income_onwer_two[i]-outcome_two,income_onwer_two[i]-outcome_two ])
    revenue_onwer_three[i] = np.npv(r1, [-loan_three , income_onwer_three[i]-outcome_three[i], income_onwer_three[i]-
outcome_three[i], income_onwer_three[i]-outcome_three[i], income_onwer_three[i]-outcome_three[i], income_onwer_three[i]-
outcome_three[i], income_onwer_three[i]-outcome_three[i], income_onwer_three[i]-outcome_three[i], income_onwer_three[i]-
outcome_three[i], income_onwer_three[i]-outcome_three[i], income_onwer_three[i]-outcome_three[i] ])
    revenue_onwer_four[i] = np.npv(r1, [-loan_four , income_onwer_four[i]-outcome_four[i], income_onwer_four[i]-
outcome_four[i], income_onwer_four[i]-outcome_four[i], income_onwer_four[i]-outcome_four[i], income_onwer_four[i]-
outcome_four[i], income_onwer_four[i]-outcome_four[i], income_onwer_four[i]-outcome_four[i], income_onwer_four[i]-
outcome_four[i], income_onwer_four[i]-outcome_four[i], income_onwer_four[i]-outcome_four[i] ])
    revenue_onwer_five[i] = np.npv(r1, [-loan_five, income_onwer_five[i]-outcome_five[i], income_onwer_five[i]-
outcome_five[i], income_onwer_five[i]-outcome_five[i], income_onwer_five[i]-outcome_five[i], income_onwer_five[i]-
outcome_five[i], income_onwer_five[i]-outcome_five[i], income_onwer_five[i]-outcome_five[i], income_onwer_five[i]-
outcome_five[i], income_onwer_five[i]-outcome_five[i], income_onwer_five[i]-outcome_five[i] ])

"""
Irr
"""

irr_one = np.zeros((365,1),float)
irr_two = np.zeros((365,1),float)
irr_three = np.zeros((365,1),float)
irr_four = np.zeros((365,1),float)
irr_five = np.zeros((365,1),float)

irr_three_2 = np.zeros((365,1),float)
irr_one_2 = np.zeros((365,1),float)
def irr_ (loan_three,income_onwer_three,outcome_three,irr_three_2):
    for i in range(0,365):
        irr_three_2[i] = np.irr([-loan_three,income_onwer_three[i]-outcome_three[i],income_onwer_three[i]-
outcome_three[i],income_onwer_three[i]-outcome_three[i],income_onwer_three[i]-outcome_three[i],income_onwer_three[i]-
outcome_three[i],income_onwer_three[i]-outcome_three[i],income_onwer_three[i]-outcome_three[i],income_onwer_three[i]-
outcome_three[i],income_onwer_three[i]-outcome_three[i],income_onwer_three[i]-outcome_three[i]])
        irr_three_2[i]=irr_three_2[i]*100
    return irr_three_2
irr_ (loan_one,income_onwer_one,outcome_one,irr_one)
irr_ (loan_three,income_onwer_three,outcome_three,irr_three)
irr_ (loan_four,income_onwer_four,outcome_four,irr_four)
irr_ (loan_five,income_onwer_five,outcome_five,irr_five)
from matplotlib import pyplot as plt

"""
daily exrta expenses DUE to scrubber
```

Παράρτημα

```
""""
extra_peryear_three = (scrubber_cost+scrubber_fit_cost)/2 *(r*(1+r)**n)/((1+r)**n-1)
extra_peryear_four = (scrubber_cost+scrubber_fit_cost+DG_3x440/3)/2*(r*(1+r)**n)/((1+r)**n-1)
extra_peryear_five = (scrubber_cost+scrubber_fit_cost+ DG_3x680 -DG_3x440)/2*(r*(1+r)**n)/((1+r)**n-1)
operating_cost_noScrubber = insurance_noscrubber/0.12
operating_cost_scrubber = insurance_scrubber/0.12
daily_exp_three_added= (extra_peryear_three + operating_cost_scrubber-
operating_cost_noScrubber+scrubber_operational_cost)/365
daily_exp_four_added = (extra_peryear_four+ operating_cost_scrubber-
operating_cost_noScrubber+scrubber_operational_cost)/365
daily_exp_five_added = (extra_peryear_five+operating_cost_scrubber-
operating_cost_noScrubber+scrubber_operational_cost)/365
daily_exp_one = (payment_loan_peryear_one+operating_cost_scrubber+scrubber_operational_cost)/365
""""

owners revenue NPV
""""

plt.plot(days,revenue_onwer_one*10**-6,'b-',label='Case 1')
plt.plot(days,revenue_onwer_three*10**-6,'m-',label='Case 2')
plt.plot(days,revenue_onwer_four*10**-6,'c-',label='Case 3')
plt.plot(days,revenue_onwer_five*10**-6,'g--',label='Case 4')
plt.xlabel('ECA days',color='black')
plt.ylabel(' Million $ ',color='black')
plt.title(' NPV' + ' - ' + senaria_fuel[x] )# '+', ' + senaria_bonus[y])
plt.legend(loc=0, fontsize = 'xx-small')
plt.show()
""""DPP""""

print(senaria_fuel[x],senaria_bonus[y])
print(profit_onwer_one[90], 'profit per yr case1')
print (profit_onwer_five[90], 'profit per yr case4')
print(revenue_onwer_one[90], 'NPV case1')
print(revenue_onwer_five[90], 'NPV case4')
plt.plot(days,DPP_one,'b-',label='Case 1')
plt.plot(days,DPP_three,'m-',label='Case 2')
plt.plot(days,DPP_four,'c-',label='Case 3')
plt.plot(days,DPP_five,'g--',label='Case 4')
plt.xlabel('ECA days',color='black')
plt.ylabel(' Years ',color='black')
plt.title('DPP' + ' - ' + senaria_fuel[x] )# '+', ' + senaria_bonus[y])
plt.legend(loc=0, fontsize = 'xx-small')
plt.show()

""""
owners profit per year no npv
""""

plt.plot(days,profit_onwer_one/365,'b-',label='Case 1')
plt.plot(days,profit_onwer_three/365,'m-',label='Case 2')
plt.plot(days,profit_onwer_four/365,'c-',label='Case 3')
plt.plot(days,profit_onwer_five/365,'g--',label='Case 4')

plt.xlabel('ECA days',color='black')
plt.ylabel(' $ ',color='black')
plt.title('Owners Daily Profit ' + ' - ' + senaria_fuel[x] )# '+', ' + senaria_bonus[y])
plt.legend(loc=0, fontsize = 'xx-small')
plt.show()

""""
PLOT gia na ipologisw posa dollaria eksikonmw ana imera
logo xrhshs scrubber
""""

plt.plot(days,SV_three/365,'m-',label='Case 2')
plt.plot(days,SV_four/365,'c-',label='Case 3')
plt.plot(days,SV_five/365,'g--',label='Case 4')
plt.xlabel('ECA days',color='black')
plt.ylabel(' $ ',color='black')
plt.title(' Daily Savings ' + ' - ' + senaria_fuel[x] )# '+', ' + senaria_bonus[y])
```

Παράρτημα

```
plt.legend(loc=0, fontsize = 'xx-small')
plt.show()

"""
irr plots
"""
plt.plot(days,irr_one,'b-',label='Case 1')
plt.plot(days,irr_three,'m-', label='Case 2')
plt.plot(days,irr_four,'c-',label='Case 3')
plt.plot(days,irr_five,'g-',label='Case 4')
plt.xlabel('days in eca zone',color='black')
plt.ylabel(' %irr',color='black')
plt.title('IRR'+ ' - ' + senaria_fuel[x])
plt.legend(loc=0, fontsize = 'xx-small')
plt.show()
print('IRR')
print(irr_one[99], 'case1')
print(irr_five[99], 'case4')
print('DPP')
print(DPP_one[99], 'case1')
print(DPP_five[99], 'case4')
print('NPV')
print(revenue_onwer_one[99], 'case1')
print(revenue_onwer_five[99], 'case5')
print('saved')
print(bonus_five[99], 'case5')
print('profit')
print(profit_onwer_one[99], 'case 1')
print(profit_onwer_five[99], 'case 5 ')
print('expenses')
print(outcome_five[99], 'case 5')
```