



---

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

Εργαστήριο Ατμοκινητήρων & Λεβήτων

*Τομέας Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών*

---

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τεχνοοικονομική και περιβαλλοντική μελέτη της  
προμήθειας καυσίμου LNG

Της Φοιτήτριας

Ευθυμίας-Ελεονώρας Μπανάκου

Επιβλέπων

***Καρέλλας Σωτήριος, Αναπληρωτής Καθηγητής,***  
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2016



## Αντί Προλόγου

Η περάτωση της παρούσας διπλωματικής σηματοδοτεί το τέλος των προπτυχιακών μου σπουδών στη σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Σωτήριο Καρέλλα για την ανάθεση αυτού του ενδιαφέροντος θέματος και την επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα του ΕΜΠ και επιστημονικό συνεργάτη του ΕΚΕΤΑ κ. Δημήτριο-Σωτήριο Κουρκούμπα και τον επιστημονικό συνεργάτη του ΕΚΕΤΑ κ. Κωνσταντίνο Σφετσιώρη για την καθοδήγηση και τις επισημάνσεις που παρείχαν, χωρίς τις οποίες η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής θα ήταν αδύνατη. Θα ήταν παράλειψη αν δεν ευχαριστούσα τον Αρχιμηχανικό κ. Φώτη Παγουλάτο και τον Μηχανολόγο Μηχανικό κ. Σταύρο Καΐρη για τη μείζονος σημασίας βοήθειά τους, που συνέβαλε ουσιαστικά στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Ομοίως θα ήθελα να αποδώσω ευχαριστίες στον Μηχανικό κ. Νικόλαο Καστανιά και τον Πλοίαρχο Α κ. Ιωάννη Γαρυφαλάκη για την πολύτιμη βοήθειά τους σε κομβικά σημεία της παρούσας εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση και την υλική και ηθική στήριξη που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## Εισαγωγή

Η μόλυνση του περιβάλλοντος αποτελεί ένα φλέγον ζήτημα που απασχολεί ολοένα και εντονότερα τους πολιτικούς και μη δρώντες παγκοσμίως. Στην κατεύθυνση της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής τα κράτη προωθούν εκτός άλλων, πολιτικές μείωσης των αέριων ρύπων στους τομείς της παραγωγής ενέργειας και των μεταφορών.

Ιδιαίτερα η Ευρωπαϊκή Ένωση θέτοντας ως στόχους την προστασία του περιβάλλοντος, την προάσπιση της υγείας των πολιτών της και την ενεργειακή της ασφάλεια έχει θέσει τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και του φυσικού αερίου υψηλά στην πολιτική της ατζέντα. Η διαφοροποίηση των πηγών φυσικού αερίου, η προμήθεια του οποίου μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε μέσω αγωγών είτε με πλοία σε υγρή μορφή (LNG), οδηγεί στην ασφάλεια παροχής και στην απεξάρτηση από τη Ρωσία, η οποία αποτελεί τον κύριο προμηθευτή φυσικού αερίου της Ευρώπης. Για το λόγο αυτό η Ένωση δίνει έμφαση στη διαμόρφωση του «Νοτίου Διαδρόμου» προμήθειας αερίου. Παράλληλα η ανακάλυψη μεγάλων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων στη νοτιοανατολική Μεσόγειο (κοίτασμα Zohr στην Αίγυπτο, κοιτάσματα Tamar και Leviathan στο Ισραήλ, κοίτασμα Αφροδίτη στην Κύπρο) και η διάθεση των κρατών να εξάγουν μέρος των κοιτασμάτων στην ΕΕ, συμβάλλει στην ασφάλεια παροχής του καυσίμου και στην αύξηση του εμπορίου του LNG, δεδομένων των τεχνικών δυσκολιών κατασκευής υποθαλάσσιων αγωγών σε μεγάλα βάθη, όπως αυτά που απαντώνται νότια της Κρήτης, και της βιωσιμότητας της επένδυσης σε τερματικά εξαγωγής LNG. Το εμπόριο του LNG απευθείας από τη νοτιοανατολική Μεσόγειο και την Αφρική αποδεσμεύει την Ευρώπη από την εισαγωγή φυσικού αερίου μέσω του «Νοτίου Διαδρόμου» χρησιμοποιώντας την Τουρκία ως χώρα διέλευσης.

Λαμβάνοντας υπ' όψη τη δυνατότητα του LNG να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο πλοίων, η εισαγωγή του παρέχει τη δυνατότητα ευρείας χρήσης του ως καύσιμο στον τομέα της ναυτιλίας. Παρότι η ναυτιλία αποτελεί φιλική πρακτική μετακίνησης και εμπορίου αγαθών χάρη στη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και τις χαμηλές εκπομπές ανά όγκο εργασίας, εξαιτίας του παγκοσμιοποιημένου εμπορίου οι εκπομπές έχουν αυξητική τάση σε αντίθεση με τους υπόλοιπους τομείς μεταφορών. Σύμφωνα με τη μελέτη του IMO (International Maritime Organisation), που διεξήχθη το 2014, προέκυψε ότι η ναυτιλία ευθύνεται για το 2,8% των παγκόσμιων ισοδύναμων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και ανέρχονται σε 1,036 εκατομμύρια τόννους  $CO_{2e}$ . Αποσκοπώντας στη μείωση των εκπομπών από τον τομέα της ναυτιλίας αναπτύχθηκαν διεθνείς και ευρωπαϊκοί κανονισμοί και θεσπίστηκαν περιοχές περιορισμένων εκπομπών οξειδίων του θείου και του αζώτου, ενώ υπάρχει πιθανότητα στο μέλλον η Μεσόγειος ν' αποτελέσει νέα περιοχή περιορισμένων εκπομπών.

Στα πλαίσια λοιπόν της προώθησης φιλικότερων προς το περιβάλλον λύσεων στον τομέα της ναυτιλίας εξετάστηκε στην παρούσα εργασία η χρήση του LNG ως καύσιμο στην επιβατηγό ναυτιλία και η προμήθειά του.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την προμήθεια και τον ανεφοδιασμό πλοίων που κινούνται με υγροποιημένο φυσικό αέριο (Liquefied Natural Gas-LNG). Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφονται τα χαρακτηριστικά του καυσίμου, το εμπόριο και η τιμολόγησή του. Επίσης αναφέρονται οι λόγοι που προώθησαν τη χρήση του ως ναυτιλιακό καύσιμο και οι μέθοδοι ανεφοδιασμού του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο καταγράφονται οι κανονισμοί και των νόμοι που διέπουν τον ανεφοδιασμό του LNG. Δεδομένου ότι το LNG είναι νέο καύσιμο στη ναυτιλία παρατηρούνται πολλά νομοθετικά κενά, που σχετίζονται με τον ανεφοδιασμό του. Για το λόγο αυτό παρουσιάζονται οι κανονισμοί και οι νόμοι που, ενώ δε συνδέονται άμεσα με αυτό, χρησιμοποιούνται εξαιτίας της έλλειψης συγκεκριμένου νομοθετικού πλαισίου.

Στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιείται καταγραφή, ανασκόπηση και σύγκριση μελετών που συνδέονται με την αλυσίδα προμήθειας του LNG και τη χρήση του. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων το LNG εξετάζεται ως ναυτιλιακό καύσιμο. Επιπλέον πραγματοποιείται θεωρητική καταγραφή των εννοιών του κύκλου ζωής και των αποτελεσμάτων των ατυχημάτων που μπορούν να συμβούν, όταν το LNG χρησιμοποιείται ως καύσιμο στη ναυτιλία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα σενάρια προμήθειας με γνώμονα την οικονομική βιωσιμότητα και τη βέλτιστη επιλογή σεναρίου για τους εμπλεκόμενους φορείς. Σε πρώτη φάση εξετάζεται η προμήθεια για συγκεκριμένη ζήτηση μικρής κλίμακας και λογική υπογραφής συμβολαίου για την αγορά του καυσίμου. Στη συνέχεια λαμβάνεται υπ' όψη η αύξηση της ζήτησης με την πάροδο των ετών για την επιλογή του καταλληλότερου σεναρίου προμήθειας και η μεταβολή των τιμών των MDO και LNG.

Στο πέμπτο κεφάλαιο μελετώνται με τη μεθοδολογία της ανάλυσης κύκλου ζωής τα περιβαλλοντικά αποτελέσματα των διαφορετικών μεθόδων ανεφοδιασμού και των διαδικασιών που συμμετέχουν σε κάθε μονοπάτι ανεφοδιασμού. Επίσης συγκρίνονται περιβαλλοντικά οι διαφορετικοί τρόποι ανεφοδιασμού, ώστε να βρεθεί ο περιβαλλοντικά φιλικότερος τρόπος προμήθειας και πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας σε μεταβλητές που συμβάλουν στις διαδικασίες της προμήθειας. Τέλος εξετάζεται η περίπτωση ατυχήματος πλοίων κινούμενων με καύσιμο LNG σε αντιδιαστολή με ατυχήματα πλοίων που κινούνται με καύσιμο μαζούτ (Heavy Fuel Oil-HFO).

Στο τελευταίο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα της έρευνας.

## Abstract

It is widely accepted that climate change and energy security are two issues that concern the European Union. In addition, marine fuels are accused of sea and air pollution. In the context of combating climate change and achieving energy security and healthy living environment for the citizens of the EU, Commission promotes the use of liquefied natural gas as marine fuel. The contamination of the atmosphere and the seas led to the adoption of legislation measures aiming at creating low emission zones called emission control areas (ECA). In Europe those areas are limited on the north sea, but it is likely in the future similar measures to be adopted in the Mediterranean Sea as well. In accordance to the European legislation and policy and the possibility of transforming the Mediterranean into a new ECA, natural gas suppliers and potential LNG suppliers in collaboration with the busiest ports are studying scenarios that include transportation, storage and supply of ships with LNG. The target is to determine, if LNG as fuel is a viable alternative.

This thesis studies the economic viability and the environmental performance of different supply scenarios of LNG fuel from the import terminal to major ports. Contemplated transfer scenarios include LNG trucks for transfer through the transportation network, LNG bunker vessels or RoRo vessels with or without LNG storage tank in ports. RoRo vessels will be used for maritime transport of LNG trucks through ports. For larger volumes, an LNG bunker vessel will be used. When storage tanks are necessary, the ports act as intermediate terminals. The aim is the supply of RoPax ships, given the importance of maritime transport and tourism in the Aegean. Initially the economic analysis focuses on small scale distribution of fuel. Subsequently growing demand in LNG demand is taken into consideration. The environmental assessment aims at the determination of the most eco-friendly method of the LNG supply. Last but not least the impact of accidents with LNG fuelled vessels is evaluated in contrast to HFO fuelled vessels.

## Περιεχόμενα

Αντί Προλόγου.....	1
Εισαγωγή .....	2
Περίληψη.....	3
Abstract.....	4
Περιεχόμενα.....	5
Κεφάλαιο 1 Εμπόριο και Ανεφοδιασμός Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου.....	7
1.1. Ορισμός και Χαρακτηριστικά Καυσίμου.....	7
1.2. Εμπόριο Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου.....	8
1.2.1. Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο στην Ευρώπη.....	9
1.3. Διαμόρφωση Τιμής LNG.....	10
1.3.1. Συστήματα Τιμολόγησης.....	10
1.3.2. Διαμόρφωση Τιμής LNG Ανά την Υφήλιο.....	11
1.3.3. Η αγορά του LNG.....	11
1.3.4. Συμβόλαια.....	12
1.3.5. Αγορά του LNG και Τιμολόγηση στην Ευρώπη.....	13
1.3.6. Αγορά του Φυσικού Αερίου στην Ελλάδα.....	13
1.4. Περιοχές Περιορισμένων Εκπομπών .....	14
1.5. Εναλλακτικές Μέθοδοι Μείωσης των Ρύπων.....	15
1.6. Ανεφοδιασμός Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου.....	16
1.7. Μηχανές Πλοίων που κινούνται με καύσιμο το LNG.....	19
1.7.1. Μηχανές Διπλού Καυσίμου (Dual Fuel Engines).....	19
1.7.2. Κινητήρες φυσικού αερίου .....	19
Κεφάλαιο 2 Νομοθεσία LNG .....	21
2.1 Διεθνείς Κανονισμοί.....	21
2.2 Ευρωπαϊκοί Κανονισμοί .....	23
2.3 Εθνικές Νομοθεσίες.....	24
2.3.1 Νορβηγία.....	24
2.3.2 Δανία.....	25
2.3.3 Σουηδία.....	26
2.3.4 Γερμανία .....	27
2.3.5 Ολλανδία.....	27
2.4 Η Πετρέλευση στην Ελλάδα.....	28
Κεφάλαιο 3 Ανάλυση Κύκλου Ζωής και Ατυχήματα με LNG πλοία.....	31
3.1 Θεωρία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	31
3.2 ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΜΕ LNG.....	33
3.3 Περιπτώσεις Εξέτασης Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Καυσίμου LNG από τη Βιβλιογραφία .....	41

3.3.1 Συνοπτική Παρουσίαση Περιπτώσεων .....	41
3.3.2 Συγκριτική Παρουσίαση των Μελετών.....	53
Κεφάλαιο 4 Τεχνοοικονομική Ανάλυση Προμήθειας LNG.....	60
4.1 Εξεταζόμενα Σενάρια.....	60
4.2 Τεχνοοικονομική Μελέτη Μεθόδων Προμήθειας Καυσίμου LNG.....	63
4.2.1 Προμηθευτής.....	63
4.2.2 Λιμάνι.....	69
4.2.3 Πλοιοκτήτης.....	73
4.2.4 Μετασκευαστής.....	75
4.2.5 Εύρεση Συμφέρουσας Τιμής και Οικονομική Αξιολόγηση.....	75
4.2.6 Προβολή Εξέλιξης Αναγκών και Τιμής.....	108
Κεφάλαιο 5 Προσομοίωση και Μελέτη των Μεθόδων Προμήθειας μέσω της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	130
5.1 Προσομοίωση των Μεθόδων Προμήθειας Καυσίμου LNG.....	130
5.2 Περιγραφή και Αποτελέσματα Τρόπων Μεταφοράς και Ανεφοδιασμού.....	140
5.2.1 Περιγραφή Τρόπων Μεταφοράς.....	140
5.2.2 Σύγκριση Τρόπων Μεταφοράς.....	178
5.2.3 Ανάλυση Ευαισθησίας.....	182
5.3 Σύγκρουση Πλοίων .....	203
5.3.1 Διαρροή καυσίμου.....	204
5.3.2 Φωτιά.....	206
Συμπεράσματα και Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα .....	208
Βιβλιογραφία .....	210



# Κεφάλαιο 1 Εμπόριο και Ανεφοδιασμός Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου

## 1.1 Ορισμός και Χαρακτηριστικά Καυσίμου

Ως υγροποιημένο φυσικό αέριο (Liquified Natural Gas-LNG) ορίζεται το φυσικό αέριο σε υγρή μορφή, που προκύπτει ως αποτέλεσμα μείωσης της θερμοκρασίας κάτω από το σημείο βρασμού στους  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Το LNG αποτελείται κυρίως από μεθάνιο, περιλαμβάνοντας μικρότερες ποσότητες και άλλων υδρογονανθράκων, όπως εθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο και πεντάνιο, όπως παρουσιάζεται και στους πίνακες 1 και 2. Ο όγκος του υγροποιημένου φυσικού αερίου αποτελεί το ένα εξακοσιοστό του όγκου του φυσικού αερίου στην αέρια μορφή του, επιτρέποντας την ευκολότερη διανομή του σε μακρινές αποστάσεις ανά την υφήλιο.

Κατά τη μεταφορά του υγροποιημένου φυσικού αερίου η θερμοκρασία του πρέπει να διατηρείται κάτω από το σημείο βρασμού. Επειδή βρίσκεται σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία, η αποθήκευσή του απαιτεί ειδικό κρυογονικό εξοπλισμό. Εξαιτίας της σχετικά χαμηλής πυκνότητάς του σε (MJ/l) απαιτείται μεγαλύτερος αποθηκευτικός χώρος σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα.[1]

Πίνακας 1 Βασικές Φυσικές και Χημικές Ιδιότητες του Καυσίμου [1, 2]

Χρώμα	Άοσμο
Όσμη	Άχρωμο
Μοριακό Βάρος	16,045 gr
Πυκνότητα	450 kg/m <sup>3</sup>
Σημείο Βρασμού	-161,48 °C
Θερμοκρασία Αυτανάφλεξης	537 °C
Κατώτερο Σημείο Ανάφλεξης στον αέρα	4,5%
Ανώτερο Σημείο Ανάφλεξης στον Αέρα	16,5%
Σημείο Βρασμού	-187,8 °C
Πυκνότητα Ατμού (σε σχέση με αέρα)	0,55

Πίνακας 2 Περιεχόμενοι υδρογονάνθρακες [2]

Στοιχείο/Ένωση	Χημικός Τύπος	Χαμηλό Ποσοστό Περιεκτικότητας	Υψηλό Ποσοστό Περιεκτικότητας
Μεθάνιο	CH <sub>4</sub>	87%	99%
Εθάνιο	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	<1%	10%
Προπάνιο	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	>1%	5%
Βουτάνιο	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	>1%	>1%
Άζωτο	N <sub>2</sub>	0,1%	1%
Άλλοι Υδρογονάνθρακες	-	Πολύ χαμηλή περιεκτικότητα (ίχνος)	Πολύ χαμηλή περιεκτικότητα (ίχνος)

## 1.2 Εμπόριο Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου

Το φυσικό αέριο καλύπτει το ένα τέταρτο της ενεργειακής ζήτησης παγκοσμίως, το 10% της κάλυψης της οποίας προέρχεται από το LNG. Η εμπορευόμενη ποσότητα του LNG τα τελευταία χρόνια συνεχώς αυξάνεται. Αυτό οφείλεται αφενός στις περισσότερες χώρες που παράγουν και εξάγουν το υγροποιημένο φυσικό αέριο, αφετέρου στις αυξανόμενες ποσότητες που ζητούνται από τις χώρες εισαγωγής.

Το εμπόριο του LNG τα τελευταία χρόνια μεταβάλλεται, όχι μόνο εξαιτίας του μεταβαλλόμενου αριθμού των χωρών εισαγωγής και εξαγωγής του καυσίμου αλλά και της εισαγωγής του συστήματος μεταπώλησης εισαγόμενου καυσίμου (arbitrage). Παγκοσμίως η εμπορευόμενη ποσότητα του LNG αυξήθηκε κατά 3,4 MT μεταξύ του 2012 και του 2014. Παράλληλα στο ίδιο χρονικό διάστημα αυξήθηκαν οι χώρες εξαγωγής του καυσίμου από 17 σε 19. Το ίδιο συνέβη με τις χώρες μεταπώλησης του καυσίμου που αυξήθηκαν από 6 σε 8, αλλά και τον όγκο μεταπώλησης. Το 2012 η μεταπώληση ανερχόταν σε 3,4 MT, ενώ το 2014 ανήλθε σε 6,4 MT.

Το 2015 το εμπόριο του LNG έφτασε τους 244,5 MT· ποσότητα μεγαλύτερη από κάθε άλλη χρονιά. Ωστόσο οι χώρες εξαγωγής μειώθηκαν σε 17, ενώ οι χώρες μεταπώλησης αυξήθηκαν σε 10.

Ο μεγαλύτερος εξαγωγέας υγροποιημένου φυσικού αερίου για το 2014, όπως και τα τελευταία χρόνια, είναι το Κατάρ. Δεύτερη σε εξαγωγές έρχεται η Μαλαισία και τρίτη η Αυστραλία. Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται οι δέκα μεγαλύτεροι εξαγωγείς για το 2015.

**Πίνακας 3 10 Κυριότερες Χώρες Εξαγωγής LNG για το 2015[3]**

<b>Χώρα Εξαγωγής</b>	<b>Εξαγόμενη Ποσότητα (MT)</b>
Κατάρ	77,8
Αυστραλία	29,4
Μαλαισία	25
Νιγηρία	20,4
Ινδονησία	16,1
Δημοκρατία Τρινιδάντ και Τομπάκο	12,5
Αλγερία	12,1
Ρωσσία	10,9
Ομάν	7,8
Ανεξάρτητο κράτος της Παπούας-Νέας Γουινέας	7

Το 2015 εισήγαγαν LNG 33 χώρες. Σε σχέση με το 2013 προστέθηκαν τέσσερις χώρες, η Αίγυπτος, η Ιορδανία, το Πακιστάν και η Πολωνία. Ο Ειρηνικός Ωκεανός παρέμεινε η κύρια περιοχή εισαγωγής υγροποιημένου φυσικού αερίου το 2014 (εισήγαγε το 60% της παγκόσμιας παραγωγής) με την Ιαπωνία να καταναλώνει το μεγαλύτερο μερίδιο ακολουθούμενη από τη Νότια Κορέα και το Ταιβάν. Η Ευρώπη στη βρίσκεται στη δεύτερη θέση κα η Ασία στην Τρίτη (με κύριες αγορές την Κίνα και την Ινδία). Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται οι δέκα μεγαλύτερες χώρες-εισαγωγείς υγροποιημένου φυσικού αερίου για το 2015.[3, 4]

Πίνακας 4 10 Κυριότερες Χώρες Εισαγωγής LNG για το 2016[3]

Χώρα Εισαγωγής	Εισαγόμενη Ποσότητα (MT)
Ιαπωνία	85,6
Νότια Κορέα	33,4
Κίνα	19,8
Ινδία	14,7
Ταϊβάν	14,6
Ηνωμένο Βασίλειο	9,8
Ισπανία	8,9
Τουρκία	5,6
Βραζιλία	5,2
Μεξικό	5,1

### 1.2.1 Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο στην Ευρώπη

Το 2015 υπήρξε η πρώτη χρονιά ύστερα από το 2011 που η εισαγωγή του LNG σημείωσε άνοδο (+ 0,2 MT). Από τις χώρες εισαγωγής της Ευρώπης μόνο η Γαλλία σημείωσε πτώση. Τη μεγαλύτερη αύξηση εισαγωγών σημείωσε το Ηνωμένο Βασίλειο, αν εξαιρέσει κανείς τους νέους εισαγωγείς, ακολουθούμενο από το Βέλγιο. Στον πίνακα 5 παρουσιάζονται οι ευρωπαϊκές χώρες που εισάγουν υγροποιημένο φυσικό αέριο και τα τερματικά εισαγωγής κάθε μιας.[3]

Πίνακας 5 Τερματικά Εισαγωγής στην Ευρώπη Πηγή: IGU World Report 2016

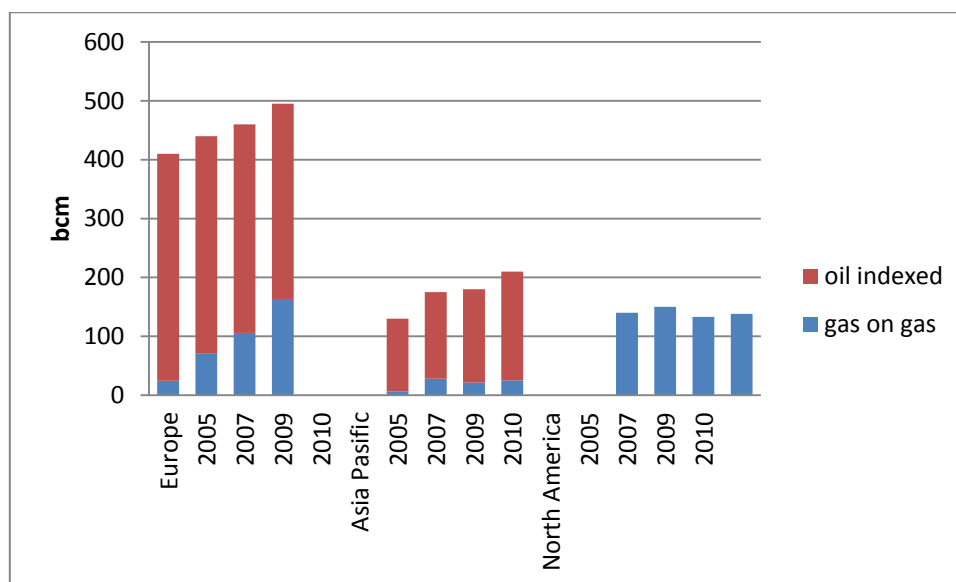
Τερματικό Εισαγωγής	Αποθηκευτική Ικανότητα (MTPA)
<b>Ισπανία</b>	
Barcelona	12,8
Huelva	8,9
Caltagna	7,6
Bilbao	5,3
Saggas	6,7
Mugardos LNG	2,6
El Musel	5,4
<b>Ιταλία</b>	
Panigaglia	2,5
Adriatic LNG	5,8
Livorno	2,7
<b>Γαλλία</b>	
Fos Tonkin	4
Montoir-de-Bretagne	7,3
FosMax LNG	6
<b>Βέλγιο</b>	
Zeebrugge	6,6
<b>Ελλάδα</b>	
Ρεβυθούσα	3,3
<b>Ηνωμένο Βασίλειο</b>	
Grain LNG	15
Teesside GasPort	3
Dragon LNG	4,4
South Hook	15,5
<b>Λιθουανία</b>	

Klaipeda LNG	3
<b>Ολλανδία</b>	
Gate LNG	8,8
<b>Πορτογαλία</b>	
Sines LNG	5,8

### 1.3 Διαμόρφωση Τιμής LNG

#### 1.3.1 Συστήματα Τιμολόγησης

Υπάρχουν δύο βασικά συστήματα τιμολόγησης που εφαρμόζονται στο διεθνές εμπόριο φυσικού αερίου: το σύστημα τιμολόγησης που είναι βασισμένο στις τιμές πετρελαίου σύστημα (oil-indexed) και το σύστημα τιμολόγησης που βασίζεται αποκλειστικά στο φυσικό αέριο (gas-on-gas). Σύμφωνα με την gas-on-gas τιμολόγηση, η τιμή του φυσικού αερίου καθορίζεται από τις τιμές στη σποτ αγορά, οι οποίες προκύπτουν από τις συνθήκες ανταγωνισμού και αλλάζουν ανάλογα με την προσφορά και τη ζήτηση του φυσικού αερίου. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 1, το σύνολο σχεδόν του διεθνούς εμπορίου στη Βόρεια Αμερική χρησιμοποιεί το σύστημα τιμολόγησης gas-on-gas. Σύμφωνα με τη μέθοδο της τιμαριθμικής αναπροσαρμογής με βάση το πετρέλαιο, η τιμή του φυσικού αερίου προσδιορίζεται από τις τιμές της αγοράς σποτ του πετρελαίου (που αλλάζουν ανάλογα με την προσφορά και τη ζήτηση. Στην Ευρώπη, η τιμαριθμική αναπροσαρμογή με βάση το πετρέλαιο είναι κυρίαρχη όσον αφορά στο διεθνές εμπόριο, αλλά η τιμολόγηση gas-on-gas αυξήθηκε σταθερά από το 6% των συναλλαγών το 2005 στο 33% των συναλλαγών το 2010. Στην Ασία, η τιμαριθμική αναπροσαρμογή του πετρελαίου είναι κυρίαρχη, αλλά σε αντίθεση με την Ευρώπη, δεν έχει δείξει μείωση. Για παράδειγμα χρησιμοποιήθηκε για το 88% των συναλλαγών φυσικού αερίου τόσο το 2009 όσο και το 2010.



**Διάγραμμα 1** Συστήματα Τιμολόγησης Φυσικού Αερίου σε Ευρώπη, Ασία και Βόρεια Αμερική *Πηγή IEA, 2013 Developing a Natural Gas Trading Hub in Asia: Obstacles and Opportunities*

Σύμφωνα με την τιμαριθμική αναπροσαρμογή με γνώμονα πετρέλαιο, η ακριβής μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των τιμών του φυσικού αερίου καθορίζεται από συμβόλαιο, οπότε οι μέθοδοι διαφέρουν μεταξύ των συμβολαίων. Σε γενικές γραμμές, η

μέθοδος περιλαμβάνει μία τιμή βάσης συν το μέσο όρο των τιμών του πετρελαίου σε ένα καθορισμένο σημείο αναφοράς για μια προηγούμενη χρονική περίοδο πολλαπλασιαζόμενη με ένα συντελεστή. Ο συντελεστής θέτει ουσιαστικά τη σχέση της τιμής ανά μονάδα ενέργειας του πετρελαίου σε σχέση με το φυσικό αέριο, όταν μια απότομη καμπύλη της μεθόδου τιμολόγησης δείχνει μια σχέση περίπου ένα προς ένα. Ο τύπος μπορεί επίσης να περιλαμβάνει μια συνιστώσα για τη μείωση της τιμής LNG σε υψηλές ή χαμηλές τιμές του πετρελαίου. Αυτό το σύστημα τιμολόγησης προσαρμόζει τις τιμές του φυσικού αερίου στη σχέση προσφοράς και ζήτησης του πετρελαίου, οπότε οι τιμές του φυσικού αερίου μπορούν να συνεχίσουν να αυξάνονται, ακόμη και όταν υπάρχει υπερπροσφορά φυσικού αερίου.

Αντίθετα, το σύστημα τιμολόγησης gas-on-gas αντικατοπτρίζει γενικά την ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης φυσικού αερίου, περιλαμβάνοντας πολλαπλούς προμηθευτές. Καθώς ο λόγος της προσφοράς προς τη ζήτηση μειώνεται, οι τιμές του φυσικού αερίου αυξάνονται, κατάσταση η οποία σύμφωνα με την επικρατούσα θεωρία της προσφοράς και της ζήτησης, μπορεί τόσο να μετριάσει τη ζήτηση όσο και να δώσει ώθηση σε περισσότερες επενδύσεις στην παραγωγή φυσικού αερίου. Αύξηση της παραγωγής φυσικού αερίου στη συνέχεια αυξάνει το λόγο προσφοράς προς ζήτησης, γεγονός που μειώνει τις τιμές, οδηγώντας σε ένα νέο κύκλο συμπεριφοράς των τιμών.[5]

### 1.3.2 Διαμόρφωση Τιμής LNG Παγκοσμίως

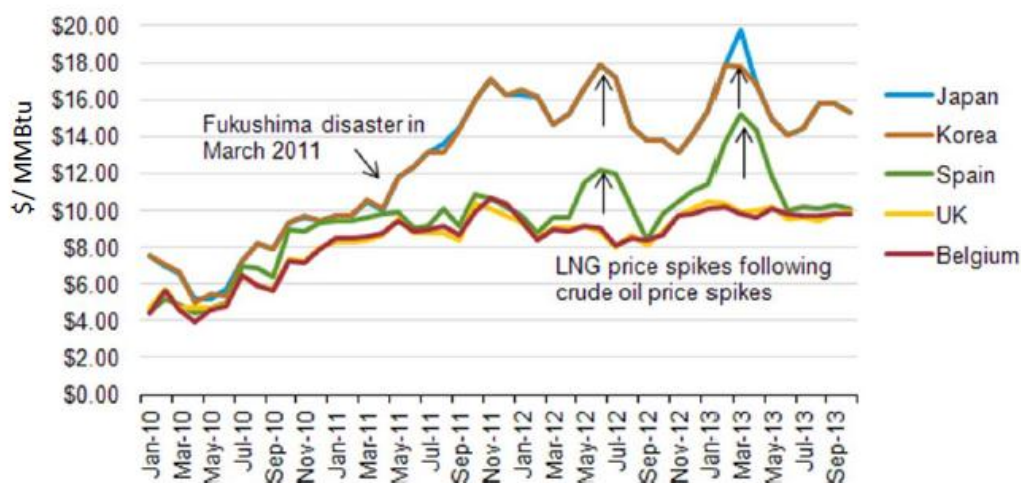
Προς το παρόν δεν έχει διαμορφωθεί μία ενιαία αγορά υδροποιημένου φυσικού αερίου, αλλά υπάρχουν διακριτές περιφερειακές αγορές ανά τον κόσμο (Ασία, Ευρώπη, Βόρεια Αμερική). Μεταξύ των περιφερειακών αγορών παρατηρούνται συχνά σημαντικές αποκλίσεις των τιμών του φυσικού αερίου. Η εντονότερη απόκλιση των τιμών της αγοράς τα τελευταία χρόνια (Διάγραμμα 2) είναι αποτέλεσμα της παρουσίας των δύο διαφορετικών συστημάτων τιμολόγησης, σε συνδυασμό με τις συνθήκες της αγοράς. Οι τελευταίες τονίζουν τις διαφορές του συστήματος τιμολόγησης και τις περιορισμένες ευκαιρίες εξισορροπητικής κερδοσκοπίας (arbitrage). [5]

### 1.3.3 Η αγορά του LNG

Περίπου τα δύο τρίτα του LNG που παράγεται παγκοσμίως παρέχεται με μακροπρόθεσμες συμβάσεις take-or-pay, οι οποίες δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν τις ευκαιρίες εξισορροπητικής κερδοσκοπίας (arbitrage). Οι αποκλίσεις των τιμών καταδεικνύουν ότι οι υπόλοιπες ποσότητες υδροποιημένου φυσικού αερίου (δηλαδή, οι διαθέσιμες ποσότητες για εξισορροπητική κερδοσκοπία) δεν επαρκούν για να δημιουργήσουν μια παγκόσμια αγορά υδροποιημένου φυσικού αερίου. Ωστόσο, φαίνεται πιθανή η σύγκλιση των τιμών, αν συνεχιστεί η τάση της αύξησης της παραγωγής και επαναεριοποίησης του LNG μαζί με το μερίδιο της αγοράς σποτ.

Οι τιμές LNG για τα τελευταία χρόνια φαίνονται στο Διάγραμμα 2 για τους κύριους προορισμούς παράδοσης, με τα βέλη δείχνουν τη χρονική στιγμή της καταστροφής της Φουκουσίμα και εκτίναξη των τιμών του αργού πετρελαίου. Οι ραγδαίες αυξήσεις των τιμών του LNG που παραδόθηκε στην Ισπανία, στην Κορέα και στην Ιαπωνία είναι ενδεικτικές μακροχρόνιων συμβολαίων με τιμαριθμική αναπροσαρμογή στο πετρέλαιο, ενώ αυτές οι αιχμές δεν παρατηρούνται σε παραδόσεις σε άλλους προορισμούς με τιμές LNG σποτ αγοράς. Αυτό εξηγεί τις διαφορές τιμών που ενδέχεται να προκύψουν, όταν η τιμολόγηση του

φυσικού αερίου βρίσκεται σε δύο διαφορετικά συστήματα που βασίζονται σε δύο διαφορετικά εμπορεύματα.[5]



Διάγραμμα 2 Τιμές LNG στην Ευρώπη και την Ανατολική Ασία Πηγή:Global Natural Gas Market Overview, 2014

### 1.3.4 Συμβόλαια

Οι συμβάσεις επηρεάζουν τη ρευστότητα της αγοράς του φυσικού αερίου. Οι παραδοσιακές μακροχρόνιες συμβάσεις LNG ή Συμφωνίες Πώλησης και Αγοράς (Sale and Purchase Agreements -SPA) αναφέρονται στην ποσότητα υγροποιημένου φυσικού αερίου, στην τιμή, στη διάρκεια και στην ευθύνη της μεταφοράς. Η ποσότητα LNG, την οποία ο αγοραστής πρέπει να αγοράσει, είναι συνήθως «take or pay», δηλαδή ο αγοραστής πρέπει να πληρώσει για τις συμφωνηθείσες ποσότητες, ανεξάρτητα από το αν θα τις παραλάβει ή όχι. Μια αρχική περίοδος "buildup" που δεν υπόκειται στις απαιτήσεις take-or-pay μπορεί να καθοριστεί για να επιτραπεί στην αγορά της χώρας εισαγωγής να απορροφήσει τις ποσότητες, να βρει αγοραστής και να προσαρμόσει το χρόνο ολοκλήρωσης των εγκαταστάσεων υγροποίησης, εξαιτίας πιθανών καθυστερήσεων. Αφού τελειώσει η buildup περίοδος, η ποσότητα παραμένει γενικά σταθερή σε όλη τη διάρκεια της σύμβασης, αν και μπορεί να υπάρχει κάποια περιορισμένη ευελιξία όγκου, η οποία επιτρέπει στον αγοραστή να μειώσει την υποχρέωση αγοράς συγκεκριμένου όγκου για ένα σταθερό ποσό, συνήθως περίπου 5%. Αυτές οι παραδοσιακές ενδείξεις των μακροπρόθεσμων συμβάσεων αλλάζουν, με έναν αυξανόμενο αριθμό των συμβάσεων που ενσωματώνουν επιλογές εκτροπής πορείας του καυσίμου, επιτρέποντας σε έναν αγοραστή να δρομολογήσει εκ νέου αποστολές υγροποιημένου φυσικού αερίου, το οποίο παραλαμβάνει..

Τα τελευταία χρόνια, έχουν προωθηθεί αλλαγές στους όρους των μακροπρόθεσμων συμβάσεων, λόγω των γενικά χαμηλότερων τιμών του φυσικού αερίου που προκύπτουν από την gas-on-gas τιμολόγηση σε σύγκριση με τη μέθοδο τιμαριθμικής αναπροσαρμογής. Εκτός από τις ρήτρες που επιτρέπουν τη μεταπώληση του φορτίου, μακροπρόθεσμες συμβάσεις χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο υβριδικά συστήματα τιμολόγησης, στα οποία ένα τμήμα του σταθερού όγκου πωλήσεων (π.χ., 10% έως 30%) μπορεί να τιμολογηθεί με τη μέθοδο gas-on-gas και το υπόλοιπο με τη μέθοδο της τιμαριθμικής αναπροσαρμογής με βάση το πετρέλαιο. Ένας τρίτος τομέας αλλαγής των μακροπρόθεσμων συμβάσεων είναι η

συμπερίληψη ευκαιριών για νέους κύκλους διαπραγματεύσεων της τιμής (π.χ. κάθε 5 χρόνια).

Σε αντίθεση με τις μακροπρόθεσμες συμβάσεις, οι βραχυπρόθεσμες και οι συμβάσεις του εμπορίου σποτ συνήθως περιλαμβάνουν μία επιλογή που επιτρέπει τη μεταπώληση του συρρικνωμένου (υπολειπόμενου) φορτίου. Η IGU αναφέρει ότι ο κύριος παράγοντας για την αύξηση του εμπορίου σποτ και των βραχυπρόθεσμων συμβολαίων υπήρξε η αυξημένη χρήση των δυνατοτήτων μεταπώλησης σε ευέλικτες συμβάσεις (βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες), που επιτρέπει στις εταιρείες την εξισορροπητική κερδοσκοπία.[5]

### 1.3.5 Αγορά του LNG και Τιμολόγηση στην Ευρώπη

Οι δύο αντιτιθέμενες ιδεολογίες στις Ευρωπαϊκές συμβάσεις φυσικού αερίου αντιπροσωπεύονται από τις παραδοσιακές συμβάσεις τιμαριθμικής αναπροσαρμογής με βάση το πετρέλαιο και από τις αγορές σποτ όπου οι τιμές είναι διαπραγματεύσιμες. Συμπτωματικά, οι δύο μεγαλύτερες αγορές φυσικού αερίου στην Ευρώπη, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Γερμανία, αποτελούν τις βάσεις των δύο αντιτιθέμενων ιδεολογιών και τις τοποθεσίες των δύο σημείων αναφοράς των τιμών, που έχουν γίνει καθολικά αποδεκτές ως η πιο αντιπροσωπευτικές τιμές αναφοράς στην Ευρώπη: 1) τη German Border Price (GBP) και 2) την NBP Τιμή Spot Αγοράς (NBP).

Η GBP δημοσιεύεται στη Γερμανία από την Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) κάθε μήνα. Η BAFA δημοσιεύει τη συνολική αξία των εισαγωγών φυσικού αερίου στη Γερμανία και τη συνολική ποσότητα σε μονάδες ενέργειας κατά τη διάρκεια κάθε μήνα. Διαιρώντας την συνολική αξία από την ποσότητα, μπορεί να ληφθεί η μέση τιμή του φυσικού αερίου (αυτό είναι γνωστό ως GBP). Η GBP είναι ο μέσος όρος των συμβάσεων με τιμαριθμική αναπροσαρμογή στη βάση του πετρελαίου, που αποτελούν περίπου το 90 τοις εκατό των γερμανικών προμηθειών φυσικού αερίου (2008) και τις προμήθειες σποτ, που είναι όλο και περισσότερο διαθέσιμες στα ολλανδογερμανικά σύνορα και τα τερματικά νορβηγικών αγωγών.

Η NBP είναι το σημείο αναφοράς των τιμών για το σύνολο σχεδόν των εμπορεύσιμων αγορών φυσικού αερίου του Ηνωμένου Βασιλείου, το οποίο σήμερα αποτελείται από περίπου 90 τοις εκατό του συνόλου των προμηθειών του Ηνωμένου Βασιλείου. Η NBP έγινε το κεντρικό σημείο του Ηνωμένου Βασιλείου μόλις ιδρύθηκε το μοντέλο τιμολόγησης μετάδοσης εισόδου-εξόδου από Transco τον Οκτώβριο του 1994. Το κλειδί για την επιτυχία της ήταν η ιδέα και ενός μόνο κόμβου. Αυτό σημαίνει ότι μόλις καταβληθεί το παράβολο συμμετοχής στο σύστημα μετάδοσης του Ηνωμένου Βασιλείου, το αέριο είναι αποτελεσματικά στο NBP, επομένως όλο το αέριο του Ηνωμένου Βασιλείου στο πλαίσιο του συστήματος μετάδοσης έχει ίση αξία, καθώς δεν υπάρχουν χρεώσεις λόγω απόστασης, που πρέπει να καταβληθούν. Ο ενιαίος κόμβος διοχετεύει το σύνολο της ρευστότητας σε ένα ενιαίο σημείο διαπραγμάτευσης.[6]

### 1.3.6 Αγορά του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα το φυσικό αέριο παρέχεται μέσω συμβολαίων, που έχει συνάψει η εταιρία ΔΕΣΦΑ με εταιρίες του εξωτερικού. Το μεγαλύτερο μέρος του εισαγόμενου αερίου μεταφέρεται σε αέρια μορφή μέσω αγωγών, ενώ ένα μέρος καλύπτεται από υγροποιημένο

φυσικό αέριο, που μεταφέρεται με πλοίο στη Ρεβυθούσα και από εκεί επαναεριοποιείται σε εισέρχεται στο κεντρικό δίκτυο αερίου.

Η προμήθεια φυσικού αερίου από αγωγούς πραγματοποιείται από τη ρώσικη εταιρία Gazprom με συμβόλαιο που είναι σε ισχύ έως το 2026 και από την τούρκικη εταιρία BOTAS με συμβόλαιο που βρίσκεται σε ισχύ έως το 2021.

Η προμήθεια του υγροποιημένου φυσικού αερίου πραγματοποιείται από την αλγερινή εταιρία Sonatrach σε τιμή που προκύπτει από συμβόλαιο, που ισχύει έως το 2021. Η προμήθεια πρόσθετων ποσοτήτων υγροποιημένου φυσικού αερίου πραγματοποιείται από την ευκαιριακή αγορά (αγορά σποτ), όταν οι τιμές είναι ανταγωνιστικές ή παρατηρείται αυξημένη ζήτηση φυσικού αερίου στην ελληνική αγορά (Πίνακας 6).[7]

**Πίνακας 6 Εισαγόμενες Ποσότητες LNG στην Ελλάδα την Περίοδο 2011-2015[8-12]**

Έτος Προμήθειας	Εισαγόμενη Ποσότητα (Nm <sup>3</sup> )	Προμηθευτής
2011	>0,6*10 <sup>9</sup> >100*10 <sup>6</sup>	Sonatrach Ευκαιριακή αγορά
2012	0,5*10 <sup>9</sup>	Sonatrach
2013	0,6*10 <sup>9</sup>	Sonatrach
2014	0,4*10 <sup>9</sup>	Sonatrach
2015	0,36*10 <sup>9</sup>	Sonatrach

#### 1.4 Περιοχές Περιορισμένων Εκπομπών

Ένας από τους παράγοντες που προωθούν τη χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου είναι η θεσμοθέτηση των ζωνών περιορισμένων αέριων εκπομπών (Emission Control Areas-ECAs) στη ναυτιλία (Πίνακας 7). Η καθιέρωση των περιοχών αυτών αποσκοπεί στη μείωση των εκπομπών από τον τομέα της ναυτιλίας. Στις ζώνες περιορισμένων αέριων εκπομπών είναι αυστηρότερα τα όρια εκπομπών οξειδίων του θείου, οξειδίων του αζώτου και σωματιδίων σε σχέση με άλλες περιοχές. Η συνθήκη που προσδιορίζει τα όρια εκπομπών είναι η ANNEX VI της MARPOL (Marine Pollution). Οι περιοχές, όπου οι εκπομπές οφείλουν να είναι περιορισμένες και η χρονολογία από την οποία ισχύουν οι κανονισμοί αποτυπώνονται στον ακόλουθο πίνακα.[1, 13]

**Πίνακας 7 Χρονολογίες Ισχύος Περιοχών Περιορισμένων Εκπομπών[1, 13]**

Περιοχή	Εκπομπές	Σε ισχύ από
Βαλτική Θάλασσα	SO <sub>x</sub>	19 Μαΐου 2006
Βόρεια Θάλασσα	SO <sub>x</sub>	22 Νοεμβρίου 2007
Βόρεια Αμερική	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub>	1 Αυγούστου 2012
Περιοχή Καραϊβικής που υπάγεται στις ΗΠΑ	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub>	1 Ιανουαρίου 2014
Νερά εντός Θαλασσίων Συνόρων Ευρωπαϊκής Ένωσης	SO <sub>x</sub>	1 Ιανουαρίου 2020



Τα όρια των εκπομπών οξειδίων παρουσιάζονται στον πίνακα 8 και κατά μάζα στον πίνακα 9.

**Πίνακας 8 Όρια Εκπομπών Οξειδίων του Θείου[1, 13]**

Περιεχόμενο καυσίμου σε θείο(m/m)	2008	2010	2012	2015	2020 (ή 2025)
Εντός ECAs	1,5%	1%		0,1%	
Εκτός ECAs	4,5%		3,5%		0,5%

**Πίνακας 9 Όρια Εκπομπών Οξειδίου του Αζώτου[1]**

	Χρονιά Ισχύος	Νέες Μηχανές Ντίζελ Εγκατεστημένες σε πλοία	Όρια εκπομπών NO <sub>x</sub> σε g/KWh
Tier I	2005	Από 1 Ιανουαρίου 2000 έως 1 Ιανουαρίου 2011	9,8-17
Tier II	2011	Μετά την 1 Ιανουαρίου 2011	7,7-14,4
Tier III	2016	Μόνο όταν λειτουργούν σε NECAs	2-3,4

### 1.5 Εναλλακτικές Μέθοδοι Μείωσης των Ρύπων

Προκειμένου να καταστεί εφικτή η συμμόρφωση των ρύπων των πλοίων με τους κανονισμούς εκπομπών, έχουν αναπτυχθεί διαφορετικές τεχνολογίες μείωσης των ρύπων. Οι εναλλακτικές, εκτός της χρήσης LNG, περιλαμβάνουν τη χρήση καυσίμου HFO με προσθήκη συστημάτων καθαρισμού εκπομπών θείου (scrubbers), τη χρήση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο τύπου MGO (Marine Gas Oil).

Η επιλογή προσθήκης συστήματος καθαρισμού από τα οξείδια του θείου (scrubber) έχει το πλεονέκτημα ότι επιτρέπει την πρόωση με καύσιμο το HFO διατηρώντας το κόστος του καυσίμου σε χαμηλά επίπεδα. Επιτυγχάνει σημαντική μείωση τόσων των οξειδίων του θείου όσο και των σωματιδίων. Σε συνδυασμό με σύστημα καταλυτικής αναγωγής ή ανακυκλοφορίας καυσίμου, επιτυγχάνεται και μείωση των οξειδίων του αζώτου. Ωστόσο, ένα πρόβλημα που αναδύεται είναι η διάθεση των αποβλήτων των συστημάτων καθαρισμού. Αρνητικό στοιχείο της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι ότι καταλαμβάνει αρκετό χώρο, σε ορισμένες περιπτώσεις εις βάρος του μεταφερόμενου φορτίου.

Η χρήση καυσίμου τύπου MGO ή τύπου MDO (Marine Diesel Oil) επιτρέπει τη μείωση των οξειδίων του θείου. Δεν απαιτεί αλλαγή των μηχανών ούτε των δεξαμενών αποθήκευσης του καυσίμου. Η μείωση των οξειδίων του αζώτου προϋποθέτει προσθήκη συστήματος καταλυτικής αναγωγής ή ανακυκλοφορίας των καυσαερίων. Παρότι η επιλογή του MGO οδηγεί σε χαμηλά κόστη επένδυσης, η τιμή του είναι σημαντικά υψηλότερη του HFO.

Όλες οι εναλλακτικές λύσεις οδηγούν σε αυξημένα κόστη και η τελική απόφαση εξαρτάται από οικονομικούς παράγοντες, όπως οι τιμές των καυσίμων, το κόστος επένδυσης και το λειτουργικό κόστος.[13, 14]

## 1.6 Ανεφοδιασμός Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζονται οι δυνατοί τρόποι ανεφοδιασμού του LNG ως ναυτιλιακό καύσιμο.

### 1. Ανεφοδιασμός καυσίμου από πλοίο ανεφοδιασμού (ship-to-ship bunkering-STS)

Στην περίπτωση αυτή ο ανεφοδιασμός πραγματοποιείται στη θάλασσα με τη βοήθεια πλοίων ανεφοδιασμού, τα οποία μεταφέρουν το καύσιμο και ανεφοδιάζουν πλοία που καίνε LNG. Ο τυπικός όγκος καυσίμου που μεταφέρουν τα πλοία ανεφοδιασμού κυμαίνεται από  $1.000\text{ m}^3$  έως  $10.000\text{ m}^3$  και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη ζήτηση του καυσίμου. Τα πλοία ανεφοδιασμού εξαιτίας του μεγέθους τους μπορούν να εισέρχονται στα λιμάνια και να ανεφοδιάζουν τα πλοία που κινούνται με LNG. Αυτός ο τρόπος ανεφοδιασμού επιτρέπει υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς καυσίμου. Που κυμαίνεται μεταξύ  $150\text{-}200\text{ m}^3/\text{h}$ . Οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες πιθανόν να καταστήσουν ανέφικτη τη διαδικασία ανεφοδιασμού.[14, 15]



Εικόνα 1 Ανεφοδιασμός LNG με Πλοίο Ανεφοδιασμού Πηγή: <http://hhpinsight.com/>

### 2. Ανεφοδιασμός από φορτηγό (truck-to-ship bunkering -TTS)

Σε αυτή την περίπτωση ο εξοπλισμός περιλαμβάνει φορτηγά, δηλαδή τράκτορες πάνω στους οποίους έχουν προσδεθεί τρέιλερ με LNG tank containers. Η χωρητικότητα των tank containers, που προσδένονται στο τρέιλερ, κυμαίνεται από  $40\text{ m}^3$  ως  $80\text{ m}^3$ , εξαρτώμενη από την ισχύουσα νομοθεσία. Ο ανεφοδιασμός απαιτεί ειδικούς σωλήνες και πραγματοποιείται είτε αυξάνοντας την πίεση της δεξαμενής είτε με τη χρήση αντλιών. Τυπικός ρυθμός ανεφοδιασμού από φορτηγό είναι  $60\text{ m}^3/\text{h}$ .[14, 15]



Εικόνα 2 Ανεφοδιασμός Καυσίμου LNG από Φορτηγό [15]

3. Ανεφοδιασμός από δεξαμενή που βρίσκεται στη στεριά (terminal/pipe-line to ship bunkering -TPS)

Ο ανεφοδιασμός μπορεί να πραγματοποιηθεί από δεξαμενή που βρίσκεται στη στεριά. Η δεξαμενή μπορεί να πληρωθεί μέσω φορτηγού ή πλοίου. Το LNG μεταφέρεται μέσω σωληνώσεων από τη δεξαμενή έως το πλοίο ανεφοδιασμού. Ο ρυθμός ανεφοδιασμού κυμαίνεται από 50 – 600 m<sup>3</sup>/h. Σε περιπτώσεις που η απόσταση της δεξαμενής από το σημείο ανεφοδιασμού είναι μεγάλη, υπάρχει πιθανότητα η μέθοδος να μην είναι οικονομικά βιώσιμη. Μειονέκτημα αποτελεί η ανάγκη χώρου, καθώς σε κάποια λιμάνια είναι πιθανόν να μην μπορεί να κατασκευαστεί η δεξαμενή ελλείψει χώρου.[14, 15]

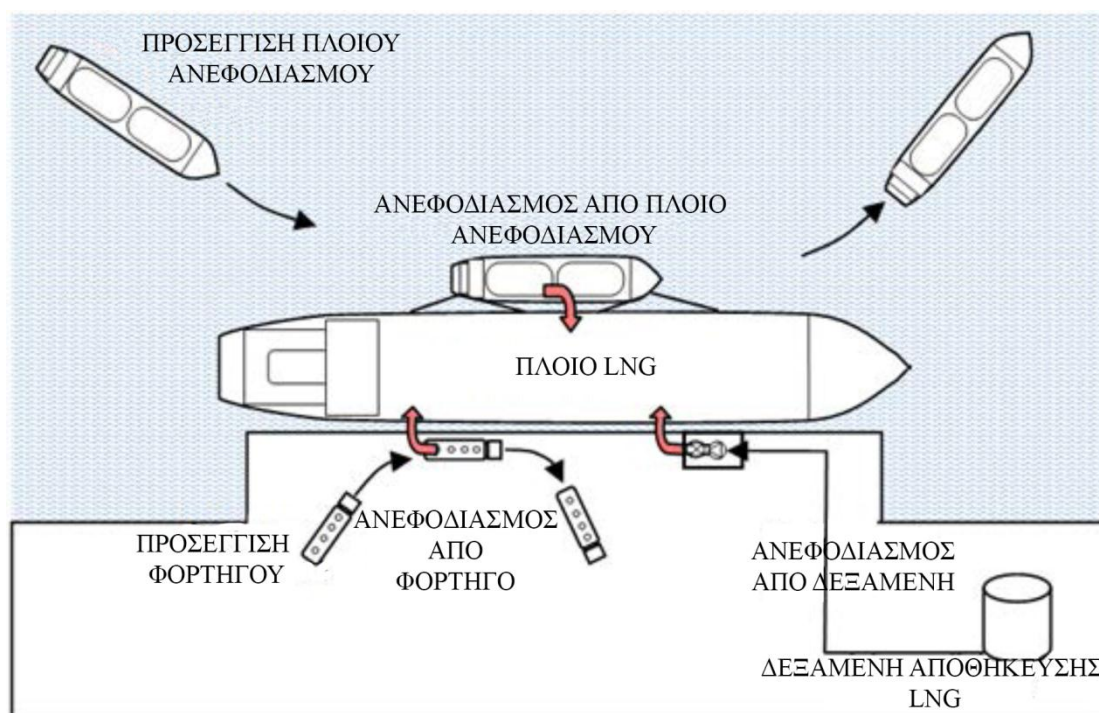


Εικόνα 3 Ανεφοδιασμός Πλοίου από Δεξαμενή Πηγή: [worldmaritimenews.com](http://worldmaritimenews.com)

4. Χρήση κινητών δεξαμενών.

Σε αυτή την περίπτωση οι άδειες δεξαμενές αντικαθίστανται από γεμάτες.[15]

Στο ακόλουθο σχέδιο (Εικόνα 4) συνοψίζονται οι τρεις βασικοί τρόποι ανεφοδιασμού του καυσίμου LNG.



Εικόνα 4 Τρόποι Ανεφοδιασμού LNG [15]

Σύμφωνα με τον DMA (Danish Maritime Authority) η διαδικασία ανεφοδιασμού περιλαμβάνει τέσσερα στάδια.

Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιείται ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα στα εμπλεκόμενα μέρη στη διαδικασία του ανεφοδιασμού.

Στο στάδιο πριν από την πλήρωση (δεύτερο στάδιο), εφαρμόζονται οι σύνδεσμοι ανεφοδιασμού της στεριάς και του πλοίου. Οι σύνδεσμοι και οι αντλίες της στεριάς ψύχονται και αφαιρείται υγρασία και οξυγόνο από τους συνδέσμους του πλοίου. Αυτό πραγματοποιείται με τη βοήθεια αζώτου, το οποίο στη συνέχεια απομακρύνεται από το φυσικό αέριο.

Κατά το στάδιο της πλήρωσης των δεξαμενών του πλοίου (τρίτο στάδιο), το LNG μεταφέρεται από τις δεξαμενές της στεριάς στα δεξαμενές του πλοίου με συγκεκριμένο ρυθμό, ώστε να επιτυγχάνεται έλεγχος της πίεσης των δεξαμενών.

Ο ανεφοδιασμός ολοκληρώνεται με το στάδιο που ακολουθεί την πλήρωση των δεξαμενών (τέταρτο στάδιο). Σε αυτό το στάδιο κλείνουν οι βαλβίδες ανεφοδιασμού και το LNG που έχει μείνει στους συνδέσμους ανεφοδιασμού εισέρχεται στις δεξαμενές μέσω της πίεσης των συνδέσμων του πλοίου. Το φυσικό αέριο που έχει απομείνει στους υπόλοιπους συνδέσμους απομακρύνεται από αυτούς για λόγους ασφαλείας με τη χρήση αζώτου.[15]

## 1.7 Μηχανές Πλοίων που κινούνται με καύσιμο το LNG

Υπάρχουν δύο τύποι μηχανών για πρόωση πλοίων με καύσιμο το LNG, οι μηχανές διπλού καυσίμου και οι μηχανές φυσικού αερίου. Οι μηχανές διπλού καυσίμου μπορούν να χρησιμοποιήσουν δύο καύσιμα για την πρόωση του ποίου. Όταν το πλοίο κινείται με καύσιμο το LNG, τότε χρησιμοποιείται το άλλο καύσιμο (π.χ. MDO ή HFO) ως πιλοτικό για την έναυση. Οι μηχανές διπλού καυσίμου μπορούν να είναι δίχρονες ή τετράχρονες. Οι μηχανές φυσικού αερίου χρησιμοποιούν αποκλειστικά φυσικό αέριο για τη λειτουργία τους.[14]

### 1.7.1 Μηχανές Διπλού Καυσίμου (Dual Fuel Engines)

Οι μηχανές διπλού καυσίμου προσφέρουν ευελιξία στα πλοία, καθώς μπορούν να λειτουργούν με το LNG ως καύσιμο εντός των περιοχών περιορισμένων εκπομπών και με άλλο καύσιμο, όπως το HFO ή το MGO, εκτός αυτών των περιοχών ή σε περιοχές που το LNG δεν είναι διαθέσιμο ως καύσιμο. Το δεύτερο καύσιμο λειτουργεί ως πιλοτικό (1% του συνολικού καυσίμου) για την έναρξη της διαδικασίας καύσης, όταν η μηχανή λειτουργεί με κυρίως καύσιμο το LNG.

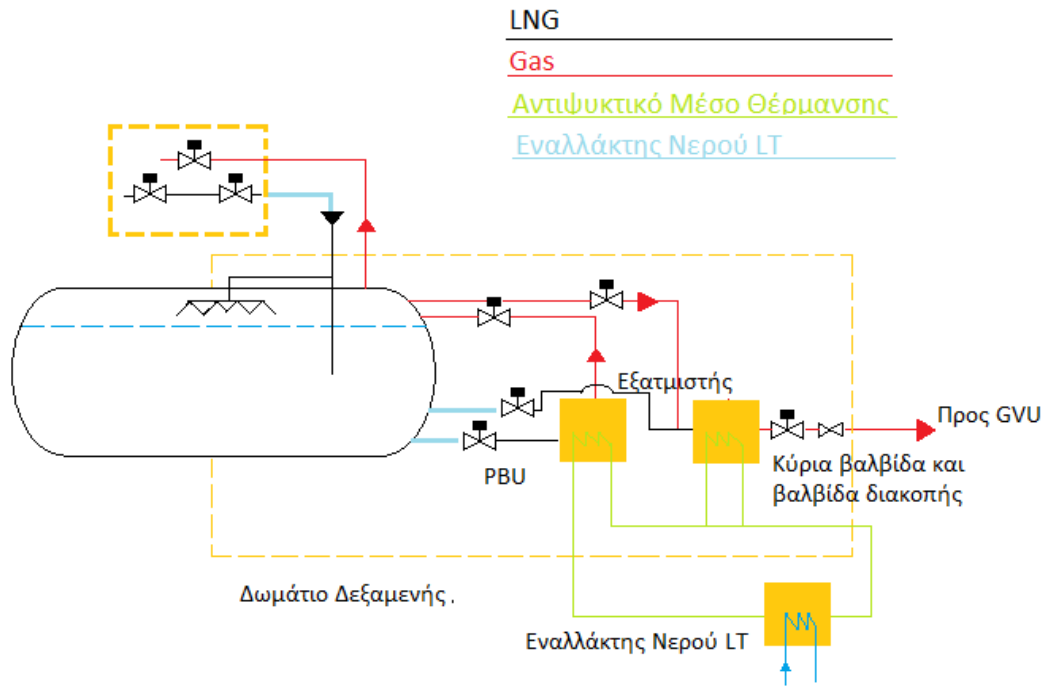
Οι τετράχρονοι κινητήρες διπλού καυσίμου λειτουργούν με βάση τον κύκλο Otto, οπότε έχουν χαμηλές πιέσεις. Σε αυτούς τους κινητήρες παρατηρείται το φαινόμενο της διαρροής μεθανίου (methane slip).

Οι δίχρονοι κινητήρες διπλού καυσίμου λειτουργούν με βάση τον κύκλο Diesel, οπότε λειτουργούν σε υψηλότερες πιέσεις από τους τετράχρονους. Χρησιμοποιούν και εκείνοι πιλοτικό καύσιμο (5% του συνολικού καυσίμου) και μπορούν να λειτουργήσουν με συμβατικό καύσιμο ή μείγμα συμβατικού καυσίμου και φυσικού αερίου. Σημαντικό πλεονέκτημά τους είναι ότι ελαχιστοποιούν τις διαρροές μεθανίου.[14]

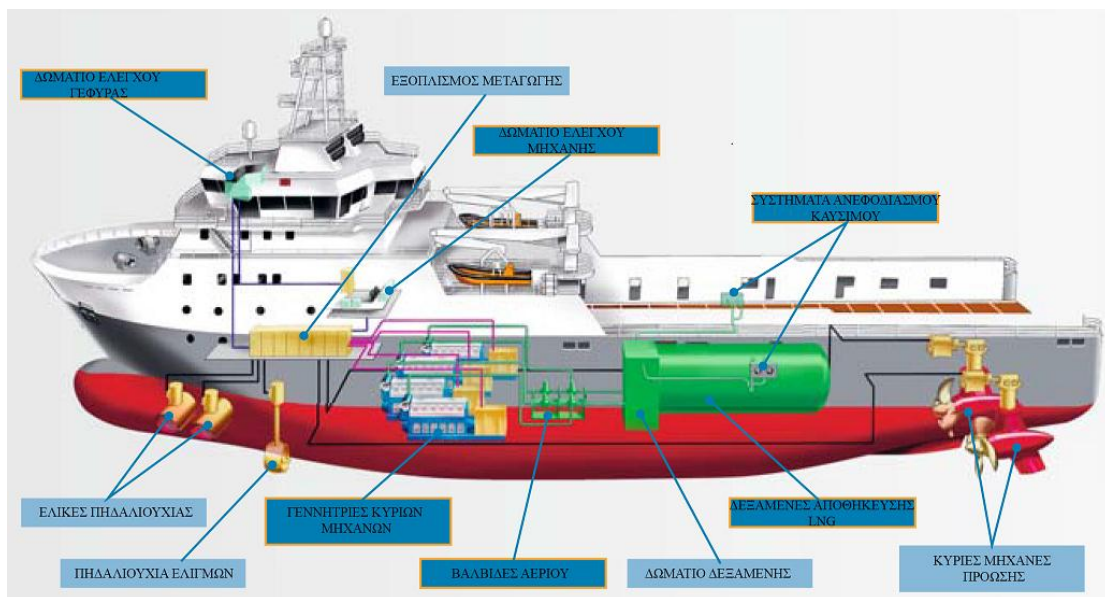
Προκειμένου τα πλοία να χρησιμοποιούν το LNG, στην περίπτωση μηχανών διπλού καυσίμου η εγκατάσταση των κύριων μηχανών συνοδεύεται από την εγκατάσταση βοηθητικών μηχανών, δεξαμενών αποθήκευσης του LNG καυσίμου, μονάδα βαλβίδας αερίου σε περίβλημα, ειδικό χώρο σύνδεσης των δεξαμενών με το υπόλοιπο σύστημα των μηχανών και σύστημα ανεφοδιασμού, όπως φαίνεται στις εικόνες Εικόνα 5 Εικόνα 6.[16, 17]

### 1.7.2 Κινητήρες φυσικού αερίου

Ο κύκλος Otto / Miller αποτελεί τη βάση για τη λειτουργία αυτού του κινητήρα. Σε αυτό τον κινητήρα αντί για πιλοτικό καύσιμο, ένα πλούσιο μίγμα αερίου / αέρα αναφλέγεται σε ένα προθάλαμο καύσης, το οποίο αποτελεί μια ισχυρή πηγή ανάφλεξης για το πολύ φτωχό μίγμα στον κύλινδρο. Αυτή η τεχνολογία εξασφαλίζει υψηλή απόδοση και χαμηλές εκπομπές ρύπων, αλλά δεν επιτρέπει ευελιξία όσον αφορά στη χρήση και μαζούτ.[14]



Εικόνα 5 Σύστημα Δεξαμενής Αποθήκευσης Καυσίμου LNG [16]



Εικόνα 6 Διάταξη Συστήματος Μηχανών LNG [16]

## Κεφάλαιο 2 Νομοθεσία LNG

### 2.1 Διεθνείς Κανονισμοί

Η νομοθεσία σχετικά με το LNG δεν έχει αναπτυχθεί αρκετά στις περισσότερες χώρες. Το ίδιο ισχύει και για τους διεθνείς κανονισμούς και τις κατευθυντήριες γραμμές, που κρίνονται απαραίτητα για την σωστή και ασφαλή επικοινωνία και συνεργασία στον τομέα της ναυσιπλοΐας. Ωστόσο το τελευταίο διάστημα έχουν γίνει βήματα στην κατεύθυνση της κάλυψης του νομοθετικού κενού που αφορά τη χρήση του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου ως καύσιμο και τον ανεφοδιασμό των πλοίων με αυτό.[18] Οι διεθνείς κανονισμοί και τα πρότυπα σχεδιάζονται από τους διεθνείς οργανισμούς και από ομάδες εργασίας, στις οποίες συμμετέχουν και ομάδες από τους διεθνώς αναγνωρισμένους νηογνώμονες[19]. Στην ανάπτυξη των κανονισμών συμμετέχουν μεταξύ άλλων ο Διεθνής Οργανισμός Ναυσιπλοΐας (IMO), ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO), ο Εθνικός Οργανισμός Πυροπροστασίας των ΗΠΑ (NFPA) και ο οργανισμός SIGTTO (Society of International Gas Tanker Terminal Operators).

Ο βασικότερος και πλέον πρόσφατος διεθνής κώδικας για τη χρήση του LNG ως καύσιμο σε πλοία είναι ο κώδικας IGF (International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels). Υιοθετήθηκε τον Ιούνιο του 2015, είναι υποχρεωτικός και τίθεται σε ισχύ τον Ιανουάριο του 2017. Ο κώδικας απευθύνεται σε όλους τους τομείς που χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής για τη χρήση καυσίμων χαμηλού σημείου ανάφλεξης. Τη βάση για το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία των πλοίων που χρησιμοποιούν αυτόν τον τύπο καυσίμου αποτελούν οι στόχοι και οι λειτουργικές απαιτήσεις που ορίζονται για κάθε τομέα. Πρόβλεψη για το LNG έχουν και οι τροποποιήσεις του κανονισμού SOLAS (safety of life at sea). Οι τροπολογίες του κεφαλαίου II-1 (Κατασκευές - Δομή, υποδιαίρεση και ευστάθεια, μηχανήματα και ηλεκτρικές εγκαταστάσεις) του SOLAS περιλαμβάνουν τροποποιήσεις του μέρους F, Εναλλακτικός σχεδιασμός και διατάξεις, προκειμένου να παρέχεται μία μεθοδολογία για τον εναλλακτικό σχεδιασμό και τη διάταξη του μηχανολογικού εξοπλισμού (machinery), των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, της αποθήκευσης υγρών χαμηλού σημείου ανάφλεξης και των συστημάτων διανομής. Περιλαμβάνουν επίσης ένα νέο μέρος G, πλοία που χρησιμοποιούν καύσιμα χαμηλού σημείου ανάφλεξης, προσθέτοντας νέους κανονισμούς που απαιτούν τα πλοία που κατασκευάζονται μετά την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2017 (ημερομηνία που τίθενται σε ισχύ ο κανονισμός IGF και οι τροποποιήσεις του SOLAS) να συμμορφώνονται με τους ισχύοντες κανονισμούς. [18]

Οι κυριότεροι διεθνείς κανονισμοί και τα κυριότερα standards σχετικά με τη μεταφορά και τον ανεφοδιασμό του LNG παρουσιάζονται στον πίνακα 10.

**Πίνακας 10 Διεθνή Standards σχετικά με LNG[13, 18, 20-22]**

Οργανισμός	standard	Αναφορά σε
IMO	IGC Code	Κανονισμοί ασφαλούς μεταφοράς ΥΦΑ
	SOLAS	Ασφάλεια στη θάλασσα
	MSC 285(86)	Κανονισμοί πλοίων που κινούνται με αέριο ή με άλλο καύσιμο χαμηλού σημείου ανάφλεξης (τμήμα του κώδικα IGF)
	IGF Code	Υποχρεωτικές διατάξεις για τη ρύθμιση, εγκατάσταση, τον έλεγχο και την

		παρακολούθηση των μηχανημάτων, του εξοπλισμού και των συστημάτων που χρησιμοποιούν καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε σημείο ανάφλεξης, εστιάζοντας αρχικά στο LNG
	STCW Code	Υποχρεωτικές ελάχιστες απαιτήσεις για την κατάρτιση και τα προσόντα των πλοιάρχων, αξιωματικών, κατώτερων ναυτικών και λοιπού προσωπικού για τα πλοία που υπάγονται στο IGF Κώδικα
	“Recommendations on the Safe Transport of Dangerous Cargoes and related Activities in Port Areas”	Ασφαλής μεταφορά φορτίου σε λιμάνια
NFPA	59A	Αποθήκευση και παραγωγή LNG
	302	Προστασία από φωτιά για εμπορικά σκάφη και σκάφη αναψυχής
	52	Προστασία από πυρκαγιά
ISO	ISO TC 67 WG 10 PT3 and PT5	Κανονισμοί ξηράς
	ISO TC 67 WG 10 PT1 and PT4	Υπεράκτιοι κανονισμοί(offshore)
	ISO TC 67 WG 10 PT2 and PT6	Κανονισμοί σύνδεσης πλοίου με ακτή(ship to shore)
	draft 118683	Σκάφη ανεφοδιασμού με LNG
	CD 16903	Ιδιότητες και υλικά LNG
	28460:2010	Προτεινόμενες διαδικασίες σε λιμάνια
	6976:1995	Σύνθεση φυσικού αερίου
SIGTTO	10976	Ποσότητα φορτίου LNG
	Ship to Ship Transfer Guideline	Μεταφορά LNG από πλοίο σε πλοίο
	ESD Systems	Σύστημα απενεργοποίησης βαλβίδων έκτακτης ανάγκης
SIGTTO/OCIMF	Gas Carrier Manifold Guidelines	Κατευθυντήριες γραμμές για LNG και LPG και σχεδιασμός θέσης εγκαταστάσεων σε νέες προβλήτες για φόρτωση-εκφόρτωση
OCIMF	Mooring Equipment Guidelines	Αναφορά στο νέο σχεδιασμό πλοίων και τερματικών και στις νέες πρακτικές που εφαρμόζονται
API	API Recommended Practice 2003, sixth edition	Προστασία από αναφλέξεις



## 2.2 Ευρωπαϊκοί Κανονισμοί

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως στόχο για το 2020 τη βιώσιμη ανάπτυξη. Η στρατηγική αυτή αποσκοπεί στην αντιμετώπιση των κοινωνικών προκλήσεων, όπως η κλιματική αλλαγή, η έλλειψη ενέργειας και πόρων και η τήρηση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού με την αποτελεσματικότερη χρήση πόρων και ενέργειας. Στο πλαίσιο της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής έχει θέσει απαιτήσεις μείωσης της περιεκτικότητας των θαλάσσιων καυσίμων σε θείο στις περιοχές ελέγχου των εκπομπών θείου, που αφορούν στο ήμισυ των πλοίων που εκτελούν ευρωπαϊκές θαλάσσιες μεταφορές μικρών αποστάσεων, όπως προβλέπεται στην οδηγία 2012/33/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 21ης Νοεμβρίου 2012, για την τροποποίηση της οδηγίας 1999/32/ΕΚ σχετικά με την περιεκτικότητα των καυσίμων πλοίων σε θείο[23]. Επιπλέον ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Ασφάλεια στη Θάλασσα (EMSA) στοχεύει στη διασφάλιση υψηλού, ομοιόμορφου και αποτελεσματικού επιπέδου ασφάλειας στη θάλασσα και της ασφάλειας της ναυσιπλοΐας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ). Επίσης, επιδιώκει την πρόληψη και την αντιμετώπιση της ρύπανσης από πλοία ή από εγκαταστάσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου. Οι παραπάνω συνθήκες καθιστούν το LNG ελκυστικό εναλλακτικό καύσιμο για τα πλοία. Για την επίτευξη των παραπάνω κρίνεται αναγκαία η ανάπτυξη κανονισμών, που να διασφαλίζουν τόσο την ομοιομορφία των πρακτικών και των απαιτήσεων όσο και την ασφάλεια του προσωπικού και των κατοίκων κοντά στις περιοχές των λιμανιών εντός του πλαισίου της Ένωσης. Η ΕΕ στράφηκε στην ανάπτυξη των απαραίτητων κανονισμών και στην ενσωμάτωσή τους, όπως και των αντίστοιχων διεθνών, στις εθνικές νομοθεσίες.[24]

Οι κυριότεροι ευρωπαϊκοί κανονισμοί που έχουν σχέση με τη μεταφορά και τον ανεφοδιασμό του καυσίμου LNG παρουσιάζονται στον Πίνακα 11.

**Πίνακας 11 Ευρωπαϊκοί Κανονισμοί σχετικά με LNG[18, 22, 23, 25]**

Νομοθεσία/Κανονισμός	Αναφορά σε
EN 1160	Κανονισμοί ξηράς
EN 1473:2007	Σχεδιασμός τερματικού LNG σε ξηρά
EN 146201	Κανονισμοί ξηράς
EN 12308	
EN 1474:2008	
EN 1532	Κανονισμοί ξηράς με πλοίο
EN 1474 part 1	
EN 1474 Part 2	
EN 1474 Part 3	Βραχίονες μεταφοράς LNG
Seveso III (2012/18/EU)	Σωλήνες μεταφοράς LNG
ATEX 95 (94/9/EC)	Συστήματα μεταφοράς εκτός ξηράς
ATEX 137 (99/92/EC)	Προστασία από ατυχήματα στην ξηρά
ADN	Συσκευές και τα συστήματα προστασίας που προορίζονται για χρήση σε εκρηκτικές ατμόσφαιρες
	Απαιτήσεις για τη βελτίωση της προστασίας της υγείας και της ασφάλειας των εργαζομένων που ενδέχεται να εκτεθούν σε κίνδυνο από εκρηκτικές ατμόσφαιρες
	Διεθνής μεταφορά επικίνδυνων εμπορευμάτων στις εσωτερικές πλωτές διόδους

## 2.3 Εθνικές Νομοθεσίες

Ο ανεφοδιασμός πλοίων με υγροποιημένο φυσικό αέριο δεν προβλέπεται νομοθετικά στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης. Νομοθεσία σχετικά με το υγροποιημένο φυσικό αέριο για χρήση του ως καύσιμο έχουν αναπτύξει η Νορβηγία, η Δανία, η Σουηδία και η Γερμανία[18]. Το νομοθετικό πλαίσιο δεν είναι αναπτυγμένο στον ίδιο βαθμό σε όλες από τις παραπάνω χώρες. Σημαντικός είναι ο ρόλος των λιμανιών στις πρακτικές που αφορούν των ανεφοδιασμό με LNG. Τα λιμάνια, στα οποία ανεφοδιάζονται πλοία LNG, ακολουθούν τους διεθνείς κανονισμούς και αναπτύσσουν πρακτικές και κανονισμούς. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του λιμανιού του Rotterdam στην Ολλανδία. Οι περισσότερες εθνικές νομοθεσίες είτε έχουν ενσωματώσει τους κανονισμούς είτε έχουν εναρμονιστεί με αυτούς. Στα όποια νομοθετικά κενά γίνεται χρήση των κανονισμών που αφορούν καύσιμα της ίδιας κατηγορίας με το LNG στη νομοθεσία Seveso III, για παράδειγμα το LPG. Οι εθνικές νομοθεσίες έχουν ουσιαστικά ενσωματώσει τις βέλτιστες πρακτικές της βιομηχανίας και τις διεθνείς οδηγίες και κανονισμούς.[1]

### 2.3.1 Νορβηγία

Η Νορβηγία είναι η πρώτη χώρα που χρησιμοποίησε πλοία που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το LNG. Στην εθνική της νομοθεσία περιλαμβάνονται κανονισμοί (Πίνακας 12) που καθορίζουν τον ανεφοδιασμό των πλοίων α) από δεξαμενή σε σύστημα μεταφοράς καυσίμου μέσω σύνδεσης ακτής με πλοίο shore to ship via pipeline (STP) και β) μέσω φορτηγού, truck to ship (TTS). Πρακτική ανεφοδιασμού πλοίου απευθείας μέσω πλοίου ανεφοδιασμού, ship to ship bunkering (STS), στη Νορβηγία δεν υπάρχει.[15] Ο ανεφοδιασμός για τα επιβατηγά πλοία επιτρέπεται πλέον ακόμα και όταν βρίσκονται επιβάτες στο πλοίο.[26] Παλαιότερα, σύμφωνα με την οδηγία DSB, απαγορευόταν ο ανεφοδιασμός όσο βρίσκονταν επιβάτες στο πλοίο ή μετεπιβιβάζονταν. Στα λιμάνια όπου τα πλοία, που λειτουργούν με υγροποιημένο φυσικό αέριο, μένουν δεμένα το βράδυ, ο ανεφοδιασμός πραγματοποιείται το βράδυ.[18] Οι εγκαταστάσεις και τα συστήματα ανεφοδιασμού ακολουθούν διεθνείς κανονισμούς(ISO TC 67/WG 10), στο σχηματισμό των οποίων συμμετέχει η Νορβηγία μέσω του οργανισμού NDV. Η νομοθεσία προβλέπει ακόμα την κατασκευή και τους κανόνες λειτουργίας τόσο των επιβατηγών όσο και των φορτηγών πλοίων που κινούνται με μηχανές που έχουν ως καύσιμο το LNG. Τα πλοία που κινούνται με αέρια καύσιμα και οι ζώνες ασφαλείας ακολουθούν τους κανόνες των διεθνών οργανισμών(MSC 285(86),MSC 94 και IGC Code αντίστοιχα).[18] Τα θέματα που αφορούν τα αέρια καύσιμα ρυθμίζονται από τον νορβηγικό νηογνώμονα DNV. Το επίπεδο ασφαλείας θεωρείται ισάξιο με το επίπεδο των καυσίμων diesel. Η εκπαίδευση του προσωπικού γίνεται σύμφωνα με την οδηγίες για αέρια με χαμηλό σημείο ανάφλεξης.

**Πίνακας 12 Νομοθεσία και Κανονισμοί Νορβηγίας[15, 27, 28]**

Νομοθεσία/Κανονισμός	Αναφέρεται/νομοθετεί
Νορβηγική Διεύθυνση Πολιτικής Προστασίας και Σχεδιασμού Έκτακτης Ανάγκης(DSB)	Ανεφοδιασμό καυσίμων από μόνιμες χερσαίες εγκαταστάσεις ή από τη δεξαμενή του οχήματος ανεφοδιασμού
Αρχή Νορβηγικού Ναυτικού	Ανεφοδιασμό καυσίμων από θάλασσα
Οδηγίες για τη μεταβίβαση των επικίνδυνων ουσιών	
Οδηγία για την προστασία από εκρήξεις και φωτιά (DSB)	Ανεφοδιασμό καυσίμων από μόνιμες χερσαίες εγκαταστάσεις ή από τη δεξαμενή του οχήματος ανεφοδιασμού
Ο κανονισμός σχετικά με τη διαχείριση των εύφλεκτων, δραστηκών και υπό πίεση ουσιών	Ανεφοδιασμό καυσίμων από μόνιμες χερσαίες εγκαταστάσεις ή από τη δεξαμενή του οχήματος ανεφοδιασμού
Ρύθμιση κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων (εάν η εγκατάσταση περιέχει 50 τόνους ή ΥΦΑ περισσότερα)	
Τεχνικά και οργανωτικά μέτρα για την πρόληψη της υπερχειλίσης και επαρκείς αποστάσεις ασφαλείας όπου βρίσκονται άνθρωποι	
Κανονισμός 1218 9.09.05 (NMA)	Κατασκευή και ρύθμιση των επιβατηγών πλοίων που κινούνται με αέριο
Κανονισμός 644 17.06.02 (NMA)	Ασφάλεια ανεφοδιασμού καυσίμων για τα φορτηγά πλοία με φυσικό αέριο ως καύσιμο κινητήρων εσωτερικής καύσεως
Κανονισμοί NMA (γενικά)	Επιβατηγά πλοία που κινούνται με αέριο
Κανονισμοί DNV	Αντικείμενο σχετικό με τα αέρια
STW44-17-3	Απαιτήσεις εκπαίδευσης για τους αξιωματικούς και το πλήρωμα των σκαφών που χρησιμοποιούν καύσιμα χαμηλού σημείου ανάφλεξης

### 2.3.2 Δανία

Στη Δανία εμπλέκονται διάφορες αρχές στον ανεφοδιασμό των πλοίων LNG και στις εγκαταστάσεις των λιμανιών (Πίνακας 13). Οι δήμοι παίζουν σημαντικό ρόλο και εφαρμόζουν νομοθεσίες σχετικές με την ασφάλεια, το περιβάλλον και τις εγκαταστάσεις. Η Δανική Ναυτική Αρχή είναι υπεύθυνη για ό,τι έχει σχέση με το πλοίο.[29] Η Δανία έχει ενσωματώσει στη νομοθεσία της διεθνείς κανονισμούς για τα πλοία που λειτουργούν με LNG (MSC 285(86)).[18] Η αντιμετώπιση ατυχημάτων και η μεταφορά γίνονται με βάση κανονισμούς για χειρισμό επικίνδυνων ουσιών. Η κατασκευή των εγκαταστάσεων LNG ή CNG ακολουθεί τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς ATEX. Στα νομοθετικά κενά σχετικά με τη χρήση και το χειρισμό του LNG χρησιμοποιείται η σχετική νομοθεσία με το LPG. Γενικά οι κανονισμοί της Δανίας μοιάζουν μ' αυτούς της Νορβηγίας.[27] Μεγάλη βαρύτητα δίνεται στην εφαρμογή των διεθνών κανονισμών και κατευθυντήριων γραμμών. Στη Δανία ο ανεφοδιασμός των πλοίων διαρκεί κατά μέσο όρο δύο ώρες [30] και γίνεται κυρίως το βράδυ. [31] Ωστόσο, πλέον επιτρέπεται η πετρέλευση LNG όταν βρίσκονται επιβάτες στο πλοίο.[26]

**Πίνακας 13 Νομοθεσία και Κανονισμοί Δανίας[27, 29, 32]**

Νομοθεσία/Κανονισμός	Αναφέρεται/νομοθετεί
Εγκύκλιος 018 Δανικής Ναυτικής Αρχής	Πλοία με καύσιμο το LNG
Gasreglement B-5	Χειρισμός και χρήση του LPG (χρησιμοποιείται επίσης και για LNG)
Trykbeholderdirektivet(PED)	Κατασκευή εγκαταστάσεων LNG ή CNG
Κανονισμοί Δανικής Ναυτικής Αρχής	Εγκαταστάσεις καυσίμων
DEMA 1444	Τεχνικοί κανονισμοί αερίων
Υπουργείο Άμυνας 660	Δημοσίευση της πράξης ετοιμότητας σε έκτακτη ανάγκη
Υπουργείο Περιβάλλοντος 1444	Έλεγχο του κινδύνου μεγάλων ατυχημάτων με επικίνδυνες ουσίες
Υπουργείο Περιβάλλοντος 879	Πράξη προστασίας του περιβάλλοντος
	Χρήση εξοπλισμού υπό πίεση
	Διάταξη, τροποποίηση και επισκευή του υπό πίεση εξοπλισμού
Οδηγία AT B.4 6.04.07	Νομική βάση για τη ρύθμιση, τροποποίηση και επισκευή του υπό πίεση εξοπλισμού

### 2.3.3 Σουηδία

Στη Σουηδία η χρήση LNG είναι πρόσφατη. Η νομοθεσία δεν έχει αναπτυχθεί τόσο όσο στις δύο παραπάνω χώρες (Πίνακας 14). Η Energigas Sverige έχει δημοσιεύσει κατευθυντήριες γραμμές για την αποθήκευση του υδροποιημένου φυσικού αερίου, οι οποίες ουσιαστικά είναι η ενσωμάτωση διεθνών κανονισμών. Στα νομοθετικά κενά ακολουθούνται είτε οι διεθνείς κανονισμοί είτε οι σχετικοί νόμοι με το LPG.[27] Το λιμάνι του Gothenburg έχει αναπτύξει ένα προσχέδιο οδηγιών για τον ανεφοδιασμό με LNG, έχοντας λάβει υπ' όψη το εθνικό νομοθετικό πλαίσιο. Το σουηδικό φόρουμ θαλάσσιας τεχνολογίας σε συνεργασία με τον οργανισμό DNV-GL και άλλες εταιρίες έχει αναπτύξει ένα έγγραφο που περιγράφει τις προτεινόμενες διαδικασίες για την περίπτωση ship to ship bunkering. Η διαδικασία του ανεφοδιασμού πλοίου που λειτουργεί με LNG δεν έχει νομοθετηθεί, ωστόσο ακολουθούνται συγκεκριμένες πρακτικές και οδηγίες από τα λιμάνια της Στοκχόλμης και του Gothenburg.[18] Στη Σουηδία επιτρέπεται η πετρέλευση LNG, ενώ οι επιβάτες είναι στο πλοίο.[26]

**Πίνακας 14 Νομοθεσία και Κανονισμοί Σουηδίας[18, 27]**

Νομοθεσία/Κανονισμός	Αναφέρεται/νομοθετεί
"Προτεινόμενοι κανονισμοί λειτουργίας ανεφοδιασμού LNG συμπεριλαμβανομένου του ανεφοδιασμού με LNG ": μια κατευθυντήρια γραμμή για το λιμάνι του Gothenburg, λαμβάνοντας υπόψη την εθνική νομοθεσία	Ανεφοδιασμό με καύσιμο LNG
Οδηγίες συνδέσμου Σουηδικού φυσικού αερίου(Energigas Sverige)	Αποθήκευση LNG και εγκαταστάσεις επαναεριοποίησης

### 2.3.4 Γερμανία

Η πλοήγηση στη θάλασσα και η προσέγγιση δεξαμενόπλοιου LNG ρυθμίζονται από τη γερμανική νομοθεσία (Πίνακας 15). Το ίδιο και η λειτουργία και ο ανεφοδιασμός πλοίων που λειτουργούν με αέρια καύσιμα. Σύμφωνα με το νόμο για τα επικίνδυνα φορτία του ομοσπονδιακού κράτους του Αμβούργου, πρέπει να αναφέρεται η μεταφορά των επικίνδυνων ουσιών στο λιμάνι, όπως και η πλεύση LNG δεξαμενόπλοιων και LNG bunker vessels.[18] Η χρήση του υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο δεν έχει ακόμα νομοθετηθεί. Για το λόγο αυτό ο ανεφοδιασμός των πλοίων με καύσιμο LNG γίνεται σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του λιμανιού του Αμβούργου[33], οι οποίες βασίζονται στο ISO TC 67/WG 10. Για τον ανεφοδιασμό απαιτείται ειδική άδεια.

**Πίνακας 15 Νομοθεσία και Κανονισμοί Γερμανίας [18, 33]**

Νομοθεσία/Κανονισμός	Αναφέρεται/νομοθετεί
Schiffssicherheitsgesetz (γερμανικός νόμος ασφάλειας πλοίων)	Προσέγγιση στο λιμάνι με δεξαμενόπλοιο LNG /Λειτουργία και ανεφοδιασμός πλοίων κινούμενων με αέριο
Seeschiffahrtsstrassenordnung	Ναυσιπλοία στις πλωτές οδούς
Landesgefahrgutverordnung	Νόμος για επικίνδυνο φορτίο
Κανονισμοί Λιμενικής Αρχής Αμβούργου	Ανεφοδιασμός πλοίων με καύσιμο LNG
BetrSichV	Αξιοπιστία στον εργασιακό χώρο/ενσωματώνει τον κανονισμό ATEX 137

### 2.3.5 Ολλανδία

Η Ολλανδία δεν έχει αναπτύξει εθνική νομοθεσία σχετική με το LNG. Η εισαγωγή του LNG στην Ολλανδία γίνεται στο λιμάνι του Rotterdam. Το λιμάνι έχει ποικίλους κανονισμούς που ρυθμίζουν τη λειτουργία του και τις διαδικασίες που ακολουθούνται, βασισμένες στις διεθνείς οδηγίες και standards( π.χ. ISO, ATEX, NFPA). Χαρακτηριστικό είναι ότι όλες οι δραστηριότητες οφείλουν να έχουν περιβαλλοντική άδεια. Ο ανεφοδιασμός των LNG πλοίων και οι διαδικασίες που ακολουθούνται προβλέπονται από τους σχετικούς κανονισμούς του λιμανιού. Οι λίστες που χρησιμοποιούνται κατά την πετρέλευση με LNG είναι αυτές του WPCI. Για το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη διαχείριση των εγκαταστάσεων ανεφοδιασμού LNG, τόσο των πλωτών όσο και των εγκαταστάσεων ανεφοδιασμού LNG ξηράς, εφαρμόζεται ο κανονισμός PGS 33-2,όταν ο καθαρός όγκος καυσίμου της δεξαμενής είναι μικρότερος από 500 m<sup>3</sup>. Ωστόσο οι πλωτοί σταθμοί καυσίμων εξαιρούνται από των κανονισμό εσωτερικών πλωτών διόδων (inland waterways). Οι κανονισμοί PGS 33-1 αναφέρονται σε δεξαμενές αποθήκευσης ΥΦΑ ξηράς με περιεχόμενο μικρότερο των 50 τόνων. Οι εγκαταστάσεις με περιεχόμενο μεγαλύτερο των 50 τόνων ρυθμίζονται από τον κανονισμό Brzo 99. Η WBDA καθορίζει τις απαιτήσεις για την τεχνική αρτιότητα (και κάποιες για τη λειτουργία) των εγκαταστάσεων, στις οποίες χρησιμοποιούνται και αποθηκεύονται πεπιεσμένα αέρια ή υγρά, χωρίς να γίνεται αναφορά στις επικίνδυνες ουσίες. Προδιαγραφή του συστήματος διαχείρισης της ασφάλειας για τους κινδύνους σοβαρών ατυχημάτων παρέχεται στο νορβηγικό πρότυπο NTA 8620.[34]

**Πίνακας 16 Κανονισμοί και Νομοθεσία Ολλανδίας[34]**

Κανονισμός	Αναφέρεται/νομοθετεί
PGS 33-1	σε δεξαμενές αποθήκευσης ΥΦΑ ξηράς με περιεχόμενο μικρότερο των 50 τόνων
PGS 33-2	εγκαταστάσεις ανεφοδιασμού ΥΦΑ
Brzo 99	εγκαταστάσεις με περιεχόμενο μεγαλύτερο των 50 τόνων
WBDA	Τεχνική αρτιότητα εγκαταστάσεων/ Χρήση και αποθήκευση αερίων και υγρών υπό πίεση
NTA 8620	διαχείριση κινδύνου σοβαρών ατυχημάτων
STROOM	Αποθήκευση υγροποιημένου φυσικού αερίου

## 2.4 Η Πετρέλευση στην Ελλάδα

Η πετρέλευση στην Ελλάδα γίνεται σύμφωνα με το Προεδρικό Διάταγμα 293 του ΦΕΚ 129<sup>A</sup> του 1986. Επίσης ακολουθεί τους κανονισμούς πετρέλευσης των εκάστοτε λιμανιών, οι οποίοι όμως στηρίζονται στο ΠΔ του 1986. Οι Ειδικοί και Γενικοί Κανονισμοί Λιμεναρχείων δημοσιεύονται σε ΦΕΚ. Οι Γενικοί Κανονισμοί αφορούν όλα τα λιμάνια της χώρας, ενώ οι Ειδικοί μόνο της εκάστοτε περιοχής.[35] Κάθε λιμάνι θέτει κανονισμούς που προσθέτουν ρυθμίσεις βασισμένες στα υπάρχοντα ΦΕΚ. Για παράδειγμα σύμφωνα με τον κανονισμό του Κεντρικού Λιμεναρχείου της Ρόδου η πετρέλευση των πλοίων επιτρέπεται μόνο το βράδυ.[36] Αντίστοιχα η αγκυροβολία στην θαλάσσια περιοχή Κόλπος Μεγάρων- Δυτικά ν. Σαλαμίνας ρυθμίζεται από τον Ειδικό Κανονισμό Λιμένα Πειραιά αριθμ.190. Οι πλωτές ευκολίες υποδοχής πετρελαιοειδών καταλοίπων ρυθμίζονται με την Υπουργική Απόφαση 3231.8/1/89. Η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας πρατηρίων μικτών καυσίμων και σταθμών αυτοκινήτων δημόσιας χρήσης που διαθέτουν αντλίες καυσίμων προβλέπονται από το ΦΕΚ 2927B του 2012. Ο καθορισμός των όρων και προϋποθέσεων ίδρυσης και λειτουργίας πρατηρίων υγρών καυσίμων, υγραερίου και φυσικού αερίου, εντός λιμενικής ζώνης και τουριστικών λιμένων (μαρίνες), για την αποκλειστική διάθεση καυσίμων σε σκάφη πραγματοποιείται στο ΦΕΚ 88B του 2015. Οι προϋποθέσεις και τα μέτρα ασφαλείας για την παραλαβή πετρελαιοειδών καταλοίπων βρίσκονται στο ΦΕΚ 700B του 2003. Οι εγκαταστάσεις και η λειτουργία αντλιών καυσίμων προ πρατηρίων ορίζονται από το ΦΕΚ 119<sup>A</sup> του 2006. Η χρήση του LNG ως καύσιμο για πλοία δεν προβλέπεται στην ελληνική νομοθεσία.

**Πίνακας 17 Ελληνική Νομοθεσία για Πετρέλευση [35-37]**

Κωδικός Νομοθεσίας	Αντικείμενο Νομοθεσίας
ΦΕΚ 88 19.01.15	Πρατήρια καυσίμων εντός λιμενικής ζώνης
ΦΕΚ 700 4.06.03 απόφαση 1	Παραλαβή πετρελαιοειδών καταλοίπων από πλοία
ΦΕΚ 119 16.06.06 ΠΔ 118 (έχει τροποποιηθεί από εγκύκλιο #11 -2007)	Εγκαταστάσεις και λειτουργία αντλιών καυσίμων προ πρατηρίων
ΦΕΚ 2927 1.11.12	Ελάχιστη απόσταση ασφαλείας μικτών πρατηρίων

ΦΕΚ 129 Α ΠΔ 293 22.08.86	Ασφαλής πετρέλευση πλοίων
Υπουργική απόφαση 3231.8/1/89	Πλωτές ευκολίες υποδοχής πετρελαιοειδών καταλοίπων
ΦΕΚ2726 Β 18.11.11 Ειδικός Κανονισμός Λιμένα Πειραιά #190	Αγκυροβολία
Κανονισμός πετρέλευσης λιμένος Πειραιά	Διαδικασίες Πετρέλευσης στο λιμάνι του Πειραιά
Διενέργεια Πετρέλευσης στο Κεντρικό Λιμεναρχείο Ρόδου	Διαδικασίες Πετρέλευσης στο λιμάνι της Ρόδου

### Προτάσεις για Ενσωμάτωση Νομοθεσίας Ανεφοδιασμού με LNG

Η ελληνική νομοθεσία δεν προβλέπει τη χρήση LNG ως καύσιμο πλοίου. Αυτό το νομοθετικό κενό μπορεί να καλυφθεί είτε με την ενσωμάτωση των διεθνών οδηγιών και κανονισμών μέσω προεδρικού διατάγματος είτε με την αφομοίωση τους από τους κανονισμούς των λιμανιών. Πιο συγκεκριμένα ο ανεφοδιασμός πλοίων με καύσιμο το υγροποιημένο φυσικό αέριο και οι αναγκαίες πρακτικές κατά τον ανεφοδιασμό με αυτό μπορούν να γίνουν σύμφωνα με την οδηγία ISO TC 67/WG 10. Το ίδιο και η εκπαίδευση του προσωπικού του λιμενικού και των λιμενεργατών. Η μεταφορά του καυσίμου από τους τερματικούς σταθμούς LNG μέχρι τις δεξαμενές αποθήκευσης μπορεί να γίνει σύμφωνα με τους κανονισμούς SEVESO II που απευθύνονται στο χειρισμό και τη χρήση εξαιρετικά επικίνδυνων ουσιών ή αυτούς του κεφαλαίου 7 του SOLAS για τη μεταφορά των επικίνδυνων ουσιών. Η μεταφορά του από πλοίο σε πλοίο μπορεί να ακολουθήσει τους Σουηδικούς κανονισμούς είτε τους διεθνείς OCIMF/SIGTTO (ship to ship transfer guide(liquefied gases-2<sup>nd</sup> edition)).[38] Στις εγκαταστάσεις του LNG είναι σύνηθες να χρησιμοποιούνται οι νόμοι και οι κανονισμοί που αφορούν το LPG (οι ελληνικοί κανονισμοί για τις δεξαμενές υγραερίου εκδόθηκαν στο ΦΕΚ 88 στις 19/1/2015), εξαιτίας έλλειψης νομοθετικού πλαισίου. Για την προστασία από τη ρύπανση εξαιτίας διαρροής του LNG ενδείκνυται να χρησιμοποιηθεί το τμήμα της ευρωπαϊκής νομοθεσίας ATEX που αφορά τις εκρηκτικές ατμόσφαιρες. Η ενσωμάτωση τόσο του κώδικα IGF όσο και του MSC 285(86) για τα πλοία μπορεί να γίνει μέσω προεδρικού διατάγματος. Τα λιμάνια μπορούν να ενσωματώσουν στους κανονισμούς τους τις διεθνείς οδηγίες σε περίπτωση καθυστέρησης της ελληνικής νομοθεσίας, όπως και τους κανόνες του λιμανιού του Rotterdam. Χαρακτηριστικός είναι ο ανεφοδιασμός τη νύχτα και χωρίς επιβάτες πάνω στο πλοίο (οδηγία που αφορά γενικά την πετρέλευση στο λιμάνι της Ρόδου). Χρήσιμες για τα λιμάνια μπορεί να θεωρηθούν οι λίστες ανεφοδιασμού για LNG που προτείνονται από τη Σουηδική Ναυτική Αρχή στην περίπτωση του ship to ship bunkering, τη λίστα του Antwerp και τις λίστες για κάθε περίπτωση ανεφοδιασμού με ΥΦΑ του WPCI(World Ports Climate Initiative).[19] Το προεδρικό διάταγμα 392 του 1986 χρειάζεται τροποποιήσεις σε ορισμένα άρθρα του, ώστε να γίνει προσαρμογή και στις απαιτήσεις των συνθηκών της πετρέλευσης με LNG.

Πίνακας 18 Συγκεντρωτικός Πίνακας Κανονισμών

Κανονισμός	Νορβηγία	Δανία	Σουηδία	Γερμανία	Ολλανδία
<b>Καύσιμα</b>					
Ανεφοδιασμός ΥΦΑ από ξηρά/όχημα	+	N.A.	+	+	+
Ανεφοδιασμός ΥΦΑ από πλοίο	N.A.	N.A.	+	N.A.	+(Rotterdam)
Πλοία που κινούνται με ΥΦΑ ή αέριο	+	+	N.A.	+	N.A.
<b>Ασφάλεια</b>					
Διαχείριση εύφλεκτων ουσιών	+	N.A.	N.A.	+	N.A.
Διαχείριση ουσιών και εξοπλισμού υπό πίεση	+	N.A.	N.A.	N.A.	+
Διαχείριση ατυχημάτων	+	+	N.A.	N.A.	+
Κανονισμοί αερίων	+	+	N.A.	N.A.	+
Μεταφορά επικίνδυνων εμπορευμάτων	+	+	N.A.	+	N.A.
<b>Εγκαταστάσεις</b>					
Κατασκευή εγκαταστάσεων ΥΦΑ		+	N.A.	N.A.	+
Αποθήκευση ΥΦΑ	N.A.	N.A.	+	N.A.	+
<b>Προσωπικό</b>					
Εκπαίδευση προσωπικού	+	N.A.	N.A.	N.A.	+(Rotterdam)



## Κεφάλαιο 3

### Ανάλυση Κύκλου Ζωής και Ατυχήματα με LNG πλοία

#### 3.1 Θεωρία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Η ανάλυση κύκλου ζωής (AKZ) ή Life Cycle Assessment (LCA) είναι μία συστηματική και αναλυτική μέθοδος που βοηθάει στην αναγνώριση, εκτίμηση και ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από μια μεμονωμένη δραστηριότητα ή μια πλήρη διαδικασία παραγωγής. Βασικές παράμετροι της διαδικασίας αποτελούν τα ισοζύγια ενέργειας και υλικών της παραγωγικής διαδικασίας, οι ενεργειακές απαιτήσεις του συστήματος και κατ' επέκταση οι πρώτες ύλες και η καύσιμη ύλη που απαιτούνται, καθώς και ο τρόπος εναπόθεσης των παραπροϊόντων της διαδικασίας.[39]

Η ανάλυση κύκλου ζωής αποτιμά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας, από «το λίκνο έως τον τάφο».[40] Ο κύκλος ζωής ξεκινάει με την συγκέντρωση των πρώτων υλών από το έδαφος, συνεχίζει με την παραγωγή του προϊόντος, τη χρήση, τη μεταφορά, τη διαχείριση αποβλήτων και τελειώνει με την επιστροφή των υλικών στο έδαφος από όπου και αρχικά συγκεντρώθηκαν (τελική διάθεση). Η ανάλυση κύκλου ζωής αξιολογεί όλα τα στάδια της ζωής ενός προϊόντος από τον σχεδιασμό της παραγωγής και την πλήρη βιομηχανοποίησή του έως την βιομηχανική εκμετάλλευση των ακατέργαστων υλικών πέρα από την διανομή, τη χρήση και κατανάλωση συμπεριλαμβανομένης της χρήσης και αποκομιδής, καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεθόδων παραγωγής του. Στοχεύει στη βελτιστοποίηση των προϊόντων και των διαδικασιών.[41]

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι μελετών της ανάλυσης κύκλου ζωής: ο εκτεταμένος και ο συγκριτικός τύπος μελέτης της ανάλυσης κύκλου ζωής. Η εκτεταμένη AKZ προσπαθεί να είναι όσο το δυνατόν πληρέστερη, αντιπροσωπεύοντας όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός προϊόντος, ενώ η συγκριτική AKZ προσπαθεί να περιγράψει τις περιβαλλοντικές συνέπειες των εναλλακτικών τρόπων δράσης. Η συγκριτική AKZ ασχολείται με ερωτήματα όπως, ποιά θα ήταν η περιβαλλοντική συνέπεια, αν καύσιμο Α χρησιμοποιείται αντί του καυσίμου Β. Η εκτεταμένη AKZ από την άλλη πλευρά αντιμετωπίζει ερωτήματα όπως, τι είναι το συνολικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο των θαλάσσιων μεταφορών με καύσιμα Α[40].

Η ανάλυση του κύκλου ζωής σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14044 αποτελείται από τέσσερα βασικά στάδια.

1. Προσδιορισμός στόχου και έκτασης της μελέτης.  
Καθορίζεται ο σκοπός, το αντικείμενο και η πιθανή εφαρμογή της μελέτης. Επίσης προσδιορίζονται σαφώς τα όρια του συστήματος και ορίζεται η λειτουργική μονάδα, στην οποία ανάγονται τα αποτελέσματα.
2. Ανάλυση και καταγραφή δεδομένων για το σύστημα.  
Συλλέγονται και παρουσιάζονται δεδομένα εισόδου και εξόδου του υπό εξέταση συστήματος. Αναγνωρίζονται, συνοψίζονται και ποσοτικοποιούνται η ενέργεια, το νερό και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση. Μεγάλη σημασία πρέπει να δίνεται στην αξιοπιστία των δεδομένων εισόδου και των πηγών προέλευσής τους.
3. Εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λειτουργία του συστήματος.  
Αξιολογούνται όλες τις συνέπειες των εξόδων του υπό εξέταση συστήματος στην υγεία των ανθρώπων, στη διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων και στο περιβάλλον,

αφού ταξινομηθούν και κανονικοποιηθούν. Εδώ ποσοτικοποιούνται τα αποτελέσματα των διεργασιών που επιβαρύνουν το περιβάλλον, όπως οι αέριοι ρύποι, τα απόβλητα, τα παραπροϊόντα και η θερμότητα.

#### 4. Εκτίμηση βελτιώσεων του συστήματος.

Βοηθά στο να εξασφαλιστούν οι βέλτιστες δυνατές στρατηγικές μείωσης και τα προγράμματα βελτίωσης που δεν θα δημιουργούν επιπρόσθετες απρόβλεπτες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και την υγεία του περιβάλλοντος.[41]

#### *Λειτουργική Μονάδα*

Προκειμένου να καταστεί εφικτή η ποσοτικοποίηση των εισόδων, των εξόδων και των πιθανών επιπτώσεων του υπό μελέτη προϊόντος ή διαδικασίας ορίζεται μία λειτουργική μονάδα (π.χ. ένας τόνος προϊόντος), η οποία χρησιμοποιείται σαν μονάδα αναφοράς για όλα τα ρεύματα εισροής και εκροής. Με τον ορισμό της λειτουργικής μονάδας επιτυγχάνεται η αδιαστατοποίηση των εισροών και των δεδομένων, η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών κύκλων ζωής προϊόντος και η πραγματοποίηση υπολογισμών στο λογισμικό.

#### *Καθορισμός Στόχου*

Προσδιορίζεται ο τελικός σκοπός της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, δηλαδή το ερώτημα στο οποίο απαντά η μελέτη. Συχνά επισημαίνεται ο ρόλος που παίζει η ΑΚΖ στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός του φιλικότερου προς το περιβάλλον τρόπου μεταφοράς κι ανεφοδιασμού του υγροποιημένου φυσικού αερίου.

#### *Προσδιορισμός Ορίων Συστήματος*

Τα όρια του συστήματος προσδιορίζονται σύμφωνα με τους καθορισμένους στόχους της ΑΚΖ. Στον καθορισμό τους λαμβάνονται υπόψη τα διαθέσιμα μέσα, το χρονικό πλαίσιο και η διαθεσιμότητα των αναγκαίων δεδομένων, ο χώρος και η έκταση του ισοζυγίου ενέργειας και μάζας. Τα όρια του συστήματος σηματοδοτούν την αλληλεπίδραση του περιβάλλοντος και άλλων συστημάτων. Τέλος τα όρια ορίζουν ποιές διαδικασίες περιλαμβάνονται ή αποκλείονται από την επισκόπηση.

Τα όρια της παρούσας εργασίας περιλαμβάνουν τα υλικά και την ενέργεια που απαιτήθηκαν για την κατασκευή, τη συντήρηση και τη λειτουργία (εκπομπές καύσης κατά τη διανομή του καυσίμου) του εξοπλισμού, όπως και για την κατασκευή και τη συντήρηση των κεφαλαιουχικών αγαθών που συνδέονται με τη χρήση του (π.χ. λιμάνια). Συμπεριλαμβάνονται επίσης οι εκπομπές εξαιτίας της μεταφοράς των υλικών για την κατασκευή του εξοπλισμού και των αγαθών. Τα όρια περιλαμβάνουν τις εκπομπές από την πλήρωση των μέσων μεταφοράς με καύσιμο, τον ανεφοδιασμό των πλοίων και την αποθήκευση του καυσίμου. Τέλος, περιλαμβάνουν τη διάλυση των δεξαμενών και των containers.

Εκτός ορίων αφήνονται οι εκπομπές από την εξόρυξη, την παραγωγή και τη μεταφορά του καυσίμου στο τερματικό εισαγωγής, όπως και η επεξεργασία της ιλύος του πετρελαίου και των χρησιμοποιούμενων λαδιών, η παραγωγή πετρελαίου λίπανσης, η διάλυση του εξοπλισμού μεταφοράς, οι εκπομπές λόγω ελιγμών των πλοίων και η απαιτούμενη ενέργεια για την κατασκευή των δεξαμενών και των containers.

### Κατανομή

Όταν υπάρχουν συζευγμένες παραγωγές, δηλαδή όταν πολλά προϊόντα (ή λειτουργίες) μοιράζονται τις ίδιες διαδικασίες και το περιβαλλοντικό φορτίο αυτών των διαδικασιών εκφράζεται μόνο σε μία λειτουργία, τότε αναδύονται προβλήματα κατανομής. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από συζευγμένες διεργασίες θα πρέπει να αθροίζονται σε αναλογία με όλα τα συζευγμένα προϊόντα, σύμφωνα με μία συγκεκριμένη διαδικασία. Οι κατανομές προκύπτουν είτε με βάση φυσικές σχέσεις μεταξύ των προϊόντων και των ρευμάτων εισόδου είτε με βάση οικονομικά μεγέθη. Σε περίπτωση που δεν είναι εφικτό να προκύψουν από τους παραπάνω τρόπους, κρίνεται απαραίτητη η χρήση της μεθόδου ανάλυσης ευαισθησίας. Ένα παράδειγμα μιας διαδικασίας με πολλαπλές εξόδους είναι διύλιση του αργού πετρελαίου, από την οποία παράγονται μια σειρά από προϊόντα (π.χ. υγροποιημένο πετρελαϊκό αέριο, βενζίνη, ντίζελ, άσφαλτος), οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της οποίας πρέπει να κατανεμηθούν σε όλα τα προϊόντα.

Τα αποτελέσματα των ισολογισμών χρησιμοποιούνται στο τέλος για τον υπολογισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η εκτίμηση των επιπτώσεων περιλαμβάνει την αναγνώριση, τη σύνοψη και την ποσοτικοποίηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων των εξεταζόμενων συστημάτων. Οι κατηγορίες επιπτώσεων περιλαμβάνουν πιθανές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία, στο περιβάλλον και στην εξάντληση των φυσικών πόρων.[40]

Οι κατηγορίες επιπτώσεων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα ανάλυση είναι οι ακόλουθες.

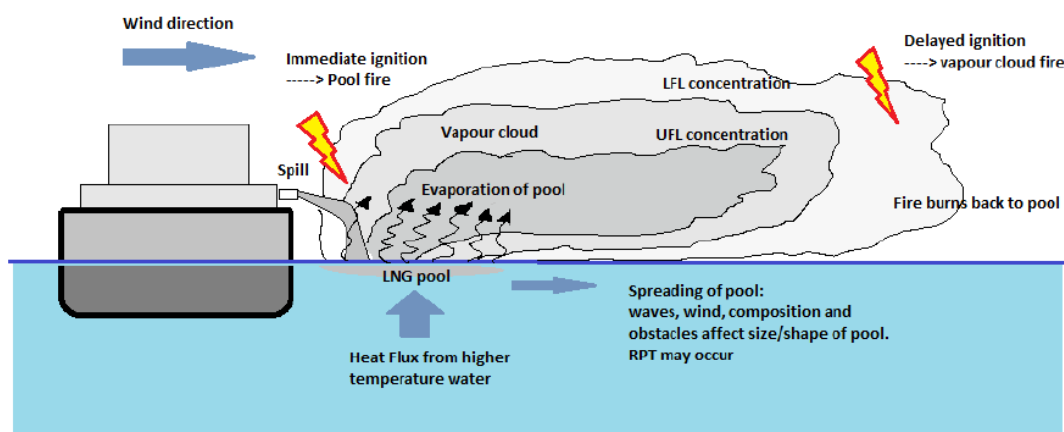
- Επίδραση καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.
- Επίδραση μη καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.
- Επίδραση ανόργανων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων.
- Ιονίζουσα ακτινοβολία
- Μείωση του στρώματος του όζοντος
- Επίδραση οργανικών σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων
- Τοξικότητα υδάτινου οικοσυστήματος
- Τοξικότητα χερσαίου οικοσυστήματος
- Οξύνιση του εδάφους
- Χρήση γης
- Οξύνιση Υδάτινου Φορέα
- Ευτροφισμός υδάτινου οικοσυστήματος
- Φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Εξόρυξη πρώτων υλών [39]

### 3.2 ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΜΕ LNG

Το LNG αποτελεί ένα νέο καύσιμο για τη ναυτιλία. Ωστόσο υγραεριοφόρα LNG πλοία πραγματοποιούν ταξίδια από το 1959, χωρίς να υπάρξει καμία σημαντική απώλεια φορτίου και κανένα ατύχημα, στο οποίο να εκδηλώθηκε έκρηξη ή πυρκαγιά κατά διαδικασία της μεταφοράς.[42] Όπως όλα τα καύσιμα, έτσι και το LNG, εκθέτει σε κίνδυνο την ανθρώπινη

υγεία και τα κεφαλαιουχικά αγαθά (πλοία, εξοπλισμό, κατασκευές, λιμάνια, κτίρια). Κάποιοι από κινδύνους είναι κοινοί σε όλα τα καύσιμα, όπως η πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς, ενώ άλλοι αφορούν αποκλειστικά το LNG, όπως καταστροφές του εξοπλισμού εξαιτίας παρατεταμένης έκθεσής του σε κρυογονικές θερμοκρασίες.

Οι κύριοι κίνδυνοι, που αναδύονται από τη χρήση του LNG ως καύσιμο, οφείλονται στην κρυογονική θερμοκρασία του (-162 °C), τη δυνατότητα ανάφλεξης και τα χαρακτηριστικά διασποράς του αερίου που προκύπτει όταν θερμανθεί. [43]



Εικόνα 7 Ατυχήματα Διαρροής LNG από δεξαμενή πλοίου στο νερό Πηγή: *Emergency and Incident Response Study*

#### Διαρροή ατμού

Η διαρροή ατμού είναι ένα φαινόμενο, κατά το οποίο στιγμιαία ή συνεχής διαρροή LNG που βρίσκεται σε ατμοσφαιρική πίεση ή κοντά σε αυτή οδηγεί στο σχηματισμό λίμνης. Επειδή η θερμοκρασία του νερού ή του εδάφους είναι υψηλότερη, η λίμνη εξατμίζεται γρήγορα.

Η διαρροή από δεξαμενές υψηλής πίεσης ή θερμοκρασίας οδηγεί σε απελευθέρωση δύο φάσεων, δηλαδή το 17% απελευθερώνεται υπό μορφή αερίου το υπόλοιπο καύσιμο παραμένει υγρό κατά τη διαρροή και σχηματίζει μία λίμνη.[43]

#### Σχηματισμός λίμνης και ψαθυρή θραύση

Η παρατεταμένη επαφή υλικού με το LNG (που αποτελεί κρυογονικό υγρό) ή ο εμποτισμός του σε αυτό (που αποτελεί κρυογονικό υγρό) για μεγάλο χρονικό διάστημα οδηγεί σε χώρα ψαθυρή θραύση των δομικών χαλύβων. Η πιθανότητα δημιουργίας λίμνης υγροποιημένου φυσικού αερίου ως επακόλουθο διαρροής εξαιτίας της ψαθυρής θραύσης είναι μικρή. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο σε δεξαμενές μικρής χωρητικότητας αποθηκεύεται πάντοτε υπό πίεση. Όταν διαρρέι υπό πίεση από ένα ρήγμα του δοχείου, ένα μεγάλο τμήμα του υγρού εξατμίζεται πριν μπορέσει να σχηματίσει λίμνη. Αρχικά η μείωση της πίεσης αναγκάζει μέρος του υγρού να βράσει στο σημείο φλας (flash boil), προκειμένου να αποκτήσει την πίεση του περιβάλλοντος, οπότε εξατμίζεται 5% έως 25% του υγρού ανάλογα με την αρχική του πίεση. Το υπόλοιπο υγρό ρεύμα διασπάται σε άτομα στον αέρα. Η διάσπαση επιταχύνει τη μεταφορά θερμότητας από τον αέρα στο υγρό και ανάλογα με την ταχύτητά του, εξατμίζει περαιτέρω ένα άλλο 15-20% του υγρού ρεύματος. Το υγρό που απομένει, προσπίπτει στο έδαφος. Πριν το υγρό σχηματίσει λίμνη, πρέπει να ψύξει το έδαφος σε κρυογονικές

θερμοκρασίες. Ανάλογα με τη θερμική μάζα του περιβάλλοντα χώρου, μπορεί να εξατμιστεί γρήγορα ένα επιπλέον 20-25% του υγρού. Συνήθως οι μηχανισμοί της διαδικασίας φλας και η διάσπαση του υγρού σε άτομα έχουν ως αποτέλεσμα να μη μείνει καθόλου υγρό στο έδαφος. Σε σπάνιες περιπτώσεις, μία λίμνη θα ξεκινήσει να σχηματίζεται, αλλά ο όγκος της λίμνης θα είναι ένα μικρό κλάσμα του αρχικού όγκου του υγρού. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η παρατεταμένη έκθεση του εξοπλισμού σε κρυογονική θερμοκρασία είναι περιορισμένη. Ωστόσο είναι δυνατό να εμφανιστούν τοπικές ρωγμές από άμεση επαφή του εξοπλισμού με το υγρό.[44]

### Πυρκαγιά

Κατά τη διαρροή του το LNG ρέει προς τα κάτω και αρχίζει να εξατμίζεται. Αρχικά, το αέριο δημιουργεί ένα νέφος ατμού πάνω από το υγρό που διαρρέει. Καθώς το αέριο θερμαίνεται, αναμιγνύεται με τον περιβάλλοντα αέρα και αρχίζει να διαλύεται σε αυτόν. Το σύννεφο που δημιουργείται από την ανάμειξη θα αναφλεγεί αν συναντήσει μια πηγή ανάφλεξης, ενώ βρίσκεται σε συγκέντρωση εντός του εύρους αναφλεξιμότητάς του, δηλαδή 5-15% κατ'όγκο. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πυρκαγιά λάμψης και επακόλουθη πυρκαγιά λίμνης, παρόμοια με εκείνη του ντίτζελ, θέτοντας σε κίνδυνο τους ανθρώπους και προκαλώντας ζημιές στον εξοπλισμό. Λόγω της σχετικά χαμηλής πίεσης της δεξαμενής LNG, υγρό ή ατμός, δε θα εκτοξευθούν από τη δεξαμενή σε ένα jet υψηλής ταχύτητας (όπως είναι δυνατόν να συμβεί με μια δεξαμενή CNG), επομένως είναι μικρότερος ο κίνδυνος πυρκαγιάς jet ή «πυρκαγιάς torch». Σε περίπτωση που λαμβάνει χώρα διαρροή σε ένα περιορισμένο χώρο, όπου οι ατμοί του μεθανίου συσσωρεύονται σε συγκέντρωση 5-15%, υπάρχει ο κίνδυνος έκρηξης κατά την επαφή με πηγή θερμότητας. Η καύση αυτή είναι παρόμοια με έκρηξη αερίου από μία παραδοσιακή διαρροή αερίου. Ωστόσο, το LNG σε μία δεξαμενή, δεν διαθέτει επαρκές οξυγόνο για να υποστηρίξει την καύση, οπότε αν δεν υπάρχει πηγή ανάφλεξης υψηλής θερμοκρασίας μέσα στη δεξαμενή, μια διαρροή μπορεί να προκαλέσει πυρκαγιά χωρίς όλα τα περιεχόμενα της δεξαμενής να αναφλεγούν ακαριαία.[44]

#### *1. Πυρκαγιά λίμνης*

Στην περίπτωση της άμεσης ανάφλεξης των ατμών αερίου πάνω από τη λίμνη υγροποιημένου φυσικού αερίου, το LNG θα καεί σε διαφορετικούς ρυθμούς ( $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ ) ανάλογα με το αν η λίμνη είναι στην ξηρά ή στο νερό. Η ένταση της εκλυόμενης θερμότητας είναι σημαντικά υψηλότερη από ό,τι στα άλλα καύσιμα δίνοντας τη δυνατότητα για πιθανή εξάπλωση πυρκαγιάς σε παρακείμενα υλικά κι εξοπλισμό μέσω της θερμότητας που ακτινοβολείται από τη φλόγα.[43]

#### *2. Πυρκαγιά λάμψης*

Η πυρκαγιά λάμψης εκδηλώνεται όταν ατμοί από μια στιγμιαία ή συνεχή διαρροή απελευθερώνονται σε μια υπήνεμο κατεύθυνση προς μια πηγή ανάφλεξης και αναφλέγονται. Όταν το τμήμα του νέφους ατμού μεταξύ του κατώτερου ορίου ανάφλεξης (lower flammable limit-LFL) και ανώτερου ορίου ανάφλεξης (upper flammable limit-UFL) βρίσκει πηγή ανάφλεξης, οι φλόγες διαδίδονται μέσα από το σύννεφο, αν και σε σχετικά χαμηλές ταχύτητες 10-12 m / sec, υπό την προϋπόθεση ότι το σύννεφο ατμών δε συναντά εμπόδια υψηλής πυκνότητας (συμφόρηση). Στην πυρκαγιά λάμψης η ανάφλεξη ταξιδεύει πίσω στην πηγή (λίμνη ή σημείο διαρροής).[43]

### 3. Πυρκαγιά jet

Η πυρκαγιά jet εκδηλώνεται όταν η διαρροή ενός πεπιεσμένου αερίου ή υγρού σχηματίζει ένα σύννεφο ατμού που αναφλέγεται. Όταν αναφλεγεί το σύννεφο ατμών, φλόγες θα διαδοθούν πίσω στην πηγή, όμως η πυρκαγιά jet θα ξεκινήσει από το σημείο της διαρροής του υπό πίεση αερίου. Η ένταση της θερμότητας που απελευθερώνεται είναι πολύ υψηλή > 300 kW / m<sup>2</sup>. Μια πυρκαγιά jet μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία του εξοπλισμού, όπως των δεξαμενών και σωληνώσεων, σε περίπτωση που δεν είναι μονωμένοι αποτελεσματικά. Οι δεξαμενές πίεσης LNG απλής μόνωσης είναι πολύ ευάλωτες στις πυρκαγιές jet και πιθανή αστοχία τους θα μπορούσε να προκαλέσει ξαφνική διαρροή και μπάλες φωτιάς (BLEVE).[43]

#### Ατυχήματα εξαιτίας Αλλαγής Φάσης και Υπερπίεσης

Εάν το δοχείο υγροποιημένου φυσικού αερίου θερμανθεί έτσι ώστε να αστοχήσουν η εξωτερική δεξαμενή, η μόνωση και συσκευές εκτόνωσης της πίεσης, τότε η εσωτερική δεξαμενή δεν είναι δομικά σε θέση να κρατήσει το φυσικό αέριο είτε στη θερμοκρασία περιβάλλοντος είτε σε άλλη υψηλή θερμοκρασία και συνεπώς θα αστοχήσει. Παρακάτω παρουσιάζονται αστοχίες διαφορετικού τύπου.[44]

#### Αστοχία Σκάφους λόγω Υπερπίεσης

Οι εκρήξεις κατά τη μετάβαση του LNG από υγρή σε αέρια κατάσταση σχετίζονται με το μετασηματισμό ταχείας φάσης. Η δεξαμενή αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου θα μπορούσε να αστοχήσει λόγω υπερπίεσης (π.χ., λόγω βρασμού του αερίου από εισροή θερμότητας από το περιβάλλον ή λόγω έκθεσης σε φωτιά). Το μέγεθος και ο αριθμός των συσκευών απελευθέρωσης πίεσης και ο συντελεστής ασφαλείας των δεξαμενών LNG καθιστούν την πιθανότητα αστοχίας του σκάφους λόγω υπερπίεσης εξαιρετικά χαμηλή.[44]

#### 1. Ταχεία Μεταβατική Φάση (Rapid Phase Transition-RPT)

Η ταχεία μεταβατική φάση είναι φυσική έκρηξη που προκύπτει ως αποτέλεσμα του βρασμού του κρυογονικού LNG μέσω της επαφής με ζεστό νερό. Οι υπερπίεσεις που προκαλούνται από την ταχεία μεταβατική φάση περιορίζονται στην περιοχή γύρω από τη διαρροή.

Αν απελευθερώνονται στο νερό μεγάλοι όγκοι LNG, η άμεση επαφή του LNG με αυτό οδηγεί σε έντονη μεταφορά θερμότητας μεταξύ LNG και νερού και σε ταχεία εξάτμιση του καυσίμου. Η εκδήλωση της ταχείας μεταβατικής φάσης (RPT) κυμαίνεται από μικρές σπίθες έως μέτριες εκρήξεις, αρκετά μεγάλες όμως, για να προκαλέσουν καταστροφές σε ελαφριές κατασκευές. Δεδομένων των σχετικά μικρών όγκων LNG που εμπλέκονται και των χαμηλών ρυθμών απελευθέρωσης, η ένταση της ταχείας μεταβατικής φάσης κατά τη μεταφορά υγροποιημένου φυσικού αερίου θα είναι πολύ μικρή.

Δοκιμές έχουν δείξει ότι το φαινόμενο της ταχείας μεταβατικής φάσης θα μπορούσε να παρατηρηθεί όταν η θερμοκρασία του νερού είναι υψηλή (12-17<sup>0</sup>C ανάλογα με την ένταση ανάμιξης) και μία χαμηλή σύνθεση του μεθανίου είναι παρούσα στο κρυογονικό μείγμα. Τα πρόσφατα γεγονότα έχουν δείξει ότι η ταχεία μεταβατική φάση μπορεί επίσης να προκύψει εάν θερμό αέριο εισάγεται σε ένα σωλήνα που περιέχει LNG.[43]

## 2. Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE)

### Δεξαμενή

Ένα γεγονός BLEVE συμβαίνει όταν η δεξαμενή υγροποιημένου φυσικού αερίου αστοχήσει λόγω αυξημένης πίεσης. Συχνά οφείλεται στο αποτέλεσμα της πρόσκρουσης φλόγας (πυρκαγιά jet) ή σε μηχανική πρόσκρουση επί του στοιχείου συγκράτησης του κελύφους της δεξαμενής. Η προκύπτουσα πτώση στην πίεση και η ανάφλεξη των τεράστιων ποσοτήτων ατμού που απελευθερώνονται έχουν ως συνέπεια έκρηξη ατμών (BLEVE), η οποία αναγνωρίζεται συχνά ως μια μπάλα φωτιάς και μία επακόλουθη έκρηξη.

Δεξαμενές αυξημένης πίεσης και με ενιαία κατασκευή τοιχωμάτων έχουν αυξημένες πιθανότητες να υποστούν ζημιά με τρόπο BLEVE.[43]

Οι δεξαμενές χωρίς κατάλληλα σχεδιασμένη μόνωση είναι πιο επιρρεπείς σε BLEVE γεγονότα:

Το πεπεσμένο υγρό σε δεξαμενή χωρίς μόνωση θα βράσει, αυξάνοντας την πίεση ατμών. Επειδή το υπόλοιπο σκάφος δεν είναι μονωμένο, αυξάνεται η θερμοκρασία στο άνω τμήμα του τοιχώματος του σκάφους και συνεπώς μειώνεται η αντοχή του. Εάν η θερμοκρασία του υλικού ξεπεράσει μία κρίσιμη τιμή, η δεξαμενή αστοχεί προκαλώντας την απελευθέρωση ατμών υψηλής πίεσης στο σκάφος. Η ταχεία αλλαγή φάσης δημιουργεί ένα κύμα πίεσης, που προκαλεί έκρηξη καταστρέφοντας το δοχείο. Η προκύπτουσα σημειακή αστοχία προκαλεί ταχεία μείωση της πίεσης, αλλαγή φάσης και επακόλουθη αύξηση της πίεσης. Η διαρροή καυσίμου εξαιτίας της αστοχίας συμβάλλει στην τροφοδότηση της πυρκαγιάς. Για τον παραπάνω λόγο οι συσκευές εκτόνωσης πίεσης (PRDS) πρέπει να έχουν τέτοιο μέγεθος, ώστε να κρατούν τις πιέσεις στο εσωτερικό της δεξαμενής κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια-τα οποία καθορίζονται από τα οδηγίες του σκάφους- μειώνοντας την πιθανότητα εμφάνισης τέτοιων γεγονότων.[44]

## 3. ΕΚΡΗΞΕΙΣ ΣΥΝΝΕΦΟΥ ΑΤΜΟΥ

Η διαρροή υγροποιημένου φυσικού αερίου θα σχηματίσει γρήγορα ένα εύφλεκτο σύννεφο ατμού. Αν το εύφλεκτο σύννεφο ατμού συσσωρευτεί σε μια ιδιαίτερα κορεσμένη περιοχή (ή σε περιορισμένο χώρο) και αναφλεγεί, η διαδικασία καύσης μπορεί να είναι τόσο ταχεία, ώστε να δημιουργηθεί ένα εκρηκτικό κύμα πίεσης. Επίσης, αν υπάρξει καθυστέρηση στην ανάφλεξη και το σύννεφο είναι σε ένα κλειστό ή υψηλής πυκνότητας εμποδίων (συμφόρηση) χώρο, τότε η προκύπτουσα διάδοση της φλόγας θα πραγματοποιηθεί με αυξημένη ταχύτητα σε τέτοιο βαθμό, που θα προκαλέσει υπερπίεση, υλικές ζημιές και τραυματισμούς σε ανθρώπους. Το μεθάνιο κατατάσσεται ως ένα από τους λιγότερο ενεργούς υδρογονάνθρακες όσον αφορά στην πυρκαγιά και δεν εκρήγνυται σε ανοικτό χώρο.[43], [44]

### ΑΣΦΥΞΙΑ

Η ασφυξία αποτελεί κατάσταση σοβαρής ανεπάρκειας παροχής οξυγόνου στο σώμα, που προκύπτει από ανώμαλη αναπνοή και μπορεί να προκαλέσει κόμα ή θάνατο. Η ασφυξία προκαλεί γενικευμένη υποξία, η οποία επηρεάζει κυρίως τους ιστούς και τα όργανα.

Το μεθάνιο είναι ασφυξιογόνο αέριο. Ασφυξία μπορεί να προκληθεί εάν η συγκέντρωση οξυγόνου μειωθεί σε ποσοστό χαμηλότερο περίπου του 16%. Η συγκέντρωση του μεθανίου στην οποία ο κίνδυνος ασφυξίας γίνεται σημαντικός είναι πολύ υψηλότερη από τη

συγκέντρωση 5-15% σε εύφλεκτα ή εκρηκτικά μείγματα. Μεθάνιο από το φυσικό αέριο μπορεί να διαπεράσει τα τοιχώματα και να εισέλθει στο εσωτερικό των καταλυμάτων εκθέτοντας το πλήρωμα του πλοίου σε σημαντικά επίπεδα μεθανίου. Ορισμένα πλοία έχουν ειδικά σχεδιασμένα συστήματα ανάκτησης κάτω από το κύριο επίπεδο του καταστρώματος τους για να δεσμεύουν το διαφυγόν φυσικό αέριο και για να το διώχνουν μακριά.[43]

### Κρυογονικά Αποτελέσματα

Οι δεξαμενές αποθήκευσης LNG αποσκοπούν στην πρόληψη της επαφής μεταξύ του LNG καυσίμου και του εσωτερικού και εξωτερικού κύτους του πλοίου, αλλά δυνητικά υπάρχουν περιστατικά, στα οποία το LNG καύσιμο θα μπορούσε να έρθει σε επαφή με το εσωτερικό ή εξωτερικό μέρος της γάστρας. Πιθανή διαρροή υγροποιημένου φυσικού αερίου στο εσωτερικό του κύτους θα προκαλέσει χαμηλές θερμοκρασίες σε περιοχές της δομής του τοιχώματος που δεν έχουν σχεδιαστεί για κρυογονικές θερμοκρασίες. Οι διεθνείς κανόνες σχεδιασμού πλοίων απαιτούν τα σημεία, όπου θα μπορούσε να αναμένεται διαρροή δεξαμενής φορτίου να είναι σχεδιασμένα για επαφή με κρυογονικό LNG.

Μια μελέτη του νηογνώμονα Lloyds (2001) περιλαμβάνει σύντομες περιγραφές 10 διαρροών υγροποιημένου φυσικού αερίου που σημειώθηκαν μεταξύ 1965 και 1989 και αφορούν πλοία μεταφοράς LNG. Επτά από τις δέκα αυτές διαρροές οδήγησαν σε καταστροφή του καταστρώματος ή των καλυμμάτων της δεξαμενής και μία οδήγησε το σκάφος να είναι εκτός διαθεσιμότητας για αρκετές εβδομάδες για επείγουσες επισκευές. Δεδομένων των σημείων, όπου συνέβησαν οι ζημιές (π.χ., στο κατάστρωμα ή κάλυμμα της δεξαμενής), είναι πιθανό όλες αυτές οι διαρροές να προέκυψαν από τα συστήματα σωληνώσεων, που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Τα σύγχρονα πλοία οφείλουν να συμμορφώνονται με τους ισχύοντες κανονισμούς του σχεδιασμού των πλοίων και είναι σχεδιασμένα με χάλυβα κατάλληλο για χαμηλές θερμοκρασίες σε περιοχές, όπου αναμένεται πιθανή διαρροή υγροποιημένου φυσικού αερίου, η οποία δύναται να επικοινωνήσει με καταστρώματα ή εσωτερικές κατασκευές.[43]

### Κρυοπαγήματα

Το ΥΦΑ και τα σύννεφα κρύου ατμού μπορούν να προκαλέσουν κρυοπαγήματα στο απροστάτευτο δέρμα σε περίπτωση μεγάλης διαρροής. Η ανεπαρκής μόνωση σε περίπτωση ατυχήματος προκαλεί πολύ χαμηλές θερμοκρασίες στο μεταλλικό εξοπλισμό, η άμεση επαφή με τον οποίο προκαλεί κρυοπαγήματα στο γυμνό δέρμα. Ο σωστός σχεδιασμός και η συντήρηση εξασφαλίζουν επαρκή μόνωση των σωληνώσεων και του εξοπλισμού για την αποφυγή τραυματισμών που προκαλούνται από την επαφή με ψυχρές επιφάνειες. Ο κίνδυνος κρυοπαγήματος είναι ανάλογος με τον κίνδυνο εγκαύματος μέσω της επαφής με την εξάτμιση ενός παραδοσιακού κινητήρα, αν η μόνωση αποτύχει. Ο εξοπλισμός πρέπει να επιτρέπει την τροφοδοσία μέσω συνδέσεων χωρίς διαρροές LNG. Οι λαβές στο ακροφύσιο δεν πρέπει να προκαλούν κρυοπαγήματα.

Σημαντική είναι η εξοικείωση του προσωπικού με τις διαδικασίες ασφαλείας. Ο εργαζόμενος που εκπονεί τη διαδικασία της τροφοδοσίας πρέπει να φοράει: μάσκα, θερμικά γάντια εγκεκριμένα για κρυογονική χρήση, μια κρυογονική μπλούζα (για να κρατήσει πιτσιλιές από υγρό στα ρούχα) και παπούτσια, που αντέχουν κρυογονικές θερμοκρασίες. Η συντήρηση των



συστημάτων καυσίμου LNG απαιτεί ειδική κατάρτιση στα κρυογονικά συστήματα δεδομένου ότι υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να έρθει το προσωπικό σε επαφή με κρύο υγρό ή αέριο κατά τη διάρκεια εργασιών συντήρησης.[44]

### Επίδραση στο Περιβάλλον

Το LNG από διαρροές εξατμίζεται εντελώς χωρίς να αφήνει κατάλοιπα που θα μπορούσαν να βλάψουν τα υπόγεια ύδατα ή τις υδάτινες οδούς. Ωστόσο οι διαρροές LNG αποτελούν απελευθέρωση μεθανίου στην ατμόσφαιρα, το οποίο αποτελεί ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου και πρέπει να ελαχιστοποιηθεί.[44]

### Σύγκρουση με άλλο πλοίο

Η σύγκρουση πλοίων που κινούνται με καύσιμο LNG ή το μεταφέρουν με πλοία που κινούνται με συμβατικά καύσιμα ενέχει τον κίνδυνο απώλειας του περιεχομένου των δεξαμενών καυσίμων ή φορτίου υγροποιημένου φυσικού αερίου.

Η κινητική ενέργεια του υγρού και η θέση της δεξαμενής επηρεάζουν την ποσότητα που διαρρέει και την έκβαση των ατυχημάτων. Μία σύγκρουση 90<sup>0</sup> ενός πλοίου με ένα άλλο (κάθετη σύγκρουση) αποτελεί πιθανό σενάριο σε μια περιοχή του λιμανιού, ενώ στις όχθες ποταμού είναι πιθανότερο το σενάριο σύγκρουσης πλήρους με πρύμνη, ατύχημα που έχει μικρότερο αντίκτυπο. Αν οι δεξαμενές των καυσίμων στα δεξαμενόπλοια και τα πλοία έχουν σχεδιαστεί σύμφωνα με τα πρότυπα του IMO, τότε υπάρχει διαχωριστική απόσταση τουλάχιστον 780 χιλιοστά μεταξύ του κύτους και της δεξαμενής.

Μελέτες έχουν οδηγήσει στον προσδιορισμό τριών σεναρίων διαρροής λόγω σύγκρουσης. Τα ρήγματα στις δεξαμενές ορίστηκαν ως τρύπες διαμέτρου 1.000 χιλιοστών, 150 χιλιοστών και 75 χιλιοστών, σε μια προσπάθεια εκτίμησης των ποσοστών αποδέσμευσης και των μεγεθών της φωτιάς στην πισίνα.

Τα ναυπηγεία ορίζουν ότι η μέγιστη χωρητικότητα μίας δεξαμενής για τις εσωτερικές πλωτές μεταφορές πρέπει να είναι περίπου 800m<sup>3</sup>. Ως εκ τούτου, μπορεί να γίνει μια άμεση συσχέτιση των εκτιμώμενων ποσοτήτων απελευθέρωσης για τα παραπάνω μεγέθη οπών από τον Πίνακα 19.

**Πίνακας 19 Αντιπροσωπευτικοί ρυθμοί διαρροής για το LNG σε ναυτικά ατυχήματα που συμπεριλαμβάνουν LNG πλοία και LNG (-138°C, 4 Barg), Πηγή: Fluxys**

Χωρητικότητα Πλοίου	Οπή (ø 75 mm)			Οπή (ø 150 mm)			Οπή (ø 1000 mm)		
	Ρυθμός (kg/s)	Διάρκεια (s)	Μάζα που Διαρρέει (tn)	Ρυθμός (kg/s)	Διάρκεια (s)	Μάζα που Διαρρέει (tn)	Ρυθμός (kg/s)	Διάρκεια (s)	Μάζα που Διαρρέει (tn)
800 m <sup>3</sup>	48,3	1.800	86,7	193,3	1.032	198,2	8.592	24	213,1

Σύγκρουση που οδηγεί σε ρήγμα στη δεξαμενή υγροποιημένου φυσικού αερίου θα μπορούσε να οδηγήσει σε διαρροή του υγρού στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ της δεξαμενής και του κύτους του πλοίου. Αν το ρήγμα είναι μεγάλο, είναι δυνατή η απελευθέρωση ΥΦΑ απ' ευθείας στο νερό.

Υπάρχει μια πιθανότητα η κρυογονική διαρροή να επηρεάσει τη κατασκευή του πλοίου και να αυξήσει το μέγεθος του ατυχήματος εξαιτίας της ψαθυρής θραύσης στη κατασκευή του πλοίου. Ωστόσο, τόσο ειδικός σχεδιασμός του πλοίου όσο και φυσικά φαινόμενα δρουν

περιοριστικά στην κλιμάκωση ατυχημάτων εξαιτίας των επιπτώσεων των κρυογονικών θερμοκρασιών (π.χ. διαχωρισμός δεξαμενής, διείδυση νερού, αλληλεπίδραση με το συγκρουόμενο σκάφος).

Το σημείο του ρήγματος επηρεάζει τα αποτελέσματα της διαρροής. Ρήγμα στη δεξαμενή ακριβώς πάνω από το επίπεδο του νερού προκαλεί μερική διαρροή του περιεχομένου της δεξαμενής.

Η επιπλέονσ αλίμη που σχηματίζεται στο νερό από τη διαρροή θερμαίνεται με αποτέλεσμα την εξάτμηση του LNG. Το βάθος του καυσίμου στη σχηματιζόμενη λίμη μπορεί να είναι κοντά στην εκροή έως και 100 χιλιοστά και να αραιώνει σε 1 mm στα άκρα της λίμης. Η διάδοση του LNG επηρεάζεται εκτός από το νερό και από τον άνεμο.

Το μέγεθος της λίμης θα σταθεροποιηθεί όταν ο ρυθμός διαρροής γίνει ίσος με το ρυθμό εξάτμησης του υγρού καυσίμου. Η διάμετρος της προκύπτουσας λίμης πριν από μια πιθανή καθυστερημένη ανάφλεξη έχει επίσης υπολογιστεί και φαίνεται στον Πίνακα 20, λαμβάνοντας το 800m<sup>3</sup> ως το πιο ισχύον σενάριο.

**Πίνακας 20 Εκτιμώμενες διάμετροι φωτιάς λίμης που προκύπτουν από διαρροή LNG μετά από ατύχημα και καθυστέρηση ανάφλεξης**

Χωρητικότητα Δεξαμενής	800 m <sup>3</sup>
Οπή (ø 75 mm)	9,2 m
Οπή (ø 150 mm)	18,3 m
Οπή (ø 1.000 mm)	115,7 m

Ένα ρήγμα στη δεξαμενή κάτω από τη στάθμη του νερού θα έχει διαφορετικό αποτέλεσμα, καθώς η εκροή του καυσίμου θα οφείλεται στην πίεση που δέχεται το LNG από το νερό. Ωστόσο, σε αντίθεση με παραπάνω το πιο πιθανό σενάριο είναι να χαθεί το 100% του LNG.

Εισροή νερού στη δεξαμενή είναι απίθανη, αλλά η αυξημένη πίεση του ατμού θα ενεργοποιήσει τη βαλβίδα εκτόνωσης. Επίσης είναι πιθανή η ξαφνική αντίδραση του LNG στο νερό (RPT), η οποία δύναται να προκαλέσει πιθανές δομικές ζημιές.

Σε περίπτωση που η διαρροή του φυσικού αερίου βρίσκεται στο κατώτερο όριο ανάφλεξης και συναντήσει μία πηγή ανάφλεξης, τότε θα προκύψει πυρκαγιά λάμψης τα άκρα της σχηματισμένης λίμης μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα και το μέτωπο της φλόγας θα κινηθεί προς τα κέντρο της σχηματισμένης λίμης με ταχύτητα 10 m /sec με αποτέλεσμα η λίμη καυσίμου να καεί εντελώς.

Μικρές εκλύσεις αερίου στο χώρο μεταξύ της δεξαμενής και του κύτους του είναι πιθανόν να οδηγήσουν σε έκρηξη σύννεφου ατμού, με την προϋπόθεση ύπαρξης συσσωρευμένου αερίου και καθυστερημένης ανάφλεξης του αερίου.[43]

Τα βασικά ατυχήματα με πλοίο που κινείται με LNG συνοψίζονται στον Πίνακα 21.

Πίνακας 21 Ατυχήματα πλοίων κινούμενων με LNG

		Σύγκρουση με άλλο πλοίο	Αστοχία συνδέσεων της δεξαμενής	Διαρροή ατμού	Αστοχία συστήματος μεταφοράς	Δευτερεύουσα πυρκαγιά (π.χ. φορτίου)
Δεξαμενές καυσίμου επάνω στο κατάστρωμα	σταθερές		B, Γ, E	B, Γ	B, Γ, Δ, E	Z, H
	κινούμενες		B, Γ, E	B, Γ	B, Γ	Z, H
Δεξαμενές καυσίμου κάτω από το κατάστρωμα		A, B, Γ, Δ, E	B, Γ, Δ, E	B, Γ	B, Γ, Δ, E	Z, H
A RPT – δομικές Ζημιές B Εκπομπή Σύννεφου Ατμού – Πυρκαγιά flash Γ Εκπομπή Σύννεφου Ατμού – Πυρκαγιά jet Δ Διαρροή Υγρού - Πυρκαγιά Λίμνης E Διαρροή Υγρού – Κρυογονικές Ζημιές Z BLEVE – Ζημιά από Έρηξη H BLEVE – Δευτερεύουσες/Περισσότερες Πυρκαγιές						

### 3.3 Περιπτώσεις Εξέτασης Ανάλυσης Κύκλου Ζωής Καυσίμου LNG από τη Βιβλιογραφία

#### 3.3.1 Συνοπτική Παρουσίαση Περιπτώσεων

##### Περίπτωση 1: Σύγκριση τεσσάρων ναυτιλιακών καυσίμων με χρήση τεχνικών καθαρισμού

Αυτή η μελέτη ερευνά τις περιβαλλοντικές επιδόσεις των θαλάσσιων καυσίμων από τη σκοπιά της ανάλυσης κύκλου ζωής. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της αξιολόγησης του κύκλου ζωής (AKZ) τεσσάρων πιθανών καυσίμων πλοίων από ορυκτά σε συνδυασμό με δύο τεχνικές καθαρισμού αερίων. Η γεωγραφική θέση τοποθετείται στη Βόρεια και στη Βαλτική Θάλασσα και το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα είναι η περίοδος από το 2015 έως το 2020. Η χρησιμοποιούμενη λειτουργική μονάδα είναι η μεταφορά ενός τόνου φορτίου κατά ένα χιλιόμετρο με πλοίο RoRo (ένα τονοχιλιόμετρο- tkm). Ως εναλλακτικά καύσιμα αξιολογήθηκαν τα επόμενα: 1) μαζούτ (HFO) με 1% περιεκτικότητα σε θείο με ή χωρίς καθαρισμό (scrubber). 2) Ναυτιλιακό καύσιμο πλοίων MGO με περιεκτικότητα σε θείο 0,1% με ή χωρίς επιλεκτική μονάδα καταλυτικής αναγωγής. 3) Υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) από τη Βόρεια Θάλασσα (Kollsness) και το Κατάρ και 4) υγροποιημένο ντίζελ (GTL), που παράγεται με τη μέθοδο Fischer-Tropsch με ή χωρίς επιλεκτική μονάδα καταλυτικής αναγωγής. Στα σενάρια χρήσης του LNG ως καύσιμου θεωρήθηκε χρήση κινητήρων φυσικού αερίου φτωχού μίγματος (lean burn gas engines), ενώ στα υπόλοιπα σενάρια τετράχρονων κινητήρων ντίζελ (four stroke diesel engines). Οι κινητήρες φυσικού αερίου φτωχού μίγματος έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά εκπομπών με τους κινητήρες διπλού καυσίμου (dual fuel), χρησιμοποιούν όμως μόνο ένα καύσιμο. Τα τεχνικά όρια της αξιολόγησης περιλαμβάνουν την εξόρυξη των πρώτων υλών (πλατφόρμα), την παραγωγή, τη μεταφορά (πλοίο), τον

ανεφοδιασμού καυσίμων (πλοίο), την αποθήκευση, την καύση των καυσίμων και όλες τις δραστηριότητες από την εξόρυξη των πρώτων υλών έως την απελευθέρωση των αποβλήτων στο περιβάλλον. Η παραγωγή πετρελαίου λίπανσης, η επεξεργασία των αποβλήτων της ιλύος πετρελαίου και τα χρησιμοποιημένα λάδια, η παραγωγή και η συντήρηση των κεφαλαιουχικών αγαθών, όπως τα πλοία, τα λιμάνια και οι τερματικοί σταθμοί και οι αλλαγές στην παραγωγή των διυλιστηρίων στα πλαίσια της προσαρμογής στην αλλαγή της ζήτησης βρίσκονται εκτός ορίων. Ως εκ τούτου δεν περιλαμβάνονται όλες οι εργασίες που περιλαμβάνονται στις θαλάσσιες μεταφορές, όπως οι ελιγμοί και η φόρτωση του φορτίου. Προκειμένου να προσδιοριστεί η επίπτωση στο περιβάλλον, μελετώνται οι ακόλουθες κατηγορίες επιπτώσεων: συνολική χρήση πρωτογενούς ενέργειας, φαινόμενο του θερμοκηπίου, οξύνιση, ευτροφισμός, σχηματισμός φωτο-οξειδωτικού φαινομένου και ανθρώπινη υγεία (σωματίδια). Έχει αποδειχθεί ότι η καύση των καυσίμων στις μηχανές των πλοίων, έχει την κυρίαρχη συμβολή στον συνολικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο με εκπομπές που ανέρχονται σε **33 gCO<sub>2e</sub>/tkm** για το LNG. Σημειώνεται ότι λήφθηκε υπ' όψη μόνο η επίδραση των πρωτογενών αέριων ρύπων στην κλιματική αλλαγή. Η επίδραση του όζοντος και των σωματιδίων δεν έχει συμπεριληφθεί. Το ίδιο ισχύει και για τις εκπομπές διοξειδίου του θείου. Όταν το διοξείδιο του θείου αναλυθεί σε θαλασσινό νερό, τότε συμβάλλει στο σχηματισμό διοξειδίου του άνθρακα, που με τη σειρά του οδηγεί σε μειωμένη ικανότητα απορρόφησης πρόσθετου διοξειδίου του άνθρακα από το νερό των ωκεανών οδηγώντας στην αύξηση της συγκέντρωσής του στην ατμόσφαιρα.

Το μαζούτ σε αυτή τη μελέτη διαπιστώθηκε ότι είναι ενεργειακά το αποδοτικότερο καύσιμο, ενώ το υγροποιημένο φυσικό αέριο από τη Βόρεια Θάλασσα είναι το καύσιμο με τη χαμηλότερη συμβολή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η απόσταση μεταφοράς του υγροποιημένου φυσικού αερίου από το Κατάρ σε σύγκριση με το υγροποιημένο φυσικό αέριο από τη Βόρεια Θάλασσα είναι περίπου 45 φορές μεγαλύτερη, γεγονός που καθιστά τόσο τη χρήση πρωτογενούς ενέργειας όσο και τη συμβολή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου υψηλότερη. Το υγροποιημένο ντίζελ (GTL) είναι το καύσιμο με την υψηλότερη συμβολή και στις δύο κατηγορίες. Η χρήση τεχνικών μείωσης των αερίων μέσω εξάτμισης (scrubber και SCR) αυξάνει τόσο τη χρήση πρωτογενούς ενέργειας όσο και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Οι εκπομπές μεθανίου είναι σημαντικά υψηλότερες για τις δύο εναλλακτικές λύσεις του LNG ως καύσιμο (Βόρεια Θάλασσα και Κατάρ). Αυτό το αποτέλεσμα προκύπτει από τις υψηλότερες εκπομπές μεθανίου καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής. Οι εναλλακτικές λύσεις της χρήσης LNG και οι εναλλακτικές λύσεις με μια μονάδα SCR, η οποία μειώνει τις άμεσες εκπομπές των οξειδίων του αζώτου κατά **85%**, έχουν τη μικρότερη συμβολή στην οξύνιση και στον ευτροφισμό. Οι εκπομπές παρουσιάζονται στον Πίνακα 22.[45]

**Πίνακας 22 Συνολικές εκπομπές LNG ανά κατηγορία επιπτώσεων και τόπο προέλευσης Περίπτωσης 2**

	<b>LNG από Βόρεια Θάλασσα</b>	<b>LNG από Κατάρ</b>
Χρήση Πρωτογενούς Ενέργειας	0,57 MJ/tkm	0,6 MJ/tkm
Φαινόμενο του Θερμοκηπίου	37 gCO <sub>2e</sub> /tkm	41 gCO <sub>2e</sub> /tkm
Οξύνιση	0,07 gSO <sub>2e</sub> /tkm	0,08 gSO <sub>2e</sub> /tkm
Ευτροφισμός	0,06 gPO <sub>43e</sub> /tkm	0,07 gPO <sub>43e</sub> /tkm
Φωτο-οξειδωτικό Φαινόμενο	0,007 Ethylene/tkm	0,0075 Ethylene/tkm
Σωματίδια	0,005 gPM <sub>10e</sub> /tkm	0,005 gPM <sub>10e</sub> /tkm

Πίνακας 23 Εκπομπές καύσης LNG ανά κατηγορία επιπτώσεων Περίπτωσης 2

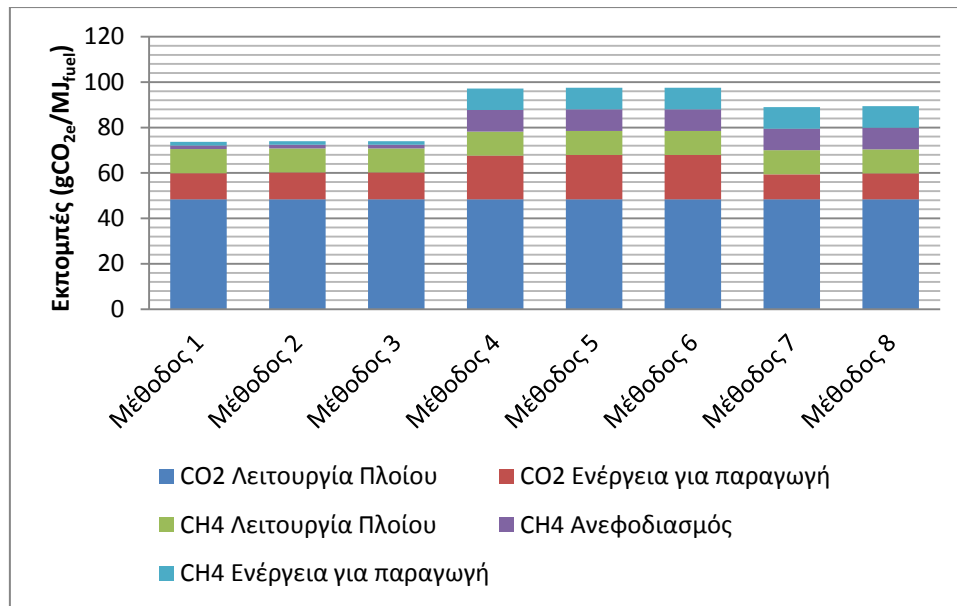
Εκπομπές Καύσης LNG	
Φαινόμενο του Θερμοκηπίου	33 gCO <sub>2e</sub> /tkm
Οξύνιση	0,063 gSO <sub>2e</sub> /tkm
Ευτροφισμός	0,006 gPO <sub>43e</sub> /tkm
Φωτο-οξειδωτικό Φαινόμενο	0,00683 Ethylene/tkm
Σωματίδια	0,0048 gPM <sub>10e</sub> /tkm

#### Περίπτωση 2: Σύγκριση Μεθόδων Προμήθειας LNG

Η έρευνα εξετάζει οκτώ διακριτές μεθόδους ανεφοδιασμού, που αναμένεται να διαδραματίσουν ρόλο στην παροχή υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο πλοίων στο ναυτιλιακό τομέα. Η ανάλυση προσφέρει μια αξιολόγηση του *πού* και *πώς* οι ενεργειακές απαιτήσεις, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και οι εκπομπές μεθανίου εξαιτίας της καύσης ή διαρροής συμβάλλουν στη συνολική επίπτωση του LNG στο περιβάλλον. Οι μέθοδοι προμήθειας "από το λίκνο έως την έλικα" καλύπτουν το φάσμα των διαδρομών του καυσίμου μέσω των οποίων μπορεί να διανεμηθεί το φυσικό αέριο πριν την τροφοδοτηθεί στα πλοία ως καύσιμο. Πιο συγκεκριμένα οι οκτώ μέθοδοι προμήθειας που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 24.

Πίνακας 24 Μέθοδοι Προμήθειας LNG Περίπτωσης 2

Μέθοδοι Προμήθειας LNG	
<b>Μέθοδος 1</b>	Εισαγωγή LNG σε κεντρικό σταθμό εισαγωγής καυσίμου και απευθείας ανεφοδιασμός πλοίων στο σταθμό αυτό
<b>Μέθοδος 2</b>	Εισαγωγή LNG σε κεντρικό σταθμό εισαγωγής καυσίμου, διανομή και ανεφοδιασμός πλοίων χωρίς προηγούμενη αποθήκευση του καυσίμου
<b>Μέθοδος 3</b>	Εισαγωγή LNG σε κεντρικό σταθμό, διανομή και ανεφοδιασμός πλοίων με προηγούμενη αποθήκευση του καυσίμου
<b>Μέθοδος 4</b>	Τοπική παραγωγή φυσικού αερίου και υγροποίηση του σε ήδη υπάρχουσα εγκατάσταση και απευθείας ανεφοδιασμός πλοίου στο σταθμό αυτό
<b>Μέθοδος 5</b>	Τοπική παραγωγή φυσικού αερίου και υγροποίηση του σε ήδη υπάρχουσα εγκατάσταση, διανομή και ανεφοδιασμός πλοίων χωρίς προηγούμενη αποθήκευση του καυσίμου
<b>Μέθοδος 6</b>	Τοπική παραγωγή φυσικού αερίου και υγροποίηση του σε ήδη υπάρχουσα εγκατάσταση, διανομή και ανεφοδιασμός πλοίων με προηγούμενη αποθήκευση του καυσίμου
<b>Μέθοδος 7</b>	Τοπική παραγωγή φυσικού αερίου και υγροποίηση του σε καινούργια εγκατάσταση και απευθείας ανεφοδιασμός πλοίων στο σημείο της εγκατάστασης
<b>Μέθοδος 8</b>	Τοπική παραγωγή φυσικού αερίου και υγροποίηση του σε καινούργια υπάρχουσα εγκατάσταση, διανομή και ανεφοδιασμός πλοίων σε απομονωμένο σημείο



Διάγραμμα 3 Εκπομπές ανά μέθοδο Περίπτωσης 4

Τα όρια του συστήματος παρότι διαφοροποιούνται ανάλογα με την εκάστοτε μέθοδο, περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο την εισαγωγή ή την παραγωγή του υγροποιημένου φυσικού αερίου, την αποθήκευσή του και τον ανεφοδιασμό των πλοίων. Η χρησιμοποιούμενη λειτουργική μονάδα είναι το θερμικό megajoule (MJ). Τα αποτελέσματα των μεθόδων προμήθειας συγκρίνονται με διάφορα συμβατικά καύσιμα ως προς την ένταση των εκπομπών τους σε αέρια θερμοκηπίου που μετρώνται σε γραμμάρια ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα ανά megajoule καυσίμου ( $\text{gCO}_{2e} / \text{MJ}$ ). Ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος αξιολογείται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη χρήση ενέργειας και τη «διαρροή» μεθανίου στην ατμόσφαιρα (γραμμάρια μεθανίου ανά MJ παραδοτέου φυσικού αερίου,  $\text{gCH}_4 / \text{MJ}$ ).

Ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων των μεθόδων του LNG αποδεικνύει, ότι σε σύγκριση με ένα τυπικό καύσιμο βασισμένο στο πετρέλαιο, το LNG δύναται να προσφέρει ισοδύναμο όφελος περίπου **8%** πάνω από τα συμβατικά καύσιμα, ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται. Οι εκπομπές των μεθόδων κυμαίνονται μεταξύ **72-92 gCO<sub>2e</sub> / MJ**. Οι υψηλότερες εκπομπές αποτυπώνονται στη μέθοδο 5, ενώ οι χαμηλότερες στη μέθοδο 1. Η μέθοδος 5 παράγει **28%** περισσότερες εκπομπές σε σχέση με το 1. Σε όλες τις μεθόδους οι περισσότερες εκπομπές προέρχονται από τη λειτουργία του πλοίου. Ωστόσο, τα ευρήματα δείχνουν ότι ορισμένες από τις υφιστάμενες και υπό εξέταση μεθόδους στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρωπαϊκή Ένωση δεν συνεπάγονται κανένα περιβαλλοντικό όφελος, ενώ άλλες προσφέρουν οφέλη έως και **18%** σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι όταν αναφέρεται μείωση της εκπεμπόμενης ποσότητας αερίων του θερμοκηπίου κατά **20-30%** λόγω της χρήσης LNG με υπολογισμούς που βασίζονται απλώς στη χαμηλότερη περιεκτικότητα του καυσίμου σε άνθρακα, τότε το όφελος υπερεκτιμάται. Τα ευρήματα δείχνουν επίσης ότι οι μέθοδοι συνδέονται με άμεσες εκπομπές μεθανίου μεταξύ **2,7%** και **5,4%** σε ολόκληρο τον κύκλο του LNG καυσίμου. Οι εκπομπές του κάθε μεθόδου παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 3.[46]

### Περίπτωση 3: Μελέτη Ανεφοδιασμού του LNG με τη μέθοδο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Η παρούσα μελέτη είναι μία συνοπτική Ανάλυση Κύκλου Ζωής (screening LCA) του υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο, με κύριο στόχο να πραγματοποιηθεί ανάλυση του κύκλου ζωής της διαδικασίας «Ανεφοδιασμός Πλοίων με Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο». Λειτουργική μονάδα είναι η μία διαδικασία του ανεφοδιασμού LNG. Τα τεχνικά όρια της ανάλυσης περιλαμβάνουν την κατασκευή των εγκαταστάσεων του τερματικού του λιμανιού, τις άμεσες εκπομπές που σχετίζονται με τη διαδικασία του ανεφοδιασμού των καυσίμων και τη χρήση ενέργειας σε όλο το σύστημα. Ωστόσο, δεν έχει συμπεριληφθεί ο χειρισμός των διαφυγόντων αερίων στον τερματικό σταθμό του υγροποιημένου φυσικού αερίου σε μεγάλες περιόδους απλής αποθήκευσης του καυσίμου. Επιπλέον, όλες οι ροές δεν περιλαμβάνουν δεδομένα σχετικά με την απόκτηση των πρώτων υλών για την παραγωγή χάλυβα ή τις διαδικασίες που σχετίζονται με την παραγωγή αζώτου. Οι κύριες κατηγορίες επιπτώσεων που εξετάζονται είναι η οξύνιση, ο ευτροφισμός, η τοξικότητα για τον άνθρωπο, η καταστροφή της στιβάδας του όζοντος και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η εκτίμηση των επιπτώσεων δείχνει ότι οι εκπομπές που σχετίζονται με την παραγωγή συμβάλλουν σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (GWP), με συνολικές εκροές **75.917 kg CO<sub>2e</sub>**. Η χρήση ενέργειας συνεισφέρει ελάχιστα, μόνο με **0,36 %** στο συνολικό αντίκτυπο (**3 kg CO<sub>2e</sub>**), συμβολή η οποία θεωρείται αμελητέα. Οι άμεσες εκπομπές αντιστοιχούν σε **7.777 kg CO<sub>2e</sub>** και είναι η μόνη περιοχή του κύκλου ζωής ανεφοδιασμού, όπου οι εκπομπές μπορούν να μειωθούν σημαντικά. Στην πραγματικότητα, όλες οι άμεσες εκπομπές μπορούν να περιοριστούν σημαντικά από τη χρήση τεχνικών κράτησης και ανάκτησης των διαφυγόντων αερίων, όπως συστήματα μεταφοράς επιστροφής ατμών. Το εξαγόμενο συμπέρασμα είναι, ότι οι εκπομπές που σχετίζονται με τον ανεφοδιασμό LNG δεν είναι το κύριο ζήτημα. [47]

### Περίπτωση 4: Συγκριτική Μελέτη Καυσίμων σε Τάνκερ με τη Μέθοδο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Η περίπτωση αυτή αποτελεί μια μελέτη ενός δεξαμενόπλοιου χωρητικότητας 45.000 τόνων νεκρού βάρους. Τα κύρια καύσιμα που θα χρησιμοποιηθούν για την πρόωση είναι το μαζούτ (HFO), το ναυτιλιακό καύσιμο MGO και το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) με ή χωρίς σύστημα WHR (Waste Heat Recovery) χρησιμοποιώντας ένα κινητήρα 2-χρονο και ένα ή δύο 4-χρονους κινητήρες). Η κατασκευή, η συντήρηση και η διάλυση του σκάφους, καθώς και η κατασκευή των τεχνολογιών μείωσης των καυσαερίων δεν περιλαμβάνονται στα όρια του συστήματος. Τα γεωγραφικά όρια είναι οι ζώνες ECA. Όλα τα αποτελέσματα είναι σχετικά με τη λειτουργική μονάδα, η οποία είναι η μάζα των αερίων ( $kg_{αερίων}$ ). Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν, ότι η καλύτερη ρύθμιση για όλα τα σενάρια χρήσης 2-χρονου κινητήρα συμπίπτει με την επιλογή του αποδοτικότερου κινητήρα και τη λειτουργία του στο σημείο του σχεδιασμού. Αντίθετα στην περίπτωση των ρυθμίσεων των 4-χρονων κινητήρων αποδείχθηκε ότι είναι η καλύτερη επιλογή σε όλες τις περιπτώσεις μία διάταξη με ένα μεγάλο, αποδοτικό κινητήρα (με ονομαστική ισχύ 7200 kW στις περιπτώσεις χρήσης μαζούτ και MGO και 5850 kW στην περίπτωση χρήσης LNG ως καύσιμα), που υποστηρίζεται από ένα μικρότερο κινητήρα (1020 kW και 2700 kW αντίστοιχα) σε χαμηλά φορτία και φορτία αιχμής. Το όφελος της λειτουργίας σε συνθήκες off-design για μικρότερο χρόνο στην περίπτωση των 4-χρονων κινητήρων διπλού καυσίμου δικαιολογείται από τη χαμηλότερη απόδοση των κινητήρων αυτών σε περιοχές χαμηλού φορτίου, καθώς λειτουργούν σύμφωνα με κύκλο Otto.

Το σενάριο με το συνολικό χαμηλότερο ανθρακικό αποτύπωμα είναι αυτό της καύσης του υγροποιημένου φυσικού αερίου σε 2-χρονους κινητήρες, οι οποίοι συνδυάζονται με WHR. Οι συνολικές εκπομπές ανέρχονται σε  $10 \cdot 10^3 \text{ tnCO}_2\text{/y}$ , όντας μειωμένες κατά **36%**. Οι 4-χρονοι κινητήρες διπλού καυσίμου έχουν σημαντικά υψηλότερο αποτύπωμα άνθρακα που προκαλείται από την ολίσθηση μεθανίου από τον κινητήρα κατά τη διάρκεια της καύσης. Οι περιπτώσεις των 4-χρονων κινητήρων διπλού καυσίμου ποικίλλουν από το να έχουν το τρίτο και τέταρτο χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα έως το υψηλότερο, επειδή εξαρτώνται από τις εκτιμήσεις της διαφυγής μεθανίου. Η μεγαλύτερη συνεισφορά στο αποτύπωμα άνθρακα προέρχεται από την καύση των καυσίμων στις μηχανές (μεταξύ **84-88%**). Η απόκτηση των πρώτων υλών, η παραγωγή και η διανομή καυσίμων αντιπροσωπεύουν το **10-13%** του ανθρακικού αποτυπώματος, ενώ η παραγωγή και η μεταφορά αντιπροσωπεύει έως το **3%**. Οι εκπομπές παρουσιάζονται στον Πίνακα 25.[48]

**Πίνακας 25** Ετήσια κατανάλωση ενέργειας και ετήσιες εκπομπές ανά σενάριο καυσίμου Περίπτωσης 7

	Κατανάλωση Ενέργειας για Λειτουργία (TJ/y)	Ανθρακικό Αποτύπωμα (tn CO <sub>2</sub> /y)
HFO 2-χρονος	166	14800
HFO 4-χρονος	177	15700
HFO 4-χρονος με WHR	164	14500
MGO 2-χρονος	163	13900
MGO 2-χρονος με WHR	157	13400
MGO 4-χρονος	174	14700
MGO 4-χρονος με WHR	159	13500
LNG 2-χρονος	164	11300
LNG 2-χρονος με WHR	150	10400
LNG 4-χρονος	176	14800
LNG 4-χρονος με WHR	156	13100

#### Περίπτωση 5: Σύγκριση σταδιακής αλλαγής καυσίμων με βάση το LNG και το ντίζελ

Η συγκεκριμένη μελέτη περιλαμβάνει δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος, διερευνήθηκαν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του κύκλου ζωής της αλλαγής καυσίμου ή / και της εγκατάστασης τεχνικών μείωσης καυσαερίων με στόχο τη συμμόρφωση με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς στις ζώνες περιορισμένων εκπομπών. Οι εναλλακτικές λύσεις που ερευνήθηκαν ήταν το μαζούτ με ή χωρίς τεχνική καθαρισμού, το ναυτιλιακό καύσιμο MGO με ή χωρίς επιλεκτική καταλυτική αναγωγή, το υγροποιημένο φυσικό αέριο και το συνθετικό ντίζελ με ή χωρίς επιλεκτική καταλυτική μείωση. Στη μελέτη αυτή η λειτουργική μονάδα είναι ένας τόνος εμπορευμάτων που μεταφέρεται κατά ένα χιλιόμετρο με ένα οχηματαγωγό (ro-ro) πλοίο.

Στο δεύτερο μέρος, ερευνήθηκαν δύο διαδρομές, μία διαδρομή ντίζελ και μια διαδρομή φυσικού αερίου, προκειμένου να αποτυπωθούν τα οφέλη της χρήσης ανανεώσιμων καυσίμων στον τομέα της ναυτιλίας. Διαδρομή καυσίμου ονομάστηκε η βαθμιαία μετατροπή του κινητήρα του πλοίου, ώστε ξεκινώντας από τη χρονιά αφετηρίας με το συμβατικό καύσιμο, να καταλήξει στο τέλος του χρονικού ορίζοντα σε ανανεώσιμο καύσιμο. Διαφορετική διαδρομή αντιστοιχεί σε διαφορετικά ενδιάμεσα καύσιμα. Η μελέτη ξεκίνησε από το συμβατικό καύσιμο που χρησιμοποιείται σήμερα: το μαζούτ. Για το 2015, αξιολογήθηκαν δύο πιθανές διαδρομές: MGO και υγροποιημένο φυσικό αέριο. Για το 2020, τα καύσιμα αυτά αναμίχθηκαν με ένα μικρό ποσοστό ενός βιοκαυσίμου πρώτης γενιάς του ίδιου τύπου, και για



το 2025 είχαν πλήρως αντικατασταθεί με ένα βιοκαύσιμο δεύτερης γενιάς. Στο δεύτερο μέρος η λειτουργική μονάδα ήταν ένα έτος υπηρεσίας επιβατηγού-οχηματαγωγού (to-rax) μεταξύ της νήσου Gotland και της σουηδικής ενδοχώρας. Η μελέτη περιλάμβανε όλες τις δραστηριότητες από την εξόρυξη των πρώτων υλών έως την εναπόθεση των αποβλήτων στο περιβάλλον, «από το λίκνο μέχρι την προπέλα». Η παραγωγή πετρελαίου λίπανσης, η επεξεργασία των αποβλήτων της ιλύος πετρελαίου, το χρησιμοποιημένο λάδι λίπανσης και η κατασκευή των κεφαλαιουχικών αγαθών ήταν έξω από τα όρια της μελέτης. Οι περιοχές περιορισμένων εκπομπών θείου και οξειδίων του αζώτου στη Βόρεια Ευρώπη ήταν τα γεωγραφικά σύνορα. Χρονικός ορίζοντας ήταν το 2010-2020. Οι κατηγορίες επιπτώσεων, που χρησιμοποιήθηκαν, είναι η χρήση πρωτογενούς ενέργειας, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η οξύνιση και ο ευτροφισμός.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση του υδροποιημένου φυσικού αερίου μειώνει την οξύνιση από **82%** έως και **90%**, μειώνει τον ευτροφισμό κατά **78-90%** σε σύγκριση με το μαζούτ και αυξάνει τη διαρροή του μεθανίου περίπου **2%** καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής. Ωστόσο η αυξημένη αυτή διαρροή του μεθανίου ακυρώνει τις μειωμένες εκπομπές CO<sub>2</sub> και έτσι το LNG δίνει το ίδιο αποτέλεσμα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου με το μαζούτ και το ντίζελ πλοίων. Η χρήση πρωτογενούς ενέργειας για το LNG ανέρχεται σε **2600 TJ/y** και οι εκπομπές του φαινομένου του θερμοκηπίου σε **1,5\*10<sup>5</sup> tnCO<sub>2e</sub>/y**. Ως καύσιμο με τη χαμηλότερο αποτέλεσμα στην κατηγορία της χρήσης πρωτογενούς ενέργειας προέκυψε το μαζούτ. Αντίθετα το πιο ενεργοβόρο αποδείχθηκε το συνθετικό ντίζελ, έχοντας ταυτόχρονα τις υψηλότερες εκπομπές στην κατηγορία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επιπλέον, στο πρώτο μέρος, η καλύτερη συνολική περιβαλλοντική επίδοση επιτεύχθηκε για τα καύσιμα που πληρούν τους πιο αυστηρούς επερχόμενους περιβαλλοντικούς κανονισμούς: το υδροποιημένο φυσικό αέριο και MGO πλοίων με SCR.

Το δεύτερο μέρος έδειξε ότι η διαδρομή του φυσικού αερίου έχει καλύτερη συνολική περιβαλλοντική απόδοση από τη διαδρομή του ντίζελ. Η μελέτη κατέδειξε επίσης ότι τα βιοκαύσιμα αποτελούν ένα δυνατό μέτρο μείωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία, αλλά αυτό θα πραγματοποιηθεί εις βάρος μεγαλύτερων περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε άλλες κατηγορίες επιπτώσεων. Η διαδρομή του φυσικού αερίου επιβαρύνει το φαινόμενο του ευτροφισμού εκπέμποντας **400 tnNO<sub>x</sub>/y**, την ανθρώπινη υγεία με **10 tnPM/y** και την οξύνιση με **220 tnSO<sub>2e</sub>/y**. [49]

#### Περίπτωση 6: Ανάλυση κύκλου ζωής στο LNG ως καύσιμο που παράγεται στην Αυστραλία

Αυτή η μελέτη παρουσιάζει τον κύκλο ζωής του υδροποιημένου φυσικού αερίου, ο οποίος περιλαμβάνει την υδροποίηση, τη θαλάσσια μεταφορά και την επαναεριοποίησή του στην Αυστραλία, εκτιμώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του. Η λειτουργική μονάδα σε αυτή τη μελέτη είναι το θερμικό megajoule ( $MJ_{fuel}$ ). Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον αποτυπώνονται σε CO<sub>2e</sub>/MJ του παραδοτέου LNG. Τα όρια της μελέτης, όσον αφορά στην υδροποίηση, περιλαμβάνουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια της καύσης των καυσίμων από τις εγκαταστάσεις υδροποίησης, τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την καύση, το μεθάνιο από την εξαέρωση, το διοξείδιο που περιλαμβάνεται στο φυσικό αέριο και το όφελος διοξειδίου του άνθρακα της κατάσχεσης. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την κατασκευή των εγκαταστάσεων δεν περιλαμβάνονται στη μελέτη. Όσον αφορά στις μεταφορές, η μελέτη περιλαμβάνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, που απελευθερώνονται κατά την καύση του καυσίμου. Δεν περιλαμβάνονται οι εκπομπές εξαιτίας της κατασκευής των εγκαταστάσεων παραγωγής. Η μελέτη καταδεικνύει ότι από το

2003 η προηγμένη τεχνολογία, η βελτίωση της διαδικασίας και η εγγύτητα με τη χώρα εισαγωγής, οδήγησαν σε 38% λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου του υδροποιημένου φυσικού αερίου της Αυστραλίας σε σύγκριση με άλλους παγκόσμιους προμηθευτές. Η υδροποίηση παραμένει η υψηλότερη συνιστώσα της χρήσης της ενέργειας στο πλαίσιο του κύκλου ζωής του προϊόντος με αποτέλεσμα το 75% των εκπομπών. Το 95% των εκπομπών της υδροποίησης προκύπτει λόγω των καυσίμων που χρησιμοποιούνται από τις γεννήτριες ψύξης της διαδικασίας, την επεξεργασία οξέος του φυσικού αερίου και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στον Πίνακα 26 συνοψίζονται τα αποτελέσματα.[50]

**Πίνακας 26 Εκπομπές ανά κατηγορία Περίπτωσης 9**

Υδροποίηση	<b>4,97 gCO<sub>2e</sub>/MJ</b>
Θαλάσσια Μεταφορά	0,9 gCO <sub>2e</sub> /MJ
Αεριοποίηση	0,1 gCO <sub>2e</sub> /MJ

Περίπτωση 7: Μελέτη σταδιακής αλλαγής καυσίμου επιβατηγού πλοίου στη Βόρεια Θάλασσα με γνώμονα το LNG και το ντίζελ

Η συγκεκριμένη μελέτη αξιολογεί την απόδοση του κύκλου ζωής δύο εναλλακτικών δρόμων για τα βιοκαύσιμα στον τομέα της ναυτιλίας: η «οδός του ντίζελ» και η «οδός του φυσικού αερίου». Η οδός του ντίζελ περιλαμβάνει την αλλαγή καυσίμου από μαζούτ σε MGO και στη συνέχεια τη σταδιακή μετάβαση σε συνθετικό βιοντίζελ. Αρχικά το MGO αναμειγνύεται με βιοντίζελ και στη συνέχεια αντικαθίσταται πλήρως με συνθετικό βιοντίζελ. Η διαδρομή του φυσικού αερίου περιλαμβάνει στροφή προς το υδροποιημένο φυσικό αέριο και στη συνέχεια σταδιακή μετάβαση σε υδροποιημένο βιοαέριο. Αρχικά το LNG αναμειγνύεται με υδροποιημένο βιοαέριο και στη συνέχεια αντικαθίσταται πλήρως με υδροποιημένο βιομεθάνιο. Οι δύο διαδρομές αξιολογήθηκαν σε μια μελέτη για την περίπτωση της κυκλοφορίας ενός επιβατηγού πλοίου μεταξύ της σουηδικής ηπειρωτικής χώρας και του νησιού Gotland. Η λειτουργική μονάδα είναι ένα έτος υπηρεσίας ενός επιβατηγού-οχηματαγωγού πλοίου, συμπεριλαμβανομένων τόσο των επιβατών όσο και των εμπορευμάτων στη μεταφορά. Ο χρονικός ορίζοντας είναι μεταξύ 2010-2025. Ωστόσο, οι διάφορες επιλογές καυσίμου αξιολογήθηκαν σε διαφορετικούς χρονικούς ορίζοντες. Τα τεχνικά όρια του συστήματος περιλαμβάνουν ολόκληρο τον κύκλο ζωής των καυσίμων από την εξόρυξη των πρώτων υλών έως την καύση τους στους κινητήρες των πλοίων. Η παραγωγή των κεφαλαιουχικών αγαθών (π.χ. πλοία, τερματικά, τεχνολογίες μείωσης των εκπομπών κ.λπ.) και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή και τη συντήρηση των υποδομών δεν περιλαμβάνονται. Τα δύο κύρια αποτελέσματα είναι, ότι η επιλογή του φυσικού αερίου δείχνει καλύτερες συνολικές περιβαλλοντικές επιδόσεις από την επιλογή του ντίζελ και ότι τα βιοκαύσιμα είναι ένα δυνατό μέτρο για να μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που οφείλονται στη ναυτιλία. Το τελευταίο επιτυγχάνεται σε βάρος μεγαλύτερων περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε άλλες κατηγορίες επιπτώσεων. Όσον αφορά στις εκπομπές, λιγότερο από το 1% των εκπομπών του κύκλου ζωής του διοξειδίου του άνθρακα βρέθηκε ότι προέρχεται από την κατασκευή των υποδομών. Τα ποσοτικά αποτελέσματα είναι όμοια με αυτά της περίπτωσης 8.[51]

Περίπτωση 8: Σύγκριση LNG, μεθανίου και βιοκαυσίμων

Σε αυτή τη μελέτη συγκρίνονται οι περιβαλλοντικές επιδόσεις του κύκλου ζωής του υδροποιημένου φυσικού αερίου (LNG), του υδροποιημένου βιοαερίου (LBG), του μεθανίου

και του βιομεθανίου ως καύσιμα πλοίων, λαμβάνοντας υπόψη τόσο το φυσικό αέριο όσο και τη βιομάζα ως πρώτες ύλες. Η λειτουργική μονάδα είναι η μεταφορά ενός τόνου φορτίου κατά ένα χιλιόμετρο με οχηματαγωγό πλοίο (RoRo), προκειμένου να καταστεί εφικτή η εξέταση των αυξημένων απαιτήσεων αποθήκευσης του μεθανίου και των καυσίμων, που βασίζονται στο μεθάνιο, σε σύγκριση με το μαζούτ. Ο χρονικός ορίζοντας τοποθετείται μεταξύ 2010-2020 και τα γεωγραφικά όρια είναι οι ζώνες ελέγχου των εκπομπών θείου και οξειδίων του αζώτου στη βόρεια Ευρώπη (η Μάγνη, η Βόρεια Θάλασσα και η Βαλτική Θάλασσα). Τα όρια του συστήματος περιλαμβάνουν όλες τις δραστηριότητες από την εξόρυξη των πρώτων υλών έως την απόρριψη των αποβλήτων στο περιβάλλον, «από το λίκνο μέχρι την προέλα». Η παραγωγή πετρελαίου λίπανσης, η επεξεργασία των αποβλήτων της ιλύος του πετρελαίου, το χρησιμοποιημένο λάδι λίπανσης και η κατασκευή των κεφαλαιουχικών αγαθών δεν περιλαμβάνονται. Επιπλέον, δεν προσμετράται στην τελική επίδοση ο ανεφοδιασμός των καυσίμων, επειδή θεωρήθηκε παραπλήσιος σε όλες τις εναλλακτικές λύσεις. Στη μελέτη αυτή εξετάζονται οι ακόλουθες κατηγορίες επιπτώσεων:

- (1) Συνολική εξαγόμενη ενέργεια (MJ / tkm)
- (2) Φαινόμενο του θερμοκηπίου σε μια προοπτική χρόνου για 100 χρόνια (GWP100) (g CO<sub>2</sub>eq / tkm)
- (3) Σωματίδια (g PM<sub>2.5</sub>eq / tkm),
- (4) Σχηματισμός φωτοχημικού όζοντος (g C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>eq / tkm)
- (5) Οξύνιση (mole H<sup>+</sup>eq / tkm)
- (6) Ευτροφισμός (mole NEQ / tkm)
- (7) Θαλάσσιος ευτροφισμός (t NEQ / tkm).

Από τις παραπάνω κύριες κατηγορίες θεωρήθηκαν και εξετάστηκαν ενδελεχώς το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η χρήση πρωτογενούς ενέργειας. Όσον αφορά στη χρήση πρωτογενούς ενέργειας η κατανάλωση του LNG ανέρχεται σε 0,59-0,61 MJ/tkm, ενώ όσον αφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου η επίδραση εκτιμάται στα 38-42 gCO<sub>2e</sub>/tkm. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι επιπτώσεις στην υγεία, καθώς και οι πιθανές επιπτώσεις στην οξύνιση και στον ευτροφισμό είναι χαμηλότερες για το LNG σε σχέση με τα υπόλοιπα καύσιμα, όμως συμβάλλει σημαντικά στον θαλάσσιο ευτροφισμό και επιβαρύνει περισσότερο το περιβάλλον από το μαζούτ στις δύο κύριες κατηγορίες που εξετάστηκαν. Σύμφωνα με τη μελέτη οι τοπικές και περιφερειακές περιβαλλοντικές επιπτώσεις εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις εκπομπές NO<sub>x</sub> του κινητήρα του πλοίου.[52]

#### Περίπτωση 9: Ανάλυση Κύκλου Ζωής LNG στις Θαλάσσιες Μεταφορές με την Προοπτική της Τεχνολογικής Εξέλιξης

Η παρούσα εργασία μελετά τις εκπομπές του κύκλου ζωής του φυσικού αερίου στον τομέα των θαλάσσιων μεταφορών σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα με βάση το πετρέλαιο, προσεγγίζοντάς τον με τη χρήση ενός δείκτη, που λαμβάνει υπ' όψη την τεχνολογική ανάπτυξη και καλείται "Technology Warming Potential" (TWP). Το φυσικό αέριο ως καύσιμο πλοίων επιτυγχάνει κλιματική ισοτιμία με τα συμβατικά καύσιμα μέσα σε 30 χρόνια για χρήση κινητήρων ντίζελ, αν και θα μπορούσαν να χρειαστούν μέχρι και 190 χρόνια για να φτάσει σε κλιματική ισοτιμία, αν χρησιμοποιείται κινητήρας ανάφλεξης με σπινθήρα. Η εργασία αυτή επεκτείνει προηγούμενες αναλύσεις κύκλου ζωής στη ναυτιλία, εξετάζοντας διάφορες περιπτώσεις ναυτιλιακών μελετών και εφαρμόζει μια προσέγγιση με τον τεχνολογικό δείκτη που προαναφέρθηκε (TWP), για να εξετάσει τις επιπτώσεις της αλλαγής καυσίμου, λαμβάνοντας υπ' όψη την εξέλιξη της τεχνολογίας. Πιο συγκεκριμένα, μελετώνται

πολλαπλά μονοπάτια παραγωγής και διανομής φυσικού αερίου για τρία σκάφη που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το φυσικό αέριο και συγκρίνονται με παρόμοια σκάφη που χρησιμοποιούν αποστάγματα καυσίμων και συμμορφώνονται με τα κριτήρια των ζωνών περιορισμένων εκπομπών (ECA) των συνεδριάσεων του 2012 και του 2015. Ο δείκτης TWP παρουσιάζει το δυνητικό φαινόμενο του θερμοκηπίου δεδομένης της τεχνολογικής εξέλιξης με την πάροδο του χρόνου, παρακάμπτοντας την επίμαχη συζήτηση σχετικά με την επιλογή ενός κατάλληλου έτους βάσης του δείκτη GWP. Η τιμή  $TWP = 1$  δηλώνει ότι η νέα τεχνολογία (LNG) είναι κλιματικά ουδέτερη (δεν προσφέρει όφελος ή δεν προκαλεί πρόσθετες επιπτώσεις) σε σχέση με την παλιά τεχνολογία. Όσον αφορά στα όρια του συστήματος, αξιολογούνται οι εκπομπές από την πηγή έως τα απόβλητα για τις λειτουργίες του πλοίου. Σε αυτή τη μελέτη περιλαμβάνονται επίσης δεδομένα για τη διαρροή φυσικού αερίου κατά τη λειτουργία και τον ανεφοδιασμό των πλοίων. Η λειτουργική μονάδα είναι το kg εκπομπών/ταξίδι.

Η μέθοδος δείχνει ότι αν μετασκευαστεί ο στόλος, ο οποίος αποτελείται από τρία πλοία διαφορετικού είδους αντιπροσωπευτικά της ποντοπόρου ναυτιλίας, της ναυτιλίας μικρών αποστάσεων και της λειτουργίας εντός λιμανιού, ώστε να λειτουργεί με καύσιμο υδροποιημένο φυσικό αέριο σε κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση (κινητήρες κύκλου ντίζελ), η μετατροπή καυσίμου θα φτάσει σε κλιματική ισοτιμία εντός 30 ετών, αν και το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την ανάντι διαδρομή που επιλέγεται. Η εφαρμογή του φυσικού αερίου στις θαλάσσιες μεταφορές, θα μειώσει σημαντικά τους ατμοσφαιρικούς ρύπους (π.χ., SO<sub>x</sub> και PM<sub>10</sub>), κάτω από όλα τα ισχύοντα πρότυπα και τις προτεινόμενες εκπομπές για τους παραδοσιακούς κινητήρες πλοίων που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το ντίζελ. Επίσης το LNG ως καύσιμο δεν αυξάνει τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου και μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Ωστόσο, όταν συγκρίνοντάς το με παραδοσιακά καύσιμα παρατηρείται αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου, αυτή αποδίδεται στις αυξημένες εκπομπές μεθανίου. Οι αυξημένες εκπομπές μεθανίου παρατηρούνται κυρίως κατά τη διαδικασία της παραγωγής του LNG (υδροποίηση), ενώ ένα σημαντικό ποσοστό προέρχεται από την καύση. Οι διαρροές μεθανίου διαφέρουν ανάλογα με το είδος της μηχανής που χρησιμοποιείται. Εξαιτίας της διαρροής παρατηρούνται κάποιες αλυσίδες προμήθειας LNG, οι οποίες έχουν αυξημένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα από τις αντίστοιχες με καύσιμο το μαζούτ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο. Γενικά στις αλυσίδες προμήθειας της Βόρειας Ευρώπης παρατηρήθηκαν αυξημένοι δείκτες TWP. [53]

#### Περίπτωση 10: Σύγκριση LNG και HFO ως καύσιμα επιβατηγού στο Rotterdam

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι να αξιολογήσει δύο διαφορετικά ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στις θαλάσσιες μεταφορές, το υδροποιημένο φυσικό αέριο και το μαζούτ με περιεκτικότητα σε θείο 1%, με γνώμονα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που αποτυπώνονται σε ένα κύκλο ζωής τους. Η μελέτη εκτελεί μια συγκριτική αξιολόγηση των κύκλων ζωής, συγκρίνοντας τις επιπτώσεις του υδροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) από το εργοστάσιο Melkøya, στο βόρειο τμήμα της Νορβηγίας, με εκείνες του μαζούτ (HFO) από τη Βόρεια Θάλασσα. Και τα δύο καύσιμα θα μεταφερθούν στο Ρότερνταμ στην Ολλανδία, όπου θα χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο σε επιβατηγό πλοίο για ακτοπολικές μεταφορές, προκειμένου να προσδιοριστεί εάν η χρήση του υδροποιημένου φυσικού αερίου θα είναι φιλικότερη προς το περιβάλλον. Τα όρια του συστήματος περιλαμβάνουν την εξόρυξη πρώτων υλών, τη μεταφορά από υπεράκτιες εγκαταστάσεις στο χερσαίο τμήμα της χώρας, την παραγωγή των καυσίμων, τη μεταφορά τους και, τέλος, την καύση για τη μεταφορά ενός

τόνου φορτίου σε απόσταση ενός χιλιομέτρου. Η παραγωγή κεφαλαιουχικών αγαθών, η παραγωγή πετρελαίου λίπανσης και η διαχείριση των αποβλήτων της ιλύος πετρελαίου δεν περιλαμβάνονται στα όρια του συστήματος. Τα γεωγραφικά όρια τοποθετούνται στη βόρεια Ευρώπη. Θεωρήθηκε ότι η εξόρυξη αργού πετρελαίου θα λάβει χώρα στη Βόρεια Θάλασσα, ενώ το φυσικό αέριο εξάγεται από το Snøhvit, 143 χιλιόμετρα βορειοδυτικά της Melkøya, στο βόρειο τμήμα της Νορβηγίας. Η λειτουργική μονάδα είναι ένας τόνος φορτίου που μεταφέρεται ένα χιλιόμετρο με επιβατηγό πλοίο σε κανονικές συνθήκες θαλάσσιας μεταφοράς. Οι κατηγορίες επιπτώσεων που χρησιμοποιούνται είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η οξύνιση και η χρήση πρωτογενούς ενέργειας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το υδροποιημένο φυσικό αέριο από τη Melkøya έχει μεν χαμηλότερη επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου από το μαζούτ, αλλά η προκύπτουσα διαφορά είναι πολύ μικρή. Με συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου των **127 gCO<sub>2e</sub>/tkm**, το LNG είναι οριακά περιβαλλοντικά φιλικότερο από το μαζούτ που έχει συνολικές εκπομπές **130,13 gCO<sub>2e</sub>/tkm**.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα το LNG ως καύσιμο συμβάλλει σε χαμηλότερες εκπομπές ισοδύναμου διοξειδίου το άνθρακα από το μαζούτ σε όλα τα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού, εκτός από το στάδιο της μεταφοράς, η οποία αντιπροσωπεύει το **70%** των συνολικών εκπομπών. Η καύση του καυσίμου στους κινητήρες των πλοίων συμβάλλει στο μεγαλύτερο βαθμό στο φαινόμενο του θερμοκηπίου για όλα τα αέρια του θερμοκηπίου, εκτός από τις εκπομπές υποξειδίου του αζώτου, το οποίο εκπέμπεται στο στάδιο μεταφοράς σε μεγαλύτερο βαθμό για τις περιπτώσεις χρήσης του μαζούτ. Ωστόσο, η εκπομπή μεθανίου στην περίπτωση χρήσης του LNG είναι οκτώ φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με εκείνη του μαζούτ, αποτελώντας το **20%** των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για το LNG. Το LNG παράγει **92%** λιγότερα gSO<sub>2e</sub> / tkm από το μαζούτ. Στην οξύνιση συμβάλλουν και τα δύο καύσιμα μέσω των εκπομπών οξειδίων του αζώτου των μηχανών τους. Εντούτοις οι εκπομπές οξειδίων του θείου είναι κοντά στο μηδέν για την περίπτωση χρήσης του LNG. Τέλος, το LNG βρέθηκε να είναι ενεργειακά το πιο αποδοτικό καύσιμο, καθώς η απόδοση του HFO προέκυψε χαμηλότερη.[54]

**Πίνακας 27 Αποτελέσματα ανά κατηγορία για LNG και HFO Περίπτωσης 13**

	LNG	HFO
Φαινόμενο του Θερμοκηπίου	127 gCO <sub>2e</sub> /tkm	130,13 gCO <sub>2e</sub> /tkm
Οξύνιση	0,2903 gSO <sub>2e</sub> /tkm	4,32 gSO <sub>2e</sub> /tkm
Χρήση Πρωτογενούς Ενέργειας	1,33 MJ/tkm	1,81 MJ/tkm

**Πίνακας 28 Εκπομπές παραγωγής και καύσης καυσίμου για LNG και HFO Περίπτωσης 13**

	Παραγωγή Καυσίμου	Καύση
HFO	31,37 gCO <sub>2e</sub> /tkm	98,76 gCO <sub>2e</sub> /tkm
LNG	39,78 gCO <sub>2e</sub> /tkm	87,22 gCO <sub>2e</sub> /tkm

#### Περίπτωση 11: Σύγκριση καυσίμων σε πλοία RoPax και μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιείται η μέθοδος της ανάλυσης κύκλου ζωής σε πλοία διαφορετικού τύπου για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της επιλογής καυσίμου, σε διαφορετικά πλοία και λειτουργίες τους. Στόχος είναι να γίνει κατανοητή η σχέση της ενεργειακής απόδοσης και των εκπομπών καύσης με τον τύπο του κινητήρα και

του χρησιμοποιούμενου καυσίμου πλοίων, καθώς και με τη λειτουργία του πλοίου (εκτελούμενα δρομολόγια). Στα πλαίσια της επίτευξης του παραπάνω στόχου συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση κύκλου ζωής εκπρόσωποι από δύο τομείς των θαλάσσιων μεταφορών. Πραγματοποιήθηκαν, λοιπόν, δύο μελέτες περιπτώσεων, μία επιβατηγού - οχηματαγωγού πλοίου και μία ενός πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Το πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (container ship) πλέει από την Ασία προς την Ευρώπη, ενώ το επιβατηγό-οχηματαγωγό (RoPax) πραγματοποιεί δρομολόγια στη Βαλτική Θάλασσα. Ο χρόνος έχει οριστεί μετά το 2012 και πριν από το 2015. Η μελέτη περιλαμβάνει τις επιπτώσεις από την εξόρυξη, την παραγωγή, τη διανομή και την καύση του καυσίμου. Δεδομένου ότι η αξιολόγηση είναι συγκριτική αποκλείονται η κατασκευή, η συντήρηση και η διάλυση του πλοίου. Οι μονάδες παραγωγής που χρησιμοποιούνται στη μελέτη αυτή βρίσκονται στη Νορβηγία και στη Σουηδία. Η λειτουργική μονάδα είναι ένας χρόνος λειτουργίας του εκάστοτε πλοίου. Ο σκοπός της λειτουργικής μονάδας είναι να πραγματοποιηθεί σύγκριση των περιβαλλοντικών επιδόσεων ενός πλοίου, λαμβάνοντας υπόψη το ετήσιο λειτουργικό του προφίλ, τα χαρακτηριστικά του κινητήρα του και το καύσιμο που χρησιμοποιείται για την πρόωσή του. Οι κατηγορίες επιπτώσεων που χρησιμοποιούνται είναι οι ανάγκες σε γη, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και ο σχηματισμός αιωρούμενων σωματιδίων.

Σε ό, τι αφορά το RoPax πλοίο, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα βιοκαύσιμα μειώνουν τις επιπτώσεις στο περιβάλλον στις ακόλουθες κατηγορίες επιπτώσεων: κλιματική αλλαγή, εξάντληση ορυκτών καυσίμων, μετασχηματισμός της γης, καταστροφή του όζοντος, σχηματισμός αιωρούμενων σωματιδίων, οξύνιση χερσαίου εδάφους και τοξικότητα χερσαίου οικοσυστήματος. Η χρήση των βιοκαυσίμων οδηγεί σε εντονότερη εξάντληση των υδάτινων πόρων, σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα. Το κινούμενο με LNG πλοίο συμβάλλει λιγότερο στην εξάντληση των υδάτινων πόρων. Άλλες κατηγορίες επιπτώσεων, όπου τα τρία βιοκαύσιμα έχουν σημαντικά υψηλότερο αντίκτυπο σε σύγκριση με το καύσιμο αναφοράς είναι: οι ανάγκες σε γεωργική γη, ο ευτροφισμός γλυκού νερού, η εξάντληση ορυκτών πόρων και οι ανάγκες σε αστική γη. Η χρήση της μεθανόλης καταδεικνύει εκτός από υψηλή οικοτοξικότητα του γλυκού νερού και τοξικότητα στον άνθρωπο σε σύγκριση με τα άλλα καύσιμα. Διεργασίες από το ανάντι και κατόντι σύστημα συμβάλλουν περισσότερο από **5%** στο σχηματισμό αιωρούμενων σωματιδίων. Η χρήση του LNG έχει μικρότερη επίπτωση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σε σχέση με τη χρήση του HFO και του MDO, αλλά μεγαλύτερη σε σχέση με τα υπόλοιπα καύσιμα. Συγκεκριμένα οι εκπομπές του είναι **7%** λιγότερες από εκείνες του μαζούτ. Το **7,9%** των συνολικών εκπομπών προέρχεται από την παραγωγή του καυσίμου, το **5,2%** από τη μεταφορά του, το **5,8%** από ελιγμούς των πλοίων και το **73,5%** από την καύση του στους κινητήρες των πλοίων. Το **20%** των συνολικών ισοδύναμων εκπομπών προέρχεται από τις εκπομπές μεθανίου. Οι συνολικές εκπομπές ανέρχονται σε  **$1,4 \cdot 10^7 \text{ kgCO}_2\text{e/y}$** . Στην κατηγορία της χρήσης γης το LNG παρουσιάζει μειωμένες επιπτώσεις σε σχέση με το μαζούτ, αλλά αυξημένες σε σχέση με τα υπόλοιπα καύσιμα. Χαρακτηριστικά η επίδρασή του στη χρήση της γης ανέρχεται σε  **$812 \text{ m}^2\text{/y}$** . Τέλος προκαλεί τις λιγότερες εκπομπές σωματιδίων απ'όλα τα υπόλοιπα καύσιμα. Οι εκπομπές μειώνονται περισσότερο από **80%** σε σχέση με το μαζούτ. Οι συνολικές εκπομπές σωματιδίων ανέρχονται σε  **$0,1 \text{ kgPM}_{10}/\text{y}$** . Το **82,1%** αυτών προέρχεται από την καύση στους κινητήρες των πλοίων και το **8,9%** από τους ελιγμούς του πλοίου.

Όσον αφορά στο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων οι επιπτώσεις των διαφόρων καυσίμων δεν διαφέρουν σημαντικά από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στο

επιβατηγό πλοίο. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των καυσίμων είτε είναι πανομοιότυπες είτε χειρότερες ανά megajoule (MJ) καυσίμου. Από την σκοπιά του φαινομένου του θερμοκηπίου το FT-ντίζελ δείχνει σημαντικά χαμηλότερη αποτελεσματικότητα κατά **48%**, όταν εφαρμόζεται στο επιβατηγό-οχηματαγωγό πλοίο σε σύγκριση με το πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Η επίδραση στην κατηγορία της ανάγκης σε γεωργική γη, που προέρχεται από τη χρήση μεθανόλης, είναι **31.826** φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με το μαζούτ, και **1.748** φορές υψηλότερη σε σύγκριση με το FT-ντίζελ. Και στις δύο περιπτώσεις από την καύση στους κινητήρες του πλοίου προέρχεται το **86-88%** των εκπομπών φαινομένου του θερμοκηπίου για τη χρήση συμβατικών καυσίμων, και το **75-79%** των εκπομπών του φαινομένου του θερμοκηπίου, που προέρχεται από πλοία, που λειτουργούν με καύσιμο LNG. Με την εφαρμογή του LNG στο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων η επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου αυξάνεται κατά **1,9%** σε σύγκριση με τη χρήση του μαζούτ. Οι συνολικές εκπομπές ανέρχονται σε  **$1 \cdot 10^8 \text{ kgCO}_{2e}/\text{y}$** , αυξημένες κατά **1,9%** σε σχέση με τις εκπομπές του μαζούτ. Από αυτές τις εκπομπές το **11,6%** οφείλεται στη μεταφορά του καυσίμου. Το **20,3%** των συνολικών ισοδύναμων εκπομπών οφείλεται στις εκπομπές μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Η επίπτωση στην κατηγορία της δέσμευσης της αγροτικής γης είναι ίδια με πριν, ενώ η επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία παρουσιάζεται ελαφρώς αυξημένη με εκπομπές σωματιδίων  **$0,15 \text{ kgPM}_{10}/\text{y}$** . [55]

### 3.3.2 Συγκριτική Παρουσίαση των Μελετών

Στην πλειοψηφία των μελετών το LNG συγκρίνεται με άλλα ναυτιλιακά καύσιμα. Συνήθως τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση είναι το μαζούτ(HFO), με ή χωρίς σύστημα καθαρισμού (scrubber) και το ντίζελ (MDO).

Στην προσέγγιση του υδροποιημένου φυσικού αερίου ως ναυτιλιακό καύσιμο δίνεται έμφαση στη συγκριτική αξιολόγηση των επιπτώσεων του σε σχέση με άλλα καύσιμα. Τα καύσιμα με τα οποία συγκρίνεται είναι το ντίζελ, το MGO, το μεθάνιο, κάποια βιοκαύσιμα, αλλά και το μαζούτ και το συνθετικό ντίζελ. Το μαζούτ και το ντίζελ συνήθως συνοδεύονται από συστήματα καθαρισμού ή δέσμευσης καυσαερίων. Η ευρέως θεωρούμενη αλυσίδα είναι η αλυσίδα «από το λίκνο στην έλικα». Επομένως **μέσα στα όρια του συστήματος** περιλαμβάνονται στην πλειονότητα των μελετών η εξαγωγή των πρώτων υλών, η παραγωγή των καυσίμων, η θαλάσσια μεταφορά τους, ο ανεφοδιασμός των πλοίων και η καύση των καυσίμων στους κινητήρες. **Εκτός των ορίων του συστήματος** αφήνονται συνήθως η παραγωγή πετρελαίου λίπανσης, η επεξεργασία των αποβλήτων της ύλης πετρελαίου και του χρησιμοποιημένου λαδιού λίπανσης και η κατασκευή και συντήρηση των κεφαλαίουχικών αγαθών. Η **λειτουργική μονάδα** που χρησιμοποιείται στο σύνολο σχεδόν των μελετών είναι η μεταφορά ενός τόνου φορτίου κατά ένα χιλιόμετρο με πλοίο RoRo, αλλά σπανιότερα χρησιμοποιούνται και άλλες λειτουργικές μονάδες, όπως η ετήσια λειτουργία του υπό εξέταση πλοίου και η μεταφορά ενός τόνου φορτίου κατά ένα χιλιόμετρο με επιβατηγό πλοίο. Τα τυπικά **γεωγραφικά όρια** είναι οι ζώνες περιορισμένων εκπομπών (ECAs) στη Βόρεια Ευρώπη (Βόρεια Θάλασσα και Βαλτική). Ο **χρονικός ορίζοντας** είναι συνήθως το διάστημα μεταξύ 2010-2020, εντούτοις σε μερικές μελέτες επεκτείνεται ως το 2025. Οι **κατηγορίες των επιπτώσεων** που λήφθηκαν υπόψη στην πλειοψηφία των μελετών είναι η πρωτογενής χρήση ενέργειας, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η οξύνιση και η ανθρώπινη υγεία. Σε μικρότερο βαθμό εκτιμήθηκαν οι επιπτώσεις στον ευτροφισμό, στο σχηματισμό φωτο-οξειδωτικού φαινομένου και η ελάττωση του στρώματος του όζοντος, ενώ σπανιότερα προσδιορίστηκαν οι επιπτώσεις στη χρήση της γης.

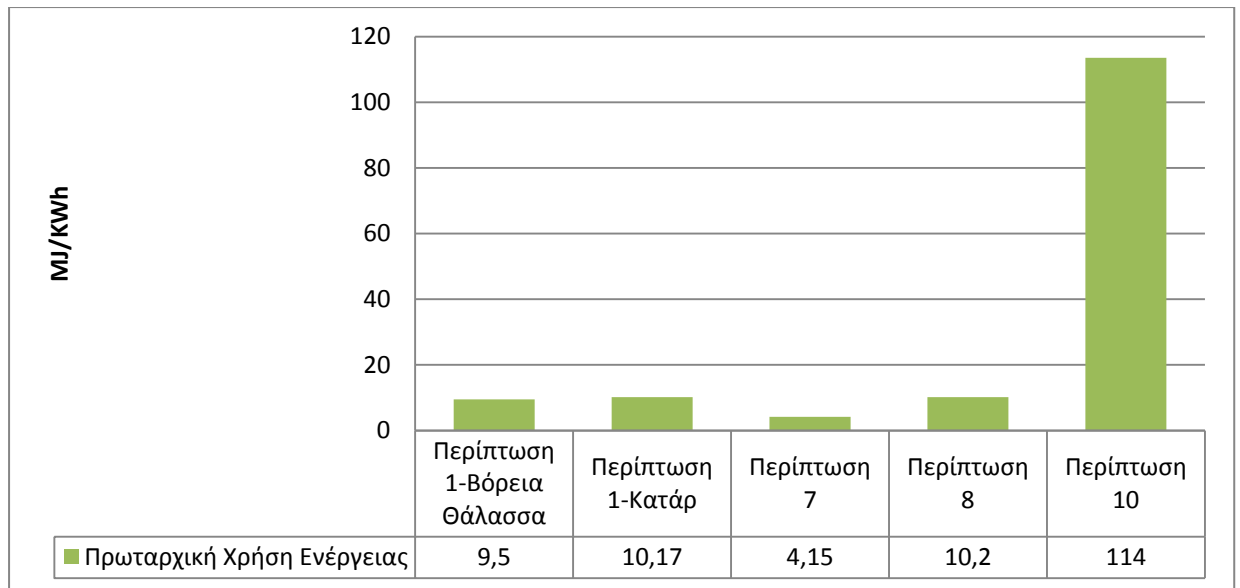
Τα αποτελέσματα φανερώνουν ότι η καύση του καυσίμου στο πλοίο, αποτελεί την κυρίαρχη συμβολή στον συνολικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, αφού το **70%-88%** των αερίων του θερμοκηπίου οφείλονται σε αυτή. Κατά τη μεταφορά του καυσίμου εκπέμπονται περίπου **35 gCO<sub>2e</sub>/tkm**. Η χρήση της πρωτογενούς ενέργειας εκτιμάται σε **0,6-1,3 MJ/tkm**. Οι επιπτώσεις στην υγεία, καθώς και οι πιθανές επιπτώσεις στην οξύνιση και στον ευτροφισμό είναι χαμηλότερες για το LNG απ' ότι τόσο για τα συμβατικά καύσιμα όσο και για τα βιοκαύσιμα. Ωστόσο, οι τοπικές και περιφερειακές επιπτώσεις, όπως η μόλυνση της ατμόσφαιρας των λιμανιών, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου από τις μηχανές θαλάσσης. Γενικά η χρήση του LNG μειώνει τα οξείδια το αζώτου. Στους ναυτικούς κινητήρες η ολίσθηση του μεθανίου εισάγει μεγάλη αβεβαιότητα στα αποτελέσματα και αποτελεί τον ισχυρότερο παράγοντα στη συμβολή του φαινομένου του θερμοκηπίου για το υδροποιημένο φυσικό αέριο. Στις περισσότερες περιπτώσεις η χρήση του LNG ως καύσιμο παρουσιάζει περιβαλλοντικά οφέλη. Σε ορισμένες περιπτώσεις το περιβαλλοντικό όφελος από το LNG εκτιμήθηκε πολύ μικρό έως ανύπαρκτο. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στις διαρροές του μεθανίου, καθώς αποτελεί ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου. Οι διαρροές μεθανίου λαμβάνουν χώρα στις μηχανές των πλοίων και στην παραγωγή του καυσίμου. Εκτιμάται ότι στη διαρροή μεθανίου οφείλεται έως το **20%** της συνολικής επίπτωσης στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η παραγωγή του καυσίμου αποτελεί ένα τμήμα της αλυσίδας προμήθειας που αυξάνει σημαντικά τις συνολικές εκπομπές.

Από τις κατηγορίες για τις οποίες εκτιμήθηκαν οι επιπτώσεις προέκυψε ότι οι κατηγορίες που επηρεάζονται περισσότερο είναι αυτές του φαινομένου του θερμοκηπίου και της πρωταρχικής χρήσης ενέργειας. Στις κατηγορίες οξύνιση, σχηματισμός σωματιδίων, ευτροφισμός και φωτο-οξειδωτικό φαινόμενο η επιπτώσεις είναι πάρα πολύ μικρές. Οι ρύποι είναι της τάξης  $10^{-2}$  και  $10^{-3}$  g/tkm.

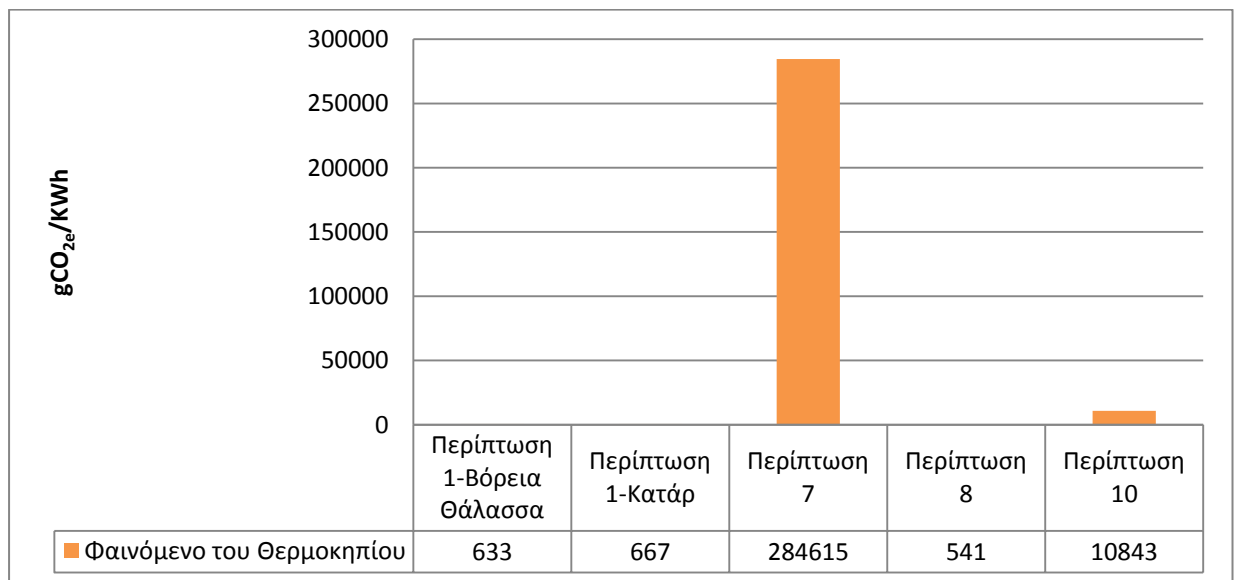
Η συγκριτική αποτίμηση των παραπάνω μελετών, όπου υπήρξε εφικτό, δίνεται στα παρακάτω διαγράμματα. Προκειμένου να καταστούν συγκρίσιμες οι περιπτώσεις έγινε αναγωγή όσων ήταν εφικτό με βάση τα δεδομένα που δίνονται σε μηχανική κιλοβατώρα λειτουργίας.

Τα διαγράμματα 4-6 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα του καυσίμου LNG των περιπτώσεων σύγκρισης ναυτιλιακών καυσίμων για τις κατηγορίες χρήσης πρωτογενούς ενέργειας, φαινόμενο του θερμοκηπίου και οξύνιση.

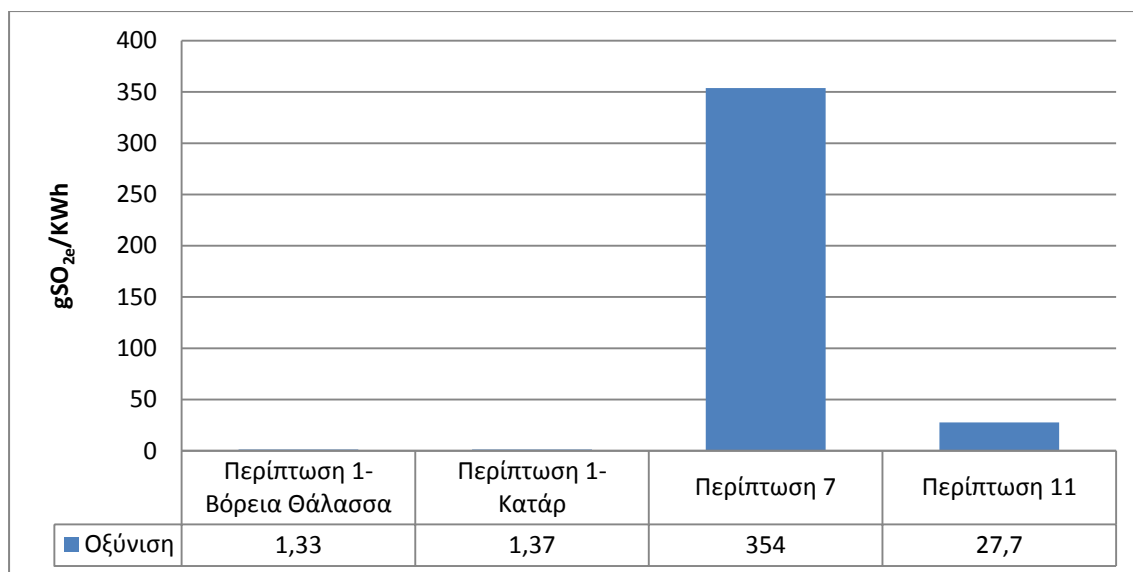




Διάγραμμα 4 Πρωταρχική Χρήση Ενέργειας



Διάγραμμα 5 Φαινόμενο του Θερμοκηπίου



**Διάγραμμα 6 Οξύνιση**

Από τα διαγράμματα 4-6 συμπεραίνεται ότι η πλειοψηφία των μελετών έχει παρόμοια συμπεριφορά και επίπεδο εκπομπών ρύπων ανά κατηγορία ισοδύναμων εκπομπών. Οι δύο περιπτώσεις που παρουσιάζουν συνολικά αυξημένες εκπομπές είναι οι 7 και 10.

Στον πίνακα 29 παρουσιάζονται συνοπτικά οι μελέτες με κριτήρια την εξεταζόμενη περίπτωση, τη λειτουργική μονάδα, τα όρια του συστήματος και τις κατηγορίες επιπτώσεων.

Πίνακας 29 Συγκεντρωτικός Πίνακας Ορίων Συστήματος, Λειτουργικής Μονάδας και Κατηγοριών Επιπτώσεων

Μελέτες	Όρια Συστήματος		Λειτουργική Μονάδα	Κατηγορίες Επιπτώσεων
1 Σύγκριση τεσσάρων ναυτιλιακών καυσίμων με χρήση τεχνικών καθαρισμού	<b>Περιλαμβάνονται:</b> -Εξόρυξη πρώτων υλών -Μεταφορά -Ανεφοδιασμός -Καύση	<b>Δεν περιλαμβάνονται:</b> -η παραγωγή πετρελαίου λίπανσης - η επεξεργασία των αποβλήτων της υλούς πετρελαίου -επεξεργασία των αποβλήτων του χρησιμοποιημένου λαδιού λίπανσης -η κατασκευή και συντήρηση των κεφαλαιουχικών αγαθών	tkm	-Χρήση Πρωτογενούς Ενέργειας -Οξύνιση -Ευτροφισμός -Σχηματισμός Φωτο-οξειδωτικού Φαινομένου -Ανθρώπινη Υγεία
2 Σύγκριση Μεθόδων Προμήθειας LNG	<i>Τα όρια του συστήματος απαντώνται στην περιγραφή κάθε μονοπατιού</i>		MJ <sub>fuel</sub>	Φαινόμενο του Θερμοκηπίου
3 Μελέτη Ανεφοδιασμού του LNG με τη μέθοδο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	<b>Περιλαμβάνονται:</b> -Εκπομπές από την Κατασκευή των Εγκαταστάσεων του Τερματικού -Χρήση της Ενέργειας -Εκπομπές εξαιτίας του Ανεφοδιασμού	<b>Δεν περιλαμβάνονται:</b> -Μεταχείριση των BOG για περιόδους μακράς αποθήκευσης -Στοιχεία εξόρυξης κάποιων ροών	1 διαδικασία ανεφοδιασμού	-Φαινόμενο του Θερμοκηπίου -Οξύνιση -Ευτροφισμός -Τοξικότητα στον Άνθρωπο -Ελάττωση Στρώματος του Όζοντος
4 Συγκριτική Μελέτη Καυσίμων σε Τάνκερ με τη Μέθοδο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	<b>Περιλαμβάνονται:</b> -Εξόρυξη πρώτων υλών -Μεταφορά -Ανεφοδιασμός -Καύση	<b>Δεν περιλαμβάνονται:</b> -η παραγωγή πετρελαίου λίπανσης - η επεξεργασία των αποβλήτων της υλούς πετρελαίου -επεξεργασία των αποβλήτων του χρησιμοποιημένου λαδιού λίπανσης -η κατασκευή και συντήρηση των κεφαλαιουχικών αγαθών	kg <sub>αερίων</sub>	Φαινόμενο του Θερμοκηπίου
5 Σύγκριση σταδιακής αλλαγής καυσίμων με βάση το LNG και το ντίζελ	<b>Περιλαμβάνονται:</b> -Εξόρυξη πρώτων υλών -Μεταφορά -Ανεφοδιασμός -Καύση	<b>Δεν περιλαμβάνονται:</b> -η παραγωγή πετρελαίου λίπανσης - η επεξεργασία των αποβλήτων της υλούς πετρελαίου -επεξεργασία των αποβλήτων του χρησιμοποιημένου λαδιού λίπανσης -η κατασκευή και συντήρηση των	1)tkm 2)ένας χρόνος λειτουργίας	-Χρήση Πρωτογενούς Ενέργειας -Φαινόμενο του Θερμοκηπίου -Οξύνιση -Ευτροφισμός

		κεφαλαιουχικών αγαθών		
<b>6</b> Ανάλυση κύκλου ζωής στο LNG ως καύσιμο που παράγεται στην Αυστραλία	<b>Περιλαμβάνονται:</b> Εκπομπές από τη λειτουργία των εγκαταστάσεων	<b>Δεν περιλαμβάνονται:</b> Εκπομπές από την κατασκευή και συντήρηση των εγκαταστάσεων	$MJ_{fuel}$	Φαινόμενο του Θερμοκηπίου
<b>7</b> Μελέτη σταδιακής αλλαγής καυσίμου επιβατηγού πλοίου στη Βόρεια Θάλασσα με γνώμονα το LNG και το ντίζελ	<b>Περιλαμβάνονται:</b> -Εξόρυξη πρώτων υλών -Μεταφορά -Ανεφοδιασμός -Καύση	<b>Δεν περιλαμβάνονται:</b> -η παραγωγή πετρελαίου λίπανσης - η επεξεργασία των αποβλήτων της ιλύος πετρελαίου -επεξεργασία των αποβλήτων του χρησιμοποιημένου λαδιού λίπανσης -η κατασκευή και συντήρηση των κεφαλαιουχικών αγαθών	Ένας χρόνος λειτουργίας	-Χρήση Πρωτογενούς Ενέργειας -Χρήση Αγροτικής Γης -Φαινόμενο του Θερμοκηπίου -Ευτροφισμός -Οξύνιση -Σχηματισμός Σωματιδίων
<b>8</b> Σύγκριση LNG, μεθανίου και βιοκαυσίμων	<b>Περιλαμβάνονται:</b> -Εξόρυξη πρώτων υλών -Μεταφορά -Ανεφοδιασμός -Καύση	<b>Δεν περιλαμβάνονται:</b> -η παραγωγή πετρελαίου λίπανσης - η επεξεργασία των αποβλήτων της ιλύος πετρελαίου -επεξεργασία των αποβλήτων του χρησιμοποιημένου λαδιού λίπανσης -η κατασκευή και συντήρηση των κεφαλαιουχικών αγαθών	tkm	-Συνολική εξαγόμενη Ενέργεια -Φαινόμενο του Θερμοκηπίου -Οξύνιση -Σχηματισμός Σωματιδίων -Ελάττωση της στιβάδας του Οζόντος -Χερσαίος Ευτροφισμός -Υδάτινος Ευτροφισμός
<b>9</b> Ανάλυση Κύκλου Ζωής LNG στις Θαλάσσιες Μεταφορές με την Προοπτική της Τεχνολογικής Εξέλιξης	<b>Περιλαμβάνονται:</b> -Εξόρυξη πρώτων υλών -Μεταφορά -Ανεφοδιασμός -Καύση	<b>Δεν περιλαμβάνονται:</b> -η παραγωγή πετρελαίου λίπανσης - η επεξεργασία των αποβλήτων της ιλύος πετρελαίου -επεξεργασία των αποβλήτων του χρησιμοποιημένου λαδιού λίπανσης -η κατασκευή και συντήρηση των κεφαλαιουχικών αγαθών	$kg_{εκπομπών}/ταξίδι$	-Φαινόμενο του Θερμοκηπίου
<b>10</b> Σύγκριση LNG και HFO ως καύσιμα επιβατηγού στο Rotterdam	<b>Περιλαμβάνονται:</b> -Εξόρυξη πρώτων υλών -Μεταφορά -Ανεφοδιασμός -Καύση	<b>Δεν περιλαμβάνονται:</b> -η παραγωγή πετρελαίου λίπανσης - η επεξεργασία των αποβλήτων της ιλύος πετρελαίου -επεξεργασία των αποβλήτων του	tkm	-Πρωταρχική Χρήση Ενέργειας -Φαινόμενο του Θερμοκηπίου -Οξύνιση

		<p>χρησιμοποιημένου λαδιού λίπανσης</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-η κατασκευή και συντήρηση των κεφαλαιουχικών αγαθών</li> </ul>		
<p><b>11 Σύγκριση καυσίμων σε πλοία RoPax και μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων</b></p>	<p><b>Περιλαμβάνονται:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Εξόρυξη πρώτων υλών</li> <li>-Μεταφορά</li> <li>-Ανεφοδιασμός</li> <li>-Καύση</li> </ul>	<p><b>Δεν περιλαμβάνονται:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-η παραγωγή πετρελαίου λίπανσης</li> <li>- η επεξεργασία των αποβλήτων της υλός πετρελαίου</li> <li>-επεξεργασία των αποβλήτων του χρησιμοποιημένου λαδιού λίπανσης</li> <li>-η κατασκευή και συντήρηση των κεφαλαιουχικών αγαθών</li> </ul>	<p>Ένας χρόνος λειτουργίας</p>	<p>Αναλύθηκαν κυρίως οι:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Φαινόμενο του Θερμοκηπίου</li> <li>-Κατοχή Αγροτικής Γης</li> <li>-Σχηματισμός Σωματιδίων</li> </ul>

## Κεφάλαιο 4

### Τεχνοοικονομική Ανάλυση Προμήθειας LNG

#### 4.1 Εξεταζόμενα Σενάρια

Στο παρόν τμήμα εξετάζεται η εισαγωγή του LNG ως καύσιμο για τον ανεφοδιασμό πλοίων στην περιοχή του Αιγαίου Πελάγους. Η προκαταρκτική μελέτη περιλαμβάνει τον ανεφοδιασμό πλοίων ακτοπλοΐας, δίνοντας βάση στα επιβατηγά-οχηματαγωγά πλοία (RoPax), που κινούνται στην περιοχή. Πιο συγκεκριμένα εξετάζεται η δυνατότητα ανεφοδιασμού με LNG καύσιμο στα λιμάνια του Πειραιά και του Ηρακλείου.[56] Εξετάζονται τρία εναλλακτικά σενάρια, που αφορούν διαφορετικές μεθόδους μεταφοράς του καυσίμου από τον τερματικό σταθμό εισαγωγής στον τελικό καταναλωτή. Τα σενάρια αυτά περιλαμβάνουν τη μεταφορά του καυσίμου μέσω χερσαίας ή/και θαλάσσιας οδού με ή χωρίς ενδιάμεση αποθήκευσή του.

Οι εξεταζόμενες μέθοδοι μεταφοράς του LNG καυσίμου, περιλαμβάνουν τη μεταφορά με:

1. φορτηγά, που μεταφέρουν LNG containers (tanker trucks),
2. πλοία RoRo, που επίσης μεταφέρουν τα LNG containers,
3. πλοίο ανεφοδιασμού καυσίμου LNG.

Η μεταφορά του καυσίμου σχεδιάζεται να ξεκινά από το τερματικό εισαγωγής του LNG στην Ελλάδα, που βρίσκεται στο νησί της Ρεβυθούσας και καταλήγει στο λιμάνι του Πειραιά και, αν κριθεί απαραίτητο, στο λιμάνι του Ηρακλείου. Στα λιμάνια εξετάζεται η ανάγκη ύπαρξης και η δυνατότητα κατασκευής εγκαταστάσεων αποθήκευσης του καυσίμου.

#### Εμπλεκόμενοι Φορείς

Οι εμπλεκόμενοι φορείς που συμμετέχουν στην αλυσίδα προμήθειας και ανεφοδιασμού του LNG στα πλοία είναι το τερματικό εισαγωγής του LNG, ο προμηθευτής του LNG, τα λιμάνια, ο μετασκευαστής και ο πλοιοκτήτης.

Τερματικό Εισαγωγής: Ο τερματικός σταθμός εισαγωγής LNG στη χώρα βρίσκεται στο νησί Ρεβυθούσα, το οποίο βρίσκεται 500 μέτρα περίπου από την ακτή της Αγίας Τριάδας, στον κόλπο Πάχης Μεγάρων, 45 χιλιόμετρα Δυτικά της Αθήνας.[57] Τον τερματικό σταθμό διαχειρίζεται ο Διαχειριστής Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου (ΔΕΣΦΑ).[58] Εξετάζεται η επιβολή τέλους χρήσης των εγκαταστάσεων του νησιού από τον προμηθευτή του καυσίμου.

Προμηθευτής του Καυσίμου: Αποτελεί μια εταιρία παροχής φυσικού αερίου (υγροποιημένου και μη), στην οποία έχει χορηγηθεί άδεια διανομής φυσικού αερίου σε μη επιλεγμένους πελάτες. Στην Ελλάδα η εταιρία διανομής φυσικού αερίου με το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς είναι η ΔΕΠΑ, μητρική εταιρία της ΔΕΣΦΑ.[59]

Ο προμηθευτής μεταφέρει το καύσιμο μέσω ξηράς ή θάλασσας στα σημεία ανεφοδιασμού των πλοίων (λιμάνια). Για τη διανομή του καυσίμου απαιτείται επένδυση σε εξοπλισμό διανομής που διαφοροποιείται ανάλογα με τα σενάρια.

Λιμάνι: Στα σενάρια τα λιμάνια του Πειραιά και του Ηρακλείου, θεωρούνται τόποι ανεφοδιασμού των πλοίων. Στα λιμάνια τοποθετείται ο απαραίτητος εξοπλισμός

αποθήκευσης του LNG (στα σενάρια που απαιτείται). Η εισαγωγή τέλους χρήσης των εγκαταστάσεων για τον ανεφοδιασμό των πλοίων βρίσκεται υπό εξέταση.

**Πλοιοκτήτης:** Ο κάτοχος του πλοίου ή της εταιρίας στην οποία ανήκει το πλοίο. Ο πλοιοκτήτης επωμίζεται το κόστος της μετασκευής του πλοίου και του τέλους του λιμανιού. Ο πλοιοκτήτης αγοράζει το καύσιμο στην τελική του τιμή.

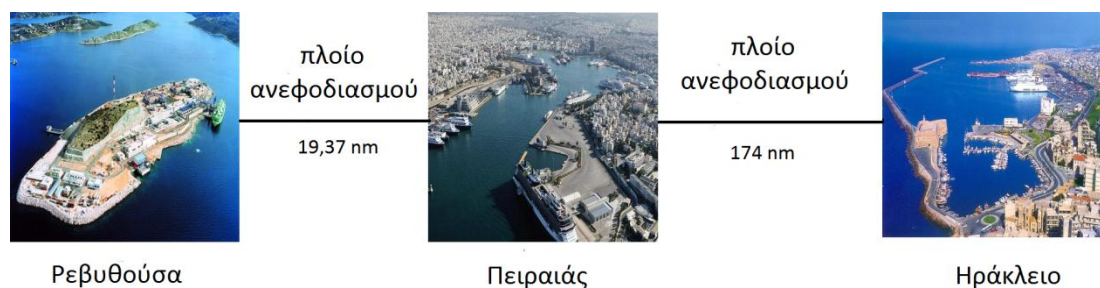
**Μετασκευαστής:** Είναι ο φορέας που αναλαμβάνει τη μετασκευή του πλοίου, ώστε να καταστεί εφικτή η χρήση του υδροποιημένου φυσικού αερίου ως καύσιμο πρόωσης.

## Περιγραφή Σεναρίων

Τα τρία σενάρια μεταφοράς του καυσίμου LNG είναι τα ακόλουθα.

### Σενάριο I (Σ1)

Το σενάριο αυτό προβλέπει τη μεταφορά του καυσίμου μέσω θάλασσας με πλοίο ανεφοδιασμού από τη Ρεβυθούσα στον Πειραιά και μετά, αν προβλέπεται, στο Ηράκλειο (Εικόνα 8). Το πλοίο ανεφοδιασμού έχει τη δυνατότητα να ανεφοδιάζει απευθείας τα επιβατηγά (ship to ship bunkering) ή να γεμίζει μία δεξαμενή αποθήκευσης. Στην περίπτωση που η μεταφερόμενη ποσότητα του καυσίμου είναι ίση ή μεγαλύτερη των [60] 500 m<sup>3</sup>, συνίσταται ο ανεφοδιασμός των πλοίων γίνεται από σταθερή εγκατάσταση (δεξαμενή). Η επιλογή της χωρητικότητας της δεξαμενής έγινε με γνώμονα τις ευρέως χρησιμοποιούμενες δεξαμενές στην Ευρώπη, αλλά και τις εκτιμώμενες ανάγκες των λιμανιών. Σε περίπτωση που η ζήτηση είναι μεγάλη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότερα πλοία ανεφοδιασμού διαφόρων χωρητικότητων.



Σενάριο I

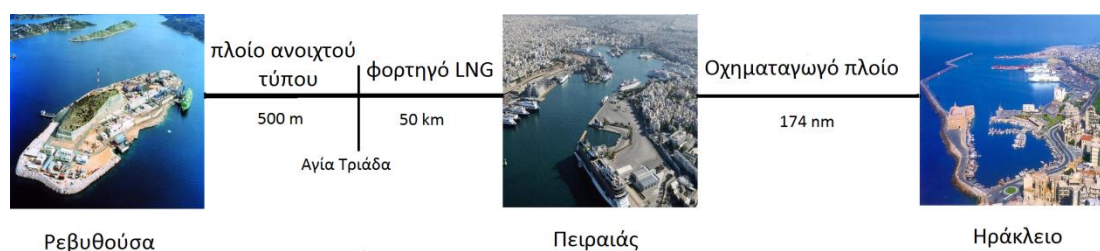
Εικόνα 8 Μεταφορά LNG με πλοίο ανεφοδιασμού

### Σενάριο II (Σ2)

Στο δεύτερο σενάριο, το LNG καύσιμο μεταφέρεται κυρίως μέσω ξηράς. Πιο συγκεκριμένα το υδροποιημένο αέριο μεταφέρεται με containers καθαρής χωρητικότητας 40 m<sup>3</sup>. Τα containers φορτώνονται σε ένα πλοίο ανοιχτού τύπου, το οποίο τα μεταφέρει στην απέναντι ακτή (Αγία Τριάδα). Στην Αγία Τριάδα τα container τοποθετούνται πάνω σε τρέιλερ, τα οποία προσδένονται σε τράκτορες ισχύος 450 hp [61] και μεταφέρονται μέσω της εθνικής οδού Αθηνών-Μεγάρων στον Πειραιά. Στο λιμάνι τα βυτιοφόρα, ανάλογα με τις μεταφερόμενες ποσότητες καυσίμου, είτε γεμίζουν μία ή περισσότερες δεξαμενές είτε ανεφοδιάζουν απευθείας το εκάστοτε πλοίο (Εικόνα 9). Ο ανεφοδιασμός των πλοίων γίνεται από δεξαμενή στην περίπτωση που η μεταφερόμενη ποσότητα του καυσίμου είναι ίση ή

μεγαλύτερη των  $250m^3$ . Μετά το πέρας του ανεφοδιασμού τα βυτιοφόρα επιστρέφουν στην Αγία Τριάδα και τα άδεια πλέον containers μεταφέρονται με το πλοίο ανοιχτού τύπου στη Ρεβυθούσα για να ξαναγεμίσουν με καύσιμο. Η συχνότητα του ανεφοδιασμού, επομένως και των δρομολογίων των φορτηγών, εξαρτάται από τη ζήτηση του καυσίμου. Θεωρήθηκε ότι τα βυτιοφόρα εκτελούν ένα δρομολόγιο την ημέρα. Ο αριθμός των δρομολογίων μπορεί να φτάσει έως και τα επτά την εβδομάδα. Στο λιμάνι του Πειραιά κάθε στιγμή εισέρχονται για λόγους ασφάλειας έως οκτώ LNG φορτηγά με την προϋπόθεση ότι δε βρίσκονται όλα στην ίδια πύλη την ίδια χρονική στιγμή.

Στην περίπτωση μεταφοράς ποσότητας καυσίμου στο λιμάνι του Ηρακλείου, τα φορτηγά αφήνουν τα containers σε ένα πλοίο RoRo στον Πειραιά, το οποίο τα μεταφέρει στο Ηράκλειο. Στο λιμάνι του Ηρακλείου ένας τράκτορας τα μεταφέρει, ανάλογα με τις μεταφερόμενες ποσότητες, είτε στο σημείο αποθήκευσης του καυσίμου είτε στα προς ανεφοδιασμό πλοία. Στο RoRo φορτώνονται τα άδεια containers, τα οποία επιστρέφουν στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια με τα φορτηγά στο τερματικό εισαγωγής για επαναφόρτωση. Τα containers παραμένουν στο λιμάνι μέχρι την επόμενη φορά που θα έρθει το οχηματαγωγό πλοίο για να τα παραλάβει και να αφήσει γεμάτα. Αν τα δρομολόγια προς το Ηράκλειο είναι τόσο αραιά, ώστε να μη χρειάζονται πρόσθετα containers, τότε το RoRo απλώς αφήνει τα γεμάτα και σε μεταγενέστερη χρονική στιγμή τα παραλαμβάνει άδεια.



Σενάριο II

### Εικόνα 9 Χερσαία Μεταφορά LNG με containers

### Σενάριο III

Το τρίτο σενάριο προβλέπει τη μεταφορά του καυσίμου μέσα σε containers με πλοίο RoRo απευθείας από τη Ρεβυθούσα στο λιμάνι του Πειραιά και έπειτα, αν χρειάζεται, και στο λιμάνι του Ηρακλείου (Εικόνα 10). Τα containers πληρώνονται με καύσιμο στη Ρεβυθούσα και στη συνέχεια φορτώνονται στο οχηματαγωγό πλοίο με προορισμό το λιμάνι του Πειραιά. Εκεί αφήνονται για να προσδεθούν στα φορτηγά που θα ανεφοδιάσουν τα εκάστοτε πλοία ή θα γεμίσουν μία δεξαμενή. Σημειώνεται ότι ο ανεφοδιασμός των πλοίων γίνεται από δεξαμενή στην περίπτωση που η μεταφερόμενη ποσότητα του καυσίμου είναι ίση ή μεγαλύτερη των  $250m^3$ . Στη συνέχεια, αν απαιτείται, το πλοίο κατευθύνεται προς το Ηράκλειο για να μεταφέρει τα γεμάτα containers και να παραλάβει τα άδεια. Ύστερα το πλοίο επιστρέφει στο λιμάνι του Πειραιά και παραλαμβάνει τα άδεια εμπορευματοκιβώτια για να τα επιστρέψει στη Ρεβυθούσα.

Για τα LNG containers ισχύει ο ίδιος περιορισμός που ισχύει και για τα φορτηγά στο δεύτερο σενάριο. Αν τα δρομολόγια προς το Ηράκλειο είναι τόσο αραιά, ώστε να μη χρειάζονται πρόσθετα containers, τότε το RoRo απλώς αφήνει τα γεμάτα και σε μεταγενέστερη χρονική στιγμή τα παραλαμβάνει άδεια





Εικόνα 10 Θαλάσσια Μεταφορά LNG με containers και RoRo

Τα σενάρια ένα και τρία για να υλοποιηθούν προϋποθέτουν την κατασκευή πλατφόρμας, προκειμένου να μπορούν να προσαράξουν πλοία στο τερματικό της Ρεβυθούσας.

## 4.2 Τεχνοοικονομική Μελέτη Μεθόδων Προμήθειας Καυσίμου LNG στο Αιγαίο

Τα παραπάνω σενάρια εξετάζονται για διάρκεια ζωής 30 χρόνων. Η διάρκεια ζωής των επενδύσεων εκτιμήθηκε 30 έτη με βάση την εκτιμώμενη διάρκεια ζωής έργων αποθήκευσης και ανεφοδιασμού LNG και τον κύκλο ζωής του πλοίου που θεωρείται περίπου τριάντα έτη[62].

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε δύο σκέλη. Το πρώτο σκέλος αποτελεί τη θεωρητική προσέγγιση κάθε τμήματος και εμπλεκόμενου φορέα της αλυσίδας ανεφοδιασμού. Πρωταρχικός στόχος της μελέτης είναι ο προσδιορισμός της τιμής πώλησης (ή αγοράς) του καυσίμου, που καθιστά βιώσιμη την επένδυση κάθε εμπλεκόμενου φορέα που συμμετέχει στην αλυσίδα ανεφοδιασμού για σύστημα τιμολόγησης βασισμένο σε συμβόλαιο και σταθερή ζήτηση. Το δεύτερο σκέλος αποτελεί την προσέγγιση της προμήθειας από τη σκοπιά του προμηθευτή αφού λήφθηκε υπ' όψη η ετήσια αύξηση της ζητούμενης ποσότητας του LNG και η μεταβολή στην τιμή των καυσίμων. Στόχος αποτελεί ο προσδιορισμός της τιμής πώλησης που καθιστά βιώσιμη την επένδυση του προμηθευτή.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα οικονομικά στοιχεία και τα στοιχεία εξοπλισμού κάθε νομικού προσώπου της εφοδιαστικής αλυσίδας.

### 4.2.1 Προμηθευτής

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο προμηθευτής εισάγει το καύσιμο από το εξωτερικό στο τερματικό εισαγωγής και στη συνέχεια το μεταφέρει μέσω ξηράς ή θάλασσας στα σημεία ανεφοδιασμού (λιμάνια). Για τη διανομή του καυσίμου απαιτείται επένδυση σε εξοπλισμό διανομής, που διαφοροποιείται ανάλογα με τα σενάρια.

Ως καύσιμο των πλοίων και των φορτηγών μεταφοράς θεωρήθηκε το LNG. Η τιμή αγοράς δίνεται σε €/KWh και έχει αναχθεί σε €/m<sup>3</sup> με βάση την κατώτερη θερμογόνο ικανότητα του LNG **20.3 MJ/lt** [63]. Για τον προσδιορισμό του κόστους του προσωπικού πραγματοποιήθηκε αναγωγή σε ένα μέσο μισθό με γνώμονα το απαιτούμενο πλήρωμα και το μεικτό εισόδημα κάθε βαθμού, ο οποίος προσαυξήθηκε κατά 10% [64], εφόσον ο μισθός του προσωπικού στις μεταφορές του LNG είναι μεγαλύτερος.

Η προμήθεια του καυσίμου πραγματοποιείται δύο φορές την εβδομάδα τη χειμερινή περίοδο και τρεις φορές την εβδομάδα τη θερινή περίοδο. Η ποσότητα του καυσίμου που μεταφέρεται, είναι η απαιτούμενη για την πλήρωση των δεξαμενών των LNG πλοίων.

Για τον προσδιορισμό της τιμής πώλησης καταστρώνονται ταμειακές ροές. Για τη συμπλήρωση των ταμειακών ροών έχουν ληφθεί οι ακόλουθες παραδοχές (Πίνακας 30):

**Πίνακας 30 Χρηματοοικονομικά Στοιχεία Επένδυσης Προμηθευτή**

<b>Χρηματοοικονομικά Στοιχεία Επένδυσης</b>	
Πληθωρισμός	1% [65]
Απόσβεση	12% [66]
Επιδότηση	(μόνο αν απαραίτητο για βιωσιμότητα)
Διάρκεια δανείου	15 χρόνια [67]
Επιτόκιο δανεισμού	6,5% [67]
Φορολόγηση	29% [68]
Διάρκεια ζωής επένδυσης	30 χρόνια [62]

Ο πληθωρισμός τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα εμφανίζει σταθερή πτώση. Οι τιμές του παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 31 και τις δυσοιάνες προοπτικές ανάκαμψης [69] δικαιολογείται η επιλογή της τιμής 1%.

**Πίνακας 31 Στοιχεία Πληθωρισμού στην Ελλάδα [65]**

<b>Στοιχεία Πληθωρισμού στην Ελλάδα</b>	
2010	4,7%
2011	3,1%
2012	1,0%
2013	-0,9%
2014	-1,4%
2015	-0,3%
2016	0,7%*

\* Εκτιμώμενη τιμή

Το επιτόκιο δανεισμού εκτιμήθηκε 6,5%. Η εκτίμηση βασίστηκε στη δυνατότητα χορήγησης δανείων χαμηλότερων επιτοκίων που προβλέπονται στα πλαίσια της στήριξης της πράσινης επιχειρηματικότητας (π.χ. μέσω του ETEAN). Δεν έχει θεωρηθεί το επιτόκιο του ELA (8%) με την θεώρηση ότι η επένδυση θα γίνει μετά το 2017. Το ποσοστό απόσβεσης επιλέχθηκε σύμφωνα με το προβλεπόμενο ποσοστό για τεχνολογικό εξοπλισμό από τη νομοθεσία.

Παρακάτω αναφέρονται τα κόστη της επένδυσης του προμηθευτή ανάλογα με το σενάριο προμήθειας.

## Σενάριο 1

### Προμήθεια LNG με πλοίο ανεφοδιασμού (bunker vessel)

Σε αυτό το σενάριο το LNG μεταφέρεται μέσω θαλάσσης σε πλοίο ανεφοδιασμού από τη Ρεβυθούσα μέχρι το λιμάνι του Πειραιά και του Ηρακλείου. Τα βασικά στοιχεία της μεταφοράς είναι τα ακόλουθα (Πίνακας 32).

Πίνακας 32 Στοιχεία Διαδρομής και Ταχυτήτων Σεναρίου 1

Βασικά Στοιχεία Μετακίνησης	
Ειδική κατανάλωση καυσίμου(LNG)	154 gr/KWh[70]
Ρεβυθούσα- Πειραιάς(one way)	19,37 nm[71]
Πειραιάς- Ηράκλειο(one way)	174 nm[72]
Ταχύτητα στο τμήμα Ρεβυθούσα-Πειραιάς	10 kn[73]
Ταχύτητα στο τμήμα Πειραιάς- Ηράκλειο	14 kn και 16 kn[74, 75]

Το μέγεθος και η ισχύς του πλοίου ανεφοδιασμού προσεγγίζεται ανάλογα με το φορτίο με συνάρτηση που προέκυψε από υπάρχοντα πλοία ίδιου τύπου.

Η κατανάλωση του καυσίμου του πλοίου ανεφοδιασμού υπολογίζεται από τη σχέση

$$B = \Pi * b_e * P_e * \frac{2*d}{v} * \frac{1}{10^6}, \text{ όπου}$$

B είναι η κατανάλωση καυσίμου σε mt,

$\Pi$  το ποσοστό ισχύος (θεωρείται **85%** ποσοστό ισχύος φορτωμένου πλοίου, **30%** ποσοστό ισχύος άδειου πλοίου στο τμήμα Πειραιάς-Ρεβυθούσα και **55%** άδειου πλοίου στο τμήμα Ηράκλειο-Πειραιάς)[76]

$b_e$  η ειδική κατανάλωση καυσίμου LNG σε gr/KWh,

$P_e$  η ισχύς της μηχανής στην άτρακτο σε KW,

d η απόσταση σε nm,

και v η ταχύτητα του πλοίου σε kn.

Το κόστος του καταναλισκόμενου καυσίμου υπολογίζεται από τη σχέση

$$K(\text{€}) = k_t * B, \text{ όπου}$$

$k_t$  το κόστος καυσίμου σε  $\frac{\text{€}}{\text{mt}}$ .

Σε αυτό το σενάριο ο προμηθευτής επωμίζεται ως κόστος επένδυσης το κόστος αγοράς του πλοίου. Το κόστος ενός μικρού μεταχειρισμένου πλοίου εκτιμήθηκε περίπου **10.000.000-15.000.000 €** ανάλογα τη χωρητικότητα, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 300- 1300 m<sup>3</sup>. [77]

Το πλοίο εκτιμάται ότι εκτελεί δρομολόγια με τέσσερα άτομα προσωπικό στο τμήμα Ρεβυθούσα-Πειραιάς και με έξι άτομα στο Αιγαίο, που έχουν μέσο μισθό **35 €/h**.

Το κόστος συντήρησης θεωρήθηκε 5% του ετήσιου λειτουργικού κόστους [78] πλην των τελών. Τα τέλη πληρώνονται στη Ρεβυθούσα για τις εγκαταστάσεις που χρειάστηκε να κατασκευαστούν προκειμένου να καταστεί εφικτή η πρόσδεση των πλοίων ανεφοδιασμού και ανέρχεται σε 2 €/mt. Το ποσό που καταβάλλεται στη Ρεβυθούσα θεωρήθηκε ίδιο με το ποσό που καταβάλλεται στο λιμάνι του Πειραιά για τον ανεφοδιασμό των πλοίων.

Τα κόστη του προμηθευτή συνοψίζονται στον πίνακα 33.

**Πίνακας 33 Κόστος Επένδυσης και Λειτουργικό Κόστος Σεναρίου 1**

<b>Κόστος Επένδυσης</b>	
Πλοίο Ανεφοδιασμού	15.000.000 €[77]
<b>Λειτουργικό Κόστος</b>	
Καύσιμο	357,13 €/mt[79]
Προσωπικό στο τμήμα Ρεβυθούσα-Πειραιάς	4x 35 €/h
Προσωπικό στο τμήμα Πειραιάς-Ηράκλειο	7x 35 €/h
Τέλη Ρεβυθούσας	2 €/mt
Συντήρηση	5% του OPEX (πλην τελών)[78]

### Σενάριο 2

#### Προμήθεια LNG με container μέσω ξηράς

Σε αυτό το σενάριο η μεταφορά του LNG γίνεται κυρίως μέσω ξηράς μέχρι το λιμάνι του Πειραιά και μέσω θάλασσας από τον Πειραιά μέχρι το Ηράκλειο. Το LNG μεταφέρεται μέσα σε tank containers. Τα βασικά στοιχεία μετακίνησης σε αυτό το σενάριο είναι τα ακόλουθα (Πίνακας 34).

**Πίνακας 34 Στοιχεία Διαδρομής και Ταχυτήτων Σεναρίου 2**

<b>Βασικά Στοιχεία Μετακίνησης</b>	
Ειδική κατανάλωση καυσίμου πλοίου	154 g/KWh[70]
Απόσταση Ρεβυθούσα-Αγία Τριάδα	500 m[80]
Απόσταση Πειραιάς-Ηράκλειο	174 nm[72]
Ταχύτητα σε Ρεβυθούσα-Αγία Τριάδα	6 kn[81]
Ταχύτητα σε Πειραιάς-Ηράκλειο	15,5 kn[81]
Χωρητικότητα tank container	40m <sup>3</sup> [82]
Απόσταση Αγία Τριάδα-Πειραιάς	50 km[71]
Ταχύτητα σε Αγία Τριάδα-Πειραιάς	60 km/h[83]

Το μέγεθος του πλοίου ανοιχτού τύπου υπολογίζεται από υπάρχοντα πλοία του είδους που ανεφοδιάζουν LNG πλοία και η μηχανική ισχύς του θεωρήθηκε **300 KW**. [81]

Η διανύμενη απόσταση των φορτηγών εκτιμήθηκε θεωρώντας μεταφορά μέσω της εθνικής οδού Μεγάρων-Πειραιά.

Η κατανάλωση του καυσίμου του πλοίου ανοιχτού τύπου υπολογίζεται όπως στο σενάριο 1, με τη διαφορά ότι το φορτίο της μαχανής λήφθηκε παντού 85%. Η κατανάλωση καυσίμου υπολογίζεται όπως και στο σενάριο 1.

Η κατανάλωση καυσίμου του τράκτορα υπολογίζεται από τη σχέση

$$B_t = (\# \text{ truck}) * b_e * P_e * \frac{2*d}{v} * \frac{1}{10^6}, \text{ όπου}$$

$B_t$  η κατανάλωση καυσίμου LNG σε mt,

$b_e$  η ειδική κατανάλωση καυσίμου LNG σε gr/KWh,

$P_e$  η ισχύς στον άξονα του τράκτορα σε KW,

$d$  η διανυόμενη απόσταση σε km,

$v$  η ταχύτητα του φορτηγού σε km/h.

Το κόστος του καυσίμου του τράκτορα υπολογίζεται από τη σχέση

$$K_t = (\# \text{ truck}) * k_t * P_e * \frac{2*d}{v}, \text{ όπου}$$

$K_t$  το συνολικό κόστος LNG σε €,

$k_t$  το κόστος καυσίμου LNG σε €/KWh,

$P_e$  η ισχύς στον άξονα του τράκτορα σε KW,

$d$  η διανυόμενη απόσταση σε km,

$v$  η ταχύτητα του φορτηγού σε km/h.

Η μηχανική ισχύς του τράκτορα προσδιορίστηκε **278 KW** (περίπου 370 hp) με βάση το βάρος του ίδιου και το βάρος του φορτίου. Θεωρήθηκε ότι το βάρος του τράκτορα πρέπει να είναι τουλάχιστον το ένα τέταρτο του βάρους του φορτίου. Στη συνέχεια για το συνολικό βάρος επιλέχθηκε η ισχύς του φορτηγού. Στην επιστροφή, που τα φορτηγά κινούνται άδεια, η ισχύς θεωρήθηκε το **25%** της αρχικής.[84]

Σε αυτό το σενάριο ο προμηθευτής επωμίζεται τα παρακάτω κόστη επένδυσης (Πίνακας 35):

**Πίνακας 35 Κόστη Εξοπλισμού Σεναρίου 2**

Κόστη Εξοπλισμού	
Κόστος πλοίου ανοιχτού τύπου	3.000.000 €
Κόστος tank container	140.000 €[14]
Κόστος τράκτορα	120.000 €[14]

Το απαραίτητο προσωπικό του πλοίου ανοιχτού τύπου εκτιμήθηκε να είναι δύο άτομα με μέσο μισθό 35 €/h. Το κόστος του πλοίου λήφθηκε από τηλεφωνική επικοινωνία.

Το κόστος συντήρησης υπολογίζεται όπως στο σενάριο 1.

Στον πίνακα 36 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα κόστη του προμηθευτή σε αυτό το σενάριο.

Πίνακας 36 Κόστη Επένδυσης και Εξοπλισμού Σεναρίου 2

Κόστος Επένδυσης	
Κόστος πλοίου ανοιχτού τύπου	3.000.000 €
Κόστος tank container	140.000 €
Κόστος τράκτορα	120.000 €
Λειτουργικό Κόστος	
Κόστος καυσίμου πλοίων	357,13 €/mt
Κόστος καυσίμου φορτηγών	0,0285 €/KWh[79]
Κόστος προσωπικού πλοίου ανοιχτού τύπου	2x 35 €/h
Κόστος προσωπικού φορτηγών	1x 7 €/h
Τέλη Ρεβυθούσας	2 €/mt
Κόστος Συντήρησης	5% του OPEX (πλην τελών)[78]

### Σενάριο 3

#### Προμήθεια LNG με container με πλοίο RoRo

Σε αυτό το σενάριο το LNG μεταφέρεται εξ ολοκλήρου μέσω θαλάσσιας οδού. Συγκεκριμένα το καύσιμο τοποθετείται μέσα σε tank containers, τα οποία μεταφέρονται με πλοίο RoRo. Τα βασικά στοιχεία μεταφοράς σε αυτό το σενάριο είναι τα ακόλουθα (Πίνακας 37).

Πίνακας 37 Στοιχεία Διαδρομής και Ταχύτητας Σεναρίου 3

Βασικά Στοιχεία Μετακίνησης	
Ειδική κατανάλωση πλοίου	154 g/KWh[70]
Απόσταση Ρεβυθούσα-Πειραιάς	19,37 nm[71]
Απόσταση Πειραιάς-Ηράκλειο	174 nm[72]
Ταχύτητα σε Ρεβυθούσα-Πειραιάς	10 kn[75]
Ταχύτητα σε Πειραιάς-Ηράκλειο	15,5 kn[67]
Χωρητικότητα tank container	40 m <sup>3</sup> [82]

Πίνακας 38 Κόστη Επένδυσης Εξοπλισμού

Κόστη Εξοπλισμού	
Κόστος tank container	140.000 €[14]
Κόστος τράκτορα	120.000 €[14]

Το κόστος συντήρησης υπολογίζεται ομοίως με τα προηγούμενα σενάρια.

Το κόστος οδηγού φορτηγού ανέρχεται σε 7 €/h. Για την εκτίμηση του κόστους προσαυξήθηκε 10% [64] το κόστος οδηγού φορτηγού και προσμετρήθηκε το πρόσθετο ποσό που λαμβάνει ο οδηγός για τη μεταφορά επικίνδυνου φορτίου. [85]

Στον πίνακα 39 συνοψίζονται τα κόστη του προμηθευτή σε αυτό το σενάριο.

Πίνακας 39 Κόστη Επένδυσης και Λειτουργικά Κόστη Σεναρίου 3

Κόστος Επένδυσης	
Κόστος tank container	140.000 €
Κόστος τράκτορα	120.000 €
Λειτουργικό Κόστος	
Κόστος Εισιτηρίου RoRo	450 €/container
Κόστος καυσίμου τράκτορα	0,0285 €/KWh[79]
Τέλη Ρεβουθούσας	2 €/mt
Κόστος συντήρησης	5% του OPEX (πλην τελών)[78]

Το κόστος του εισιτηρίου λήφθηκε από τηλεφωνική επικοινωνία.

Στον πίνακα 40 αναφέρονται συγκεντρωτικά τα λειτουργικά κόστη και κόστη επένδυσης του προμηθευτή για κάθε σενάριο.

Πίνακας 40 Κόστη Προμηθευτή για κάθε Σενάριο

	Κόστη Προμηθευτή		
	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Κόστη Εξοπλισμού			
Πλοίο ανεφοδιασμού	10.000.000 €	-	-
Πλοίο ανοιχτού τύπου	-	3.000.000 €	-
Φορτηγό(τράκτορας)*	-	110.000 €	110.000 €
Container*	-	130.000 €	130.000 €
Λειτουργικά Κόστη			
Προσωπικό πλοίου	4x 35 €/h	2x 35 €/h	-
Προσωπικό φορτηγού	-	1x 7 €/h	1x 7 €/h
Καύσιμο πλοίου	0,0285 €/KWh	0,0285 €/KWh	-
Καύσιμο φορτηγού	-	0,0285 €/KWh	0,0285 €/KWh
Τέλη	2 €/mt	2 €/mt	2 €/mt
Διόδια	-	6,00 €[86]	-
Κόστη Συντήρησης			
Συντήρηση	5% του OPEX	5% του OPEX	5% του OPEX

\*Κόστος μονάδας, το τελικός κόστος διαμορφώνεται ανάλογα με την διακινούμενη ποσότητα LNG.

#### 4.2.2 Λιμάνι

Στο λιμάνι πραγματοποιείται η διαδικασία ανεφοδιασμού των πλοίων και αποθηκεύεται το καύσιμο, εάν υπάρχουν οι απαραίτητες εγκαταστάσεις.

Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης περιλαμβάνουν τη δεξαμενή αποθήκευσης, τις απαραίτητες σωληνώσεις, τις αντλίες και τον συμπιεστή του μέρους του LNG που αεριοποιείται (BOG compressor).

Θεωρούμε ότι το λιμάνι απασχολεί έναν λιμενεργάτη κατά τη διάρκεια του ανεφοδιασμού που αμείβεται με **36 €/h**. [87] Το κόστος του λιμενεργάτη με προσαύξηση του ωρομισθίου 10% επειδή συμμετέχει στη διαδικασία ανεφοδιασμού LNG.

Τα ετήσια έσοδα του λιμανιού προέρχονται από τα λιμενικά τέλη ανεφοδιασμού και ανέρχονται σε **2 €/mt**. Τα τέλη ανεφοδιασμού επιλέχθηκαν με γνώμονα την παρούσα τιμολογιακή πολιτική του λιμανιού (**300 €/ανεφοδιασμό**), η οποία λήφθηκε από τηλεφωνική

επικοινωνία. Τα ετήσια έξοδα περιλαμβάνουν το κόστος του προσωπικού και το λειτουργικό κόστος των εγκαταστάσεων αποθήκευσης LNG, όταν υπάρχουν εγκαταστάσεις αποθήκευσης LNG καυσίμου.

Η συμμετοχή του λιμανιού σε κάθε σενάριο περιγράφεται παρακάτω.

#### Σενάριο 1

##### Μεταφορά LNG με πλοίο ανεφοδιασμού (bunker vessel)

Στο σενάριο αυτό η διαδικασία ανεφοδιασμού γίνεται μεταξύ των πλοίων (ship to ship bunkering), χωρίς να υπάρχει συμμετοχή του λιμανιού πέρα από το προσωπικό για τον ανεφοδιασμό. Στο λιμάνι δε χτίζονται ειδικές εγκαταστάσεις αποθήκευσης. Η διάρκεια του ανεφοδιασμού επηρεάζεται από το μέγεθος του πλοίου ανεφοδιασμού. Ο ρυθμός ανεφοδιασμού κυμαίνεται από **200-1000 m<sup>3</sup>/h** και προσεγγίστηκε από αύξουσα συνάρτηση με βάση την διακινούμενη ποσότητα καυσίμου.[82]

#### Σενάριο 2

##### Μεταφορά LNG με container μέσω ξηράς

Σε αυτό το σενάριο συμμετέχει το λιμάνι με κατασκευή εξοπλισμού και απασχολώντας υπαλλήλους σε περίπτωση που η διακινούμενη ποσότητα του LNG ξεπερνά τα 250 m<sup>3</sup>. Αν η διακινούμενη ποσότητα είναι μικρότερη των 250 m<sup>3</sup>, τότε ο ανεφοδιασμός πραγματοποιείται απευθείας από το φορτηγό με ρυθμό **60 m<sup>3</sup>/h[82]**, ενώ σε αντίθετη περίπτωση γίνεται από δεξαμενή αποθήκευσης με ρυθμό **400 m<sup>3</sup>/h**. [88], [82]

Ο βασικός εξοπλισμός αποθήκευσης περιλαμβάνει:

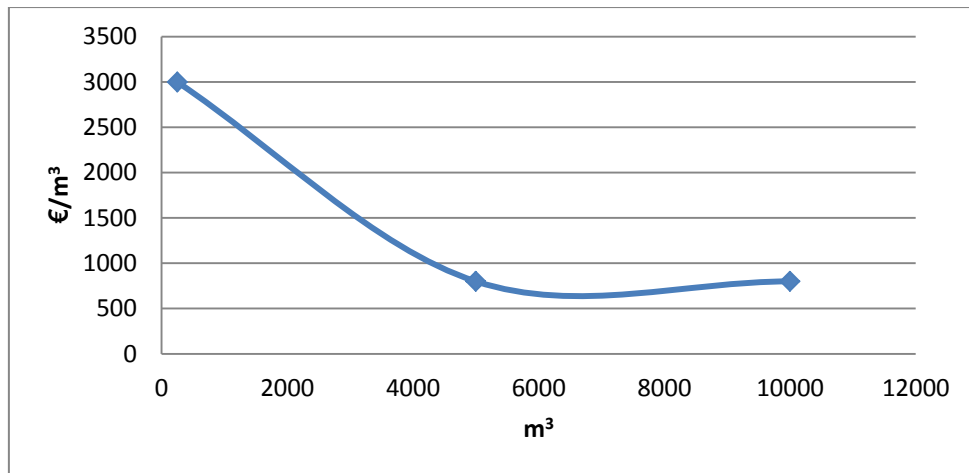
- τη δεξαμενή αποθήκευσης (μία ή περισσότερες ανάλογα με τις ανάγκες),
- τις σωληνώσεις που συνδέουν τη δεξαμενή με το πλοίο,
- τις αντλίες κενού και
- το συμπιεστή των αερίων BOG(boil off gas)

Η διαστασιολόγηση και η κοστολόγηση του εξοπλισμού έγιναν σύμφωνα με τα παρακάτω.

#### Δεξαμενή

Στη δεξαμενή αποθηκεύεται 30% περισσότερη ποσότητα LNG από τη ζητούμενη για λόγους ασφάλειας παροχής. Το μέγεθος κι ο αριθμός των δεξαμενών επιλέγεται ανάλογα με τις ανάγκες από δεξαμενές συγκεκριμένων διαστάσεων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται δεξαμενές χωρητικότητας 250 m<sup>3</sup>, 500 m<sup>3</sup>, 720 m<sup>3</sup>, 1160 m<sup>3</sup> και 1200 m<sup>3</sup>. [89] Για την κοστολόγηση της χρησιμοποιείται προσεγγιστική φθίνουσα συνάρτηση ανάλογα με την αποθηκευόμενη ποσότητα, εφόσον η τιμή κυμαίνεται από 898-3370 €/m<sup>3</sup> και τιμές από υπάρχουσες εγκαταστάσεις, μειούμενη με την αύξηση της διακινούμενης ποσότητας, αποτελώντας χαρακτηριστικό παράδειγμα οικονομίας κλίμακας. Για τον υπολογισμό του κόστους έχει ληφθεί η ισοδυναμία δολαρίου- ευρώ για την ημέρα 20.10.2015 Με βάση τη βιβλιογραφία η τιμή της δεξαμενής εμφανίζεται γραφικά στο Διάγραμμα 7.[90, 91]





Διάγραμμα 7 Ειδικό Κόστος Δεξαμενής

### Σωληνώσεις

Η απόσταση της δεξαμενής από το πλοίο εκτιμήθηκε από το χάρτη του λιμανιού, λαμβάνοντας υπόψη τη διάταξή του, αλλά και τον περιορισμό του μήκους των σωληνώσεων. Το λειτουργικό κόστος των σωληνώσεων θεωρείται 5% του κόστους επένδυσης, ενώ τα κόστος επένδυσης υπολογίστηκε από τη συνάρτηση

$$CAPEX_{\text{pipeline}}=1867*d^2*L,$$

όπου  $d$  διάμετρος των σωληνώσεων σε in και  $L$  το μήκος των σωληνώσεων σε χιλιόμετρα.

Το μήκος των σωληνώσεων είναι 170m τόσο στο λιμάνι του Πειραιά όσο και στο λιμάνι του Ηρακλείου, ενώ η διάμετρος τους επιλέχθηκε 177,8 mm (7 in). Η διάμετρος επιλέχθηκε με στόχο την επίτευξη του μεγαλύτερου δυνατού ρυθμού ανεφοδιασμού των πλοίων από τη δεξαμενή.

Ο παραπάνω τύπος έχει ως στόλο να προσεγγίσει το κόστος του υλικού στηριζόμενος στη μάζα του υλικού, αφού η συνήθης τιμολόγηση γίνεται με βάση τους τόνους των σωληνώσεων.[92]

### Αντλίες

Η επιλογή των αντλιών έγινε από τυποποιημένες κρουγονικές αντλίες. Το κόστος αγοράς έκαστης ανέρχεται σε **17.810 €** έπειτα από μετατροπή δολαρίων σε ευρώ. Η κάθε αντλία είναι **11KW rate 20 m³/h**. Ο αριθμός τους επιλέχθηκε με στόχο να επιτυγχάνεται ο ρυθμός ανεφοδιασμού της δεξαμενής που προαναφέρθηκε. Το λειτουργικό κόστος τους προκύπτει από της ώρες λειτουργίας τους. Λειτουργούν με καύσιμο ντίζελ, οπότε το λειτουργικό τους κόστος υπολογίζεται με γνώμονα την κατανάλωση καυσίμου.[93]

### Συμπιεστής

Ο συμπιεστής απαιτείται για την επανυδροποίηση του τμήματος φυσικού αερίου που αεριοποιήθηκε, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες φυσικού αερίου της δεξαμενής. Η διαστασιολόγηση του έγινε με βάση την ανάγκη **0,005 KW/kg** [94] αεριοποιημένου φυσικού αερίου, ενώ η κοστολόγηση των **8,83 €/KW**. Λειτουργεί με καύσιμο ντίζελ, οπότε το λειτουργικό του κόστος υπολογίστηκε όπως το κόστος αντλιών.[95] και [96]

### Συντήρηση εξοπλισμού

Το ετήσιο κόστος συντήρησης του εξοπλισμού λήφθηκε 2% του κόστους επένδυσης.[97]

Τα κόστη κεφαλαίου και τα λειτουργικά κόστη του εξοπλισμού του λιμανιού παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 41.

**Πίνακας 41 Κόστη Επένδυσης και Εξοπλισμού Λιμανιού**

Εξοπλισμός	Κόστος Επένδυσης	Λειτουργικό Κόστος
Δεξαμενή	10.000 €/ m <sup>3</sup>	-
Σωληνώσεις	1867*d <sup>2</sup> *L	5% κόστους επένδυσης σωληνώσεων
Αντλία*	17.810 €	1,103 €/lt[98]
Συμπιεστής*	8,83€/KW	1,103 €/lt
Συντήρηση	-	2% συνολικού κόστους επένδυσης

*\*Εξοπλισμός που λειτουργεί με ντίζελ, το συνολικό λειτουργικό κόστος διαμορφώνεται ανάλογα με την απαιτούμενη διάρκεια ανεφοδιασμού LNG.*

### Σενάριο 3

#### Μεταφορά LNG με container με πλοίο RoRo

Ισχύουν τα ίδια ακριβώς με το σενάριο 2.

Στον πίνακα 42 παρατίθενται το λειτουργικό κόστος και το κόστος επένδυσης του λιμανιού για κάθε σενάριο.

**Πίνακας 42 Κόστη Λιμανιού**

	Κόστη Λιμανιού		
	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
	<b>Κόστη Εξοπλισμού</b>		
Δεξαμενή	-	10.000 $\frac{\text{€}}{\text{m}^3}$	10.000 $\frac{\text{€}}{\text{m}^3}$
Αντλία	-	17.809 €	17.809 €
Συμπιεστής	-	129.121 €	129.121 €
Σωληνώσεις	-	13.863 €	13.863 €
	<b>Λειτουργικά Κόστη</b>		
Συμπιεστής*	-	(diesel)	(diesel)
Αντλία*	-	(diesel 11 KW)	(diesel 11 KW)
Σωληνώσεις	-	693 €	693 €
	<b>Κόστος Συντήρησης</b>		
Συντήρηση	-	2% του CAPEX	2% του CAPEX

*\*Εξοπλισμός που λειτουργεί με ντίζελ, το συνολικό λειτουργικό κόστος διαμορφώνεται ανάλογα με την απαιτούμενη διάρκεια ανεφοδιασμού LNG.*

### 4.2.3 Πλοιοκτήτης

Ο πλοιοκτήτης αποτελεί τον αγοραστή του LNG καυσίμου. Για να κινείται ένα πλοίο με υγροποιημένο φυσικό αέριο χρειάζεται ειδικό σχεδιασμό, γι' αυτό και τα συμβατικά πλοία απαιτούν μετασκευή. Ένας πλοιοκτήτης μπορεί να διαθέσει ένα ή περισσότερα πλοία για μετασκευή. Στο Αιγαίο κυκλοφορούν πλοία και διαφόρων τύπων και ισχύων. Τα περισσότερα είναι RoPax πλοία, με τα οποία ασχολείται αποκλειστικά το πρώτο μέρος της οικονομικής ανάλυσης. Για τη μελέτη επιλέχθηκαν χαρακτηριστικές ισχύεις των 12 MW, 25 MW και 68 MW. Ένα πλοίο των 12 MW θεωρείται σχετικά μικρό, ενώ των 68 MW από τα μεγαλύτερα. Πολλά RoPax, που εκτελούν διαδρομές στα νησιά του Αιγαίου, έχουν κύριες μηχανές με ισχύεις που κυμαίνονται μεταξύ 25 MW και 35 MW. Ωστόσο στο μεγαλύτερο μέρος του ταξιδιού λειτουργούν για λόγους οικονομίας σε ένα ποσοστό της ισχύος τους και σε ταχύτητα σαφώς χαμηλότερη της ονομαστικής.

Στο παρόν τμήμα εξετάζεται η οικονομική βιωσιμότητα της μετασκευής του πλοίου από πλοίο που κινείται με καύσιμο HFO σε πλοίο που κινείται με καύσιμο LNG σε σχέση με τη μετασκευή, ώστε να κινείται με MDO, ένα καύσιμο πολύ ακριβό. Κέρδος για τον πλοιοκτήτη θεωρήθηκε το διαφορικό κέρδος των δύο καυσίμων(MDO και LNG), ενώ λειτουργικό κόστος το πρόσθετο κόστος προσωπικού, αφού ένα πλοίο με καύσιμο LNG απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό με μεγαλύτερη ασφάλιση. Παλιότερα τα πλοία που χρησιμοποιούσαν ως καύσιμο το LNG, είχαν κόστη λειτουργίας μεγαλύτερα κατά 35%, ενώ σήμερα η διαφορά οφείλεται αποκλειστικά στην εκπαίδευση και ασφάλιση του προσωπικού. Το πρόσθετο κόστος προσωπικού εκτιμάται 10% σε σχέση με ένα συμβατικό πλοίο. Το κόστος επένδυσης είναι το κόστος μετασκευής του συμβατικού πλοίου σε πλοίο που λειτουργεί με κινητήρα διπλού καυσίμου.[78]

Τα στοιχεία που λήφθηκαν για τα παραπάνω πλοία φαίνονται στον πίνακα 43.

**Πίνακας 43 Στοιχεία Στόλου[64, 67, 70, 81, 99, 100]**

ισχύς πλοίων(MW)	<b>25</b>	<b>12</b>	<b>68</b>
ποστό ισχύος λειτουργίας	80%	85%	50%
Απόδοση λόγω απωλειών		97%	
ειδική κατανάλωση LNG(g/KWh)	157	151	157
ειδική κατανάλωση MDO(g/KWh)	203	205	201
ταχύτητα(kn)	18,9	18,7	19,5
ετήσιος # ημερών δρομολογίων		280	
<b>Προσωπικό</b>			
Διαφορικό Κόστος Προσωπικού		10%	
Κόστος προσωπικού(€/h)	18	20	20
# προσωπικού	80	70	90
τιμή ανταγωνιστικού καυσίμου(€/mt)		476,05	

Θεωρούμε ότι κατά τον ανεφοδιασμό των πλοίων γεμίζει η δεξαμενή τους. Τα πλοία των 25 MW και 68 MW διαθέτουν δύο δεξαμενές καθαρής χωρητικότητας 250 m<sup>3</sup> και το πλοίο των 12 MW δύο δεξαμενές καθαρής χωρητικότητας 150 m<sup>3</sup>. Η επιλογή βασίστηκε σε υπάρχουσες δεξαμενές πλοίων [101] και στα δρομολόγια σε συνδυασμό με τη συχνότητα ανεφοδιασμού των πλοίων.

Η κατανάλωση του καυσίμου υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο, όπως και στον προμηθευτή.

Η μετατροπή από τόνους σε κυβικά μέτρα γίνεται με την αντιστοίχιση  $1 m^3=0,45 \text{ mt.}$ [8]

Τα διαφορετικά σενάρια επηρεάζουν τον πλοιοκτήτη στην τιμή αγοράς το καυσίμου.

Στον πίνακα 44 παρουσιάζονται τα λειτουργικά κόστη και κόστη επένδυσης του πλοιοκτήτη.

**Πίνακας 44 Κόστη Πλοιοκτήτη**

<b>Κόστη Πλοιοκτήτη</b>			
Ισχύς	12MW	25MW	68MW
<b>Λειτουργικό Κόστος</b>			
Προσωπικό	70x 18 €/h	80x 20 €/h	90x 20 €/h
<b>Κόστος Επένδυσης</b>			
Κόστος Μετασκευής	8.160.000 €	15.000.000 €	19.380.000 €

Εξετάζεται η οικονομική βιωσιμότητα στόλων που αποτελούνται από:

- 1 πλοίο των 12 MW,
- 1 πλοίο των 25 MW,
- 1 πλοίο των 68 MW,
- 2 πλοία, 1 των 25 MW και ένα των 68 MW και
- 3 πλοία, ένα από κάθε ισχύ.

Στην επιλογή των δύο πλοίων επιλέχθηκαν τα πλοία των 25 MW και 68 MW, επειδή με χρήση μόνο του 50% της ισχύος του το πλοίο των 68 ουσιαστικά συμπεριφέρεται ως ένα πλοίο των 34 MW, ισχύ συνηθισμένη στα RoPax πλοία ελληνικής σημαίας στο Αιγαίο.

Για τη συμπλήρωση των ταμειακών ροών έχουν ληφθεί οι ακόλουθες παραδοχές (Πίνακας 45):

**Πίνακας 45 Χρηματοοικονομικά Στοιχεία Επένδυσης Πλοιοκτήτη**

<b>Χρηματοοικονομικά Στοιχεία Επένδυσης</b>	
Πληθωρισμός	1%
Απόσβεση	5% [68]
Επιδότηση	(μόνο αν απαραίτητο για βιωσιμότητα)
Διάρκεια δανείου	12 χρόνια [102]
Επιτόκιο δανεισμού	6,5% [69]
Διάρκεια ζωής επένδυσης	30 χρόνια [64]

Η επιλογή του πληθωρισμού και του επιτοκίου δανεισμού έγινε όπως και στον προμηθευτή. Το δάνειο εδώ διαρκεί δώδεκα χρόνια, ώστε να είναι μία τυπική διάρκεια δανείου που συνάπτεται μεταξύ τραπεζών και πλοιοκτητών. Τα τριάντα χρόνια επιλέχθηκαν με βάση τον κύκλο ζωής των πλοίων που περίπου τριάντα χρόνια χρόνια. Η απόσβεση που χρησιμοποιήθηκε είναι η νόμιμη απόσβεση για κατηγορία πλοίου.

#### 4.2.4 Μετασκευαστής

Κάθε συμβατικό πλοίο, προκειμένου να καίει ως καύσιμο το υγροποιημένο φυσικό αέριο, χρειάζεται μετασκευή. Η μετασκευή του πλοίου γίνεται στην κύρια μηχανή. Τα κύρια κόστη της μετασκευής είναι το κόστος μετατροπής της μηχανής ώστε να καίει και LNG, το κόστος δεξαμενών και το κόστος τροφοδοσίας. Ο βασικός εξοπλισμός της τροφοδοσίας περιλαμβάνει τις σωληνώσεις, τις βαλβίδες, έναν ατμοποιητή κι έναν εναλλάκτη. Στα πλοία που εξετάστηκαν η μετασκευή περιλαμβάνει εγκατάσταση νέων μηχανών της σειράς **34DF** της **Wärtsilä**, δεξαμενών καυσίμου, εξοπλισμού ανεφοδιασμού και εξοπλισμού τροφοδοσίας. Θεωρήθηκε ότι η μετασκευή γίνεται στο ποσοστό της εγκατεστημένης ισχύος που χρησιμοποιείται για την πρόωση κάθε πλοίου, δηλαδή η νέα μηχανή καλύπτει την ισχύ της λειτουργίας και όταν χρειαστεί μεγαλύτερη ισχύς, χρησιμοποιούνται οι βοηθητικές μηχανές. Η προσέγγιση αυτή βασίστηκε στην αναγκη των πλοιοκτητών για ελαχιστοποίηση του κόστους μετασκευής. Επίσης θεωρήθηκε ότι η μετασκευή γίνεται από εξειδικευμένους εργάτες και διαρκεί περίπου **55 εβδομάδες**. Το κόστος αναφέρεται σε €/KW και διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος της ισχύς της μηχανής. Τέλος θεωρείται ότι ο μετασκευαστής έχει ένα κέρδος 10% επί του συνολικού κόστους (retrofit and yard cost).

Τα στοιχεία κόστους αναγράφονται στον πίνακα 45.

Πίνακας 46 Στοιχεία Μετασκευής Πλοίου[83, 103-105]

Στοιχεία Μετασκευής			
Ισχύς Πλοίου (MW)	25	12	68
Ποσοστό Ισχύος	80%	85%	50%
Προσωπικό ( €/d)	67		
	20 άτομα		
Κόστος Εγκατάστασης (€/KW)	180	200	150
Κόστος Δεξαμενής και Προμήθειας (€/KW)*	220	250	175
Κόστος Μηχανής DF (€/KW)	350	350	245
Διάρκεια Μετασκευής	55 εβδομάδες		
Ποσοστό Κέρδους Μετασκευαστή	10%		

\*Σημείωση: Περιλαμβάνει εκτός άλλων δωμάτιο δεξαμενών, βαλβίδες, δωμάτιο ανεφοδιασμού

#### 4.2.5 Εύρεση Συμφέρουσας Τιμής και Οικονομική Αξιολόγηση

Για τη βιωσιμότητα του καυσίμου πρέπει να βρεθεί μία τιμή που να καθιστά βιώσιμη την επένδυση για όλα τα εμπλεκόμενα μέρη. Το λιμάνι για τις υποδομές που φτιάχνει χρεώνει ένα τέλος λιμανιού, όπως και στην περίπτωση των συμβατικών καυσίμων. Επομένως το τελικό πρόβλημα ανάγεται στην εύρεση μιας τιμής που θα είναι αποδεκτή από τα τμήματα του προμηθευτή (εταιρία εισαγωγής και διακίνησης καυσίμου) και του πλοιοκτήτη. Η τελική τιμή που θα προκύψει θα πρέπει να είναι μικρότερη από την τιμή πώλησης του καυσίμου marine diesel oil (MDO), ώστε να αποτρέπει τον πλοιοκτήτη από τη μετασκευή του πλοίου σε πλοίο MDO αντί για LNG, παράγοντας που δρα περιοριστικά για τα κέρδη του προμηθευτή.

Τα τρία κριτήρια της οικονομικής βιωσιμότητας που μελετήθηκαν είναι η καθαρή παρούσα αξία (NPV), το ενδογενές ποσοστό απόδοσης (IRR) και η περίοδος αποπληρωμής(PP). Η

μελέτη της βιωσιμότητας πραγματοποιήθηκε με γνώμονα τον δείκτη του ενδογενούς ποσοστού απόδοσης, δεδομένου ότι συνήθως συγκλίνει με αυτόν της καθαρής παρούσας αξίας. Σε κάθε περίπτωση προς εξέταση αναφέρεται και η περίοδος αποπληρωμής για κάθε εμπλεκόμενο μέρος. Επιπλέον παρουσιάζονται και τα κόστη του λιμανιού, προκειμένου να υπάρξει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της αλυσίδας.

Από την πλευρά του πλοιοκτήτη παρουσιάζουμε την ευαισθησία της επένδυσης στη μεταβολή της διαφοράς τιμών των καυσίμων (MDO και LNG) και στη μεταβολή των ναυτικών μιλίων για κάθε πλοίο διαφορετικής ισχύος που εκπροσωπείται. Η παρουσίαση γίνεται με τα κριτήρια NPV και PP.

Για την εξαγωγή των συμπερασμάτων έγιναν οι ακόλουθες παραδοχές:

- Όπου υπήρξε εφικτό αφαιρέθηκε οποιαδήποτε κρατική παρέμβαση, ενώ σαν όριο επιλογής στην τιμή χρησιμοποιήθηκε η τιμή καυσίμου MDO, δηλαδή 476,05 €/mt.
- Αξιολογήθηκε το retrofit για πλοία 68MW, 25 MW και 12 MW και για ομάδες πλοίων 25 και 68MW και 12, 25 και 68MW. Η μετασκευή και η ανάλυση γίνεται για τη χρησιμοποιούμενη ισχύ και όχι για την εγκατεστημένη ισχύ κάθε πλοίου.
- Θεωρείται ότι η επένδυση του πλοιοκτήτη γίνεται στην αρχή της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου.
- Ένα ποσοστό 30% των χρημάτων της επένδυσης καλύφθηκε από δάνειο με επιτόκιο 6,5%.

Παρακάτω παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα για τους επιλεγθέντες στόλους. Για κάθε περίπτωση καταρτίζεται ένας πίνακας στοιχείων της διαδρομής και του πλοίου και ένας αποτελεσμάτων, ο οποίος παρουσιάζει συνοπτικά και κωδικοποιημένα τα αποτελέσματα. Σε αυτά περιλαμβάνονται η συμφέρουσα τιμή που προέκυψε, το όριο τιμής που τίθεται (τιμή καυσίμου MDO), η τελική τιμή όπως διαμορφώνεται με βάση την προκύπτουσα και το όριο, τα IRR και PP για τον προμηθευτή και τον πλοιοκτήτη και τέλος το σενάριο που επιλέχθηκε ως πιο συμφέρον. Πιο συμφέρον θεωρείται το σενάριο που δίνει τη μικρότερη τιμή αγοραπωλησίας.

#### *Ταμειακές Ροές Κεφαλαίων*

Για τον υπολογισμό της τιμής των κριτηρίων καταρτίστηκαν ταμειακές ροές για κάθε εμπλεκόμενο μέρος της αλυσίδας μεταφοράς, αποθήκευσης και ανεφοδιασμού του LNG. Στον προσδιορισμό της τελικής τιμής συμβάλλουν μόνο ο προμηθευτής και ο πλοιοκτήτης. Για το λόγο αυτό παρακάτω παρουσιάζονται για κάθε στόλο τα κόστη επένδυσης και τα λειτουργικά κόστη, καθώς και τα κέρδη των δύο αυτών συμβαλλόμενων μερών.

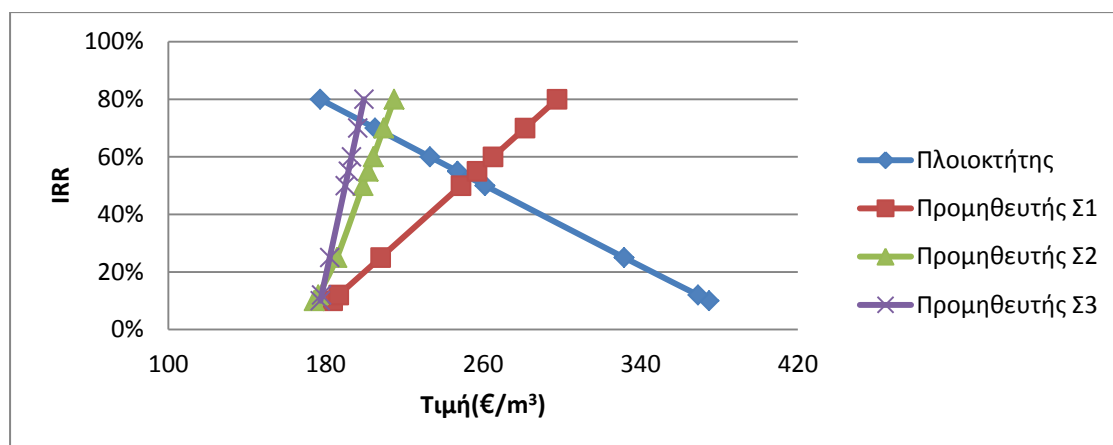
## Στόλος 1

### Πλοίο 68MW

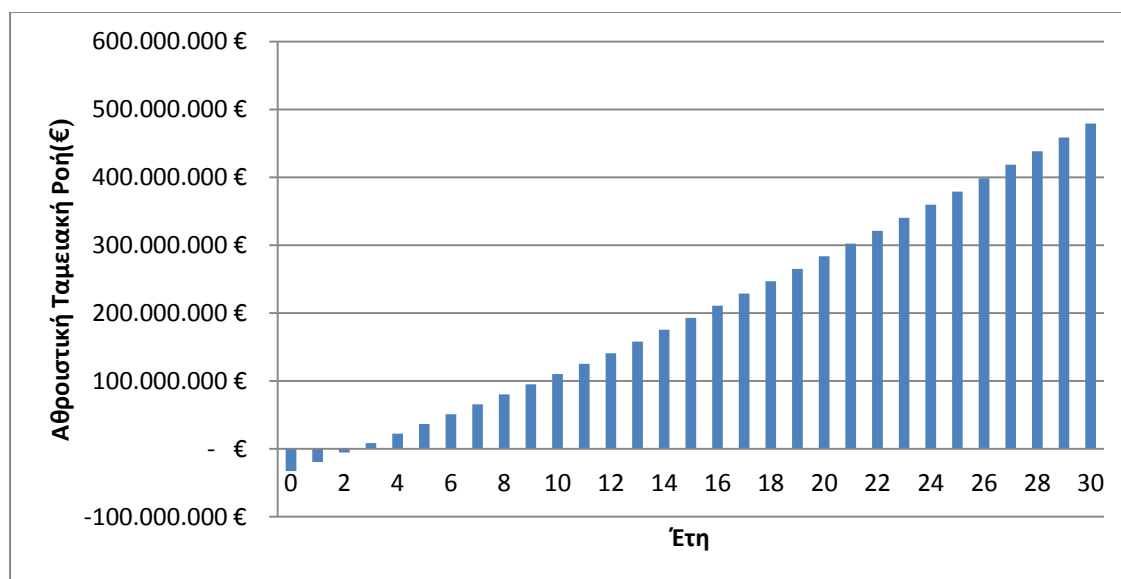
Το παρακάτω σενάριο είναι βιώσιμο χωρίς συμμετοχή της πολιτείας (με νομικά θεσμοθετημένες αποσβέσεις κι επιχορηγήσεις σε περίπτωση που χρειάζονται για να καταστεί βιώσιμη η επένδυση).

Πίνακας 47 Στοιχεία πλοίου και Διαδρομής

Βασικά Στοιχεία πλοίου και διαδρομής	
Ποσοστό ισχύος(%)	50
Ημέρες δρομολογίων	280
Round trip(nm)	348
Retrofit cost	21.398.707 €



Διάγραμμα 8 Τιμή Αγοράς LNG και Προκύπτον IRR Στόλου 68 MW



Διάγραμμα 9 Αθροιστική Ταμειακή Ροή Πλοιοκτήτη Στόλου 68 MW

Από το Διάγραμμα 8 συμπληρώνεται ο ακόλουθος πίνακας στοιχείων (Πίνακας 48).

**Πίνακας 48 Στοιχεία Σύγκλισης Στόλου 68 MW**

	<b>Τιμή Σύγκλισης(€/m<sup>3</sup>)</b>	<b>IRR Σύγκλισης(%)</b>
<b>Σενάριο 1</b>	239,1	57
<b>Σενάριο 2</b>	197,32	70
<b>Σενάριο 3</b>	196,27	73

**Πίνακας 49 Πίνακας Αποτελεσμάτων Στόλου 68 MW**

<b>Πίνακας Αποτελεσμάτων</b>	
Προκύπτουσα Τιμή(€/m <sup>3</sup> )	196,27
Όριο Τιμής(€/m <sup>3</sup> )	214,2
Τιμή Αγοραπωλησίας(€/m <sup>3</sup> )	196,27
IRR Προμηθευτής(%)	73
IRR Πλοιοκτήτη(%)	73
Αποπληρωμή Προμηθευτή(years)	1,42
Αποπληρωμή Πλοιοκτήτη(years)	1,42
Σενάριο	3

Τα στοιχεία διαδρομής , διάρκειας προμήθειας και χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού των εμπλεκόμενων φορέων παρουσιάζονται στον πίνακα 50.



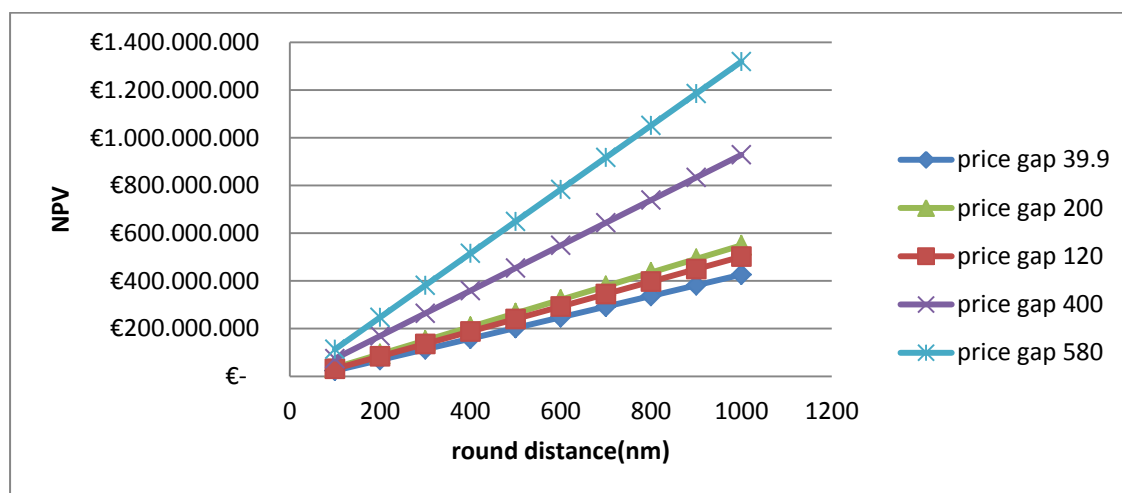
Πίνακας 50 Τεχνικά Στοιχεία Προμήθειας Στόλου 68 MW

	Σενάριο 1 Προμήθεια με πλοίο ανεφοδιασμού	Σενάριο 2 Προμήθεια με φορτηγά	Σενάριο 3 Προμήθεια με οχηματαγωγό πλοίο
<b>Προμηθευτής</b>			
Πλοίο Ανεφοδιασμού (KW)	877	-	-
Πλοίο Ανοιχτού Τύπου (KW)	-	300	-
Οχηματαγωγό Πλοίο (KW)	-	-	14680
Φορτηγά (278 KW)	-	13	1
LNG containers (m <sup>3</sup> )	-	13	13
Θαλάσσια Διανύμενη Απόσταση (nm)	38,74	0,54	38,74
Χερσαία Διανύμενη Απόσταση (km)	-	100	-
Διάρκεια Μεταφοράς (h)	3,87	1,76	3,87
<b>Λιμάνι Πειραιά</b>			
Δεξαμενή Αποθήκευσης (m <sup>3</sup> )	-	500	500
Συμπιεστής (KW)	-	1125	1125
Αντλίες (11 KW)	-	5	5
Σωληνώσεις (m)	-	170	170
Διάρκεια Πλήρωσης Δεξαμενής (h)	-	8,7	8,7
Διάρκεια Ανεφοδιασμού (h)	1,79	5	5
Συνολική Διάρκεια Προμήθειας (h)	5,66	15,42	17,54
<b>Πλοιοκτήτης</b>			
Συνολική Ισχύς Πλοίων (KW)	68	68	68
Αριθμός Μετασκευασμένων Πλοίων	1	1	1
Διανύμενη Απόσταση Πλοίων (nm)	348	348	348
Δεξαμενή Πλοίων (m <sup>3</sup> )	500	500	500
Ποσότητα Κανσίμου προς Ανεφοδιασμό (m <sup>3</sup> )	500	500	500

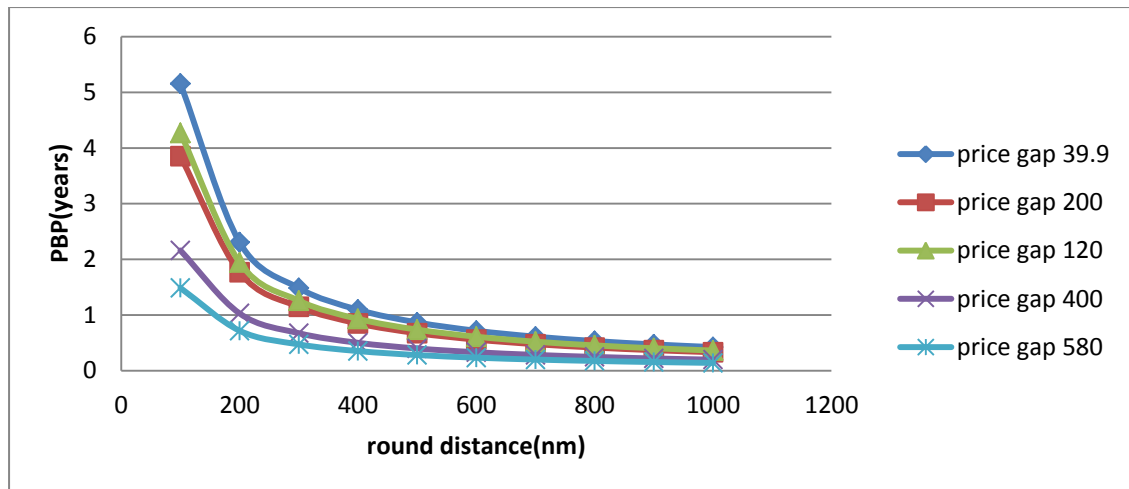
Στο Διάγραμμα 10 και στο Διάγραμμα 11 φαίνεται ο τρόπος μεταβολής της καθαρής παρούσας αξίας και του χρόνου αποπληρωμής της επένδυσης του πλοιοκτήτη ανάλογα με την απόσταση που διανύει το πλοίο για διαφορά τιμής μεταξύ MDO και LNG 39,9 €/mt, 120 €/mt, 200 €/mt, 400 €/mt και 580 €/mt. Η πρώτη διαφορά τιμής είναι η διαφορά που προέκυψε στην περίπτωση που εξετάζουμε, η δεύτερη διαφορά τιμής καθιστά βιώσιμη την επένδυση όταν η ισχύς είναι άνω των 20 MW ή η διανυόμενη απόσταση μεγάλη, η τρίτη είναι μία ασφαλής από άποψη βιωσιμότητας της επένδυσης διαφορά τιμής. Οι δύο τελευταίες περιπτώσεις που εξετάζονται παρουσιάζουν τη μεταβολή των NPV και PBP, όταν οι διαφορά τιμής των καυσίμων είναι μεγάλη.

Πίνακας 51 NPV στόλου 68 MW συναρτήσει διαδρομής

Διαδρομή(nm)	39,9 €/mt		200 €/mt	
	NPV	PBP	NPV	PBP
100	64.827.067 €	5,02	75.614.714 €	4,63
200	149.539.937 €	2,33	172.185.165 €	2,14
300	234.252.807 €	1,53	268.755.616 €	1,40
400	318.965.677 €	1,14	365.326.067 €	1,04
500	403.678.547 €	0,91	461.896.519 €	0,82
600	488.391.417 €	0,76	558.466.970 €	0,69
700	573.104.294 €	0,65	655.037.428 €	0,59
800	657.817.165 €	0,57	751.607.879 €	0,51
900	742.530.035 €	0,51	848.178.331 €	0,45
1000	827.242.905 €	0,46	944.748.782 €	0,41



Διάγραμμα 10 NPV στόλου 68 MW συναρτήσει διαδρομής



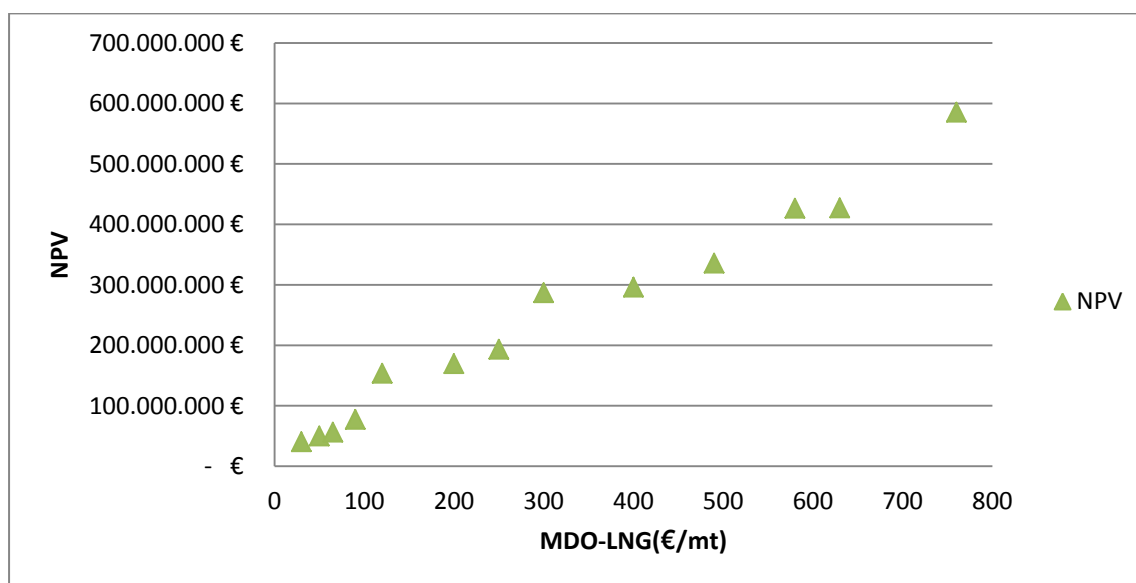
Διάγραμμα 11 Αποπληρωμή στόλου 68 MW συναρτήσει Διαδρομής

Παρατηρείται ότι με την αύξηση των ναυτικών μιλίων, αυξάνεται παντού η καθαρή παρούσα αξία και μειώνεται ο χρόνος αποπληρωμής. Η αύξηση της NPV και μείωση του χρόνου αποπληρωμής οφείλεται στην αύξηση του διαφορικού κέρδους των καυσίμων, ειδικά αν λάβει κανείς υπ' όψη τη μεγαλύτερη ειδική κατανάλωση καυσίμου του MDO. Ποσοστιαία διαφορά στα ναυτικά μίλια οδηγεί σε ίδια ποσοστιαία διαφορά στο χρόνο αποπληρωμής, η οποία κυμαίνεται από 16%-50%. Για μικρές αποστάσεις η ποσοστιαία αλλαγή του χρόνου αποπληρωμής βρίσκεται κοντά στο 50% ή 25% ενώ για μεγαλύτερες αποστάσεις είναι περίπου 12%. Η ποσοστιαία διαφορά της NPV απαντάται άνω του 100% ή 50% στις μικρές αποστάσεις και παίρνει τιμές κοντά στο 15% στις μεγάλες αποστάσεις. Στα διαγράμματα Διάγραμμα 10 Διάγραμμα 11 αποτυπώνεται η ευνοϊκή επίδραση της αύξησης της διαφοράς τιμής στην NPV του πλοιοκτήτη. Η ποσοστιαία αλλαγή της NPV και του χρόνου αποπληρωμής δεν ακολουθεί την ποσοστιαία αλλαγή της διαφοράς τιμής. Αυτό οφείλεται στην εξάρτηση όχι μόνο από τη διαφορά των τιμών, αλλά και από το απόλυτο νούμερο των τιμών. Φαίνεται επίσης και η επίδραση της διαδρομής στη βιωσιμότητα. Για μικρότερες διαφορές τιμών η επίδραση των διανυόμενων ναυτικών μιλίων είναι σημαντικότερη. Ομοίως για αρκετά ναυτικά μίλια η επίδραση της τιμής αυξάνει σημαντικά τα κέρδη.

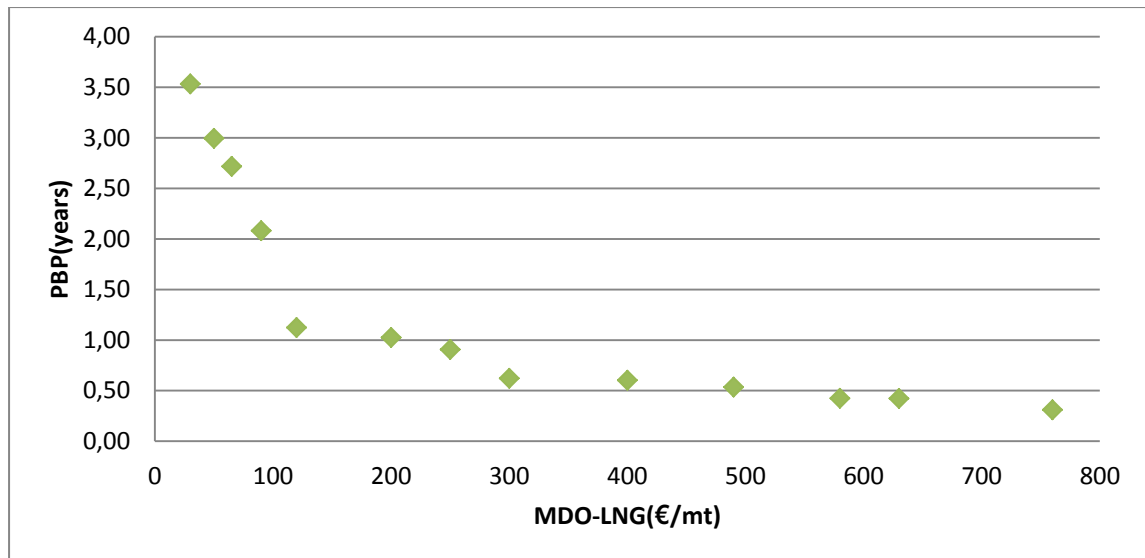
Στο Διάγραμμα 12 απεικονίζεται η μεταβολή της καθαρής παρούσας αξίας της επένδυσης σε σχέση με τη διαφορά τιμής των καυσίμων. Τόσο οι διαφορές τιμών όσο και οι τιμές που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι ιστορικά καταγεγραμμένες γραμμές και χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να προσδιοριστεί η συμπεριφορά του στόλου στην αυξομείωση των τιμών. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν καταρτίζονται στον πίνακα 52.

Πίνακας 52 NPV και Αποπληρωμή Στόλου 68 MW συναρτήσει Διαφοράς Τιμής Καυσίμων

Διαφορά τιμής(€/mt)	Τιμή MDO (€/mt)	Τιμή LNG (€/mt)	NPV	PBP(years)
30	220	190	112.213.306 €	3,21
50	230	180	137.151.042 €	2,66
65	235	170	153.972.095 €	2,38
90	275	185	205.849.019 €	1,81
120	477	357	384.047.944 €	0,99
200	450	250	433.354.585 €	0,88
220	470	255	461.469.139 €	0,83
250	475	220	500.051.111 €	0,76
400	645	245	754.257.464 €	0,51
420	620	200	752.843.698 €	0,51
580	870	290	1.080.338.611 €	0,36
630	825	195	1.089.979.946 €	0,35
760	1180	420	1.470.416.267 €	0,26



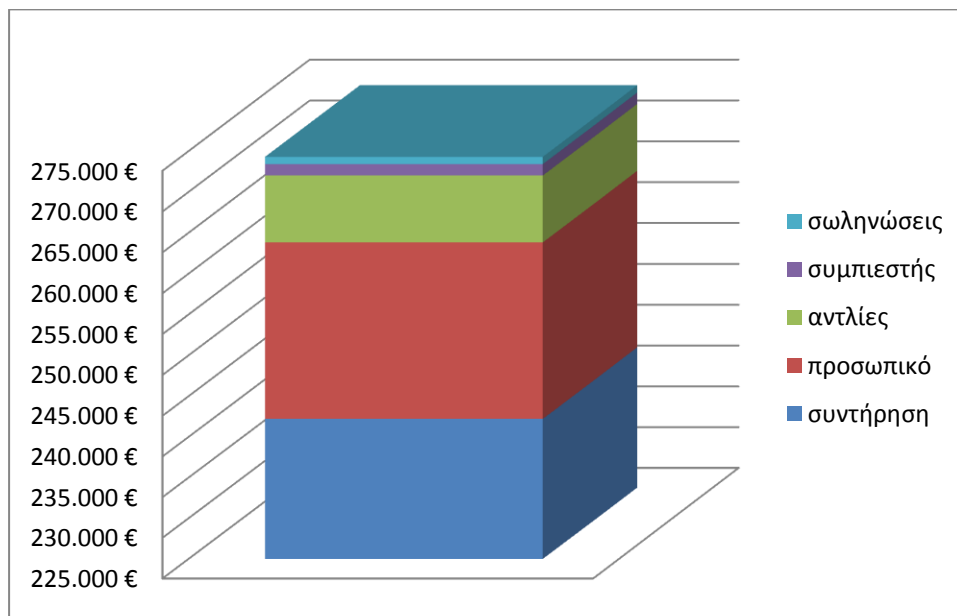
Διάγραμμα 12 NPV Στόλου 68 MW συναρτήσει Διαφοράς Τιμής



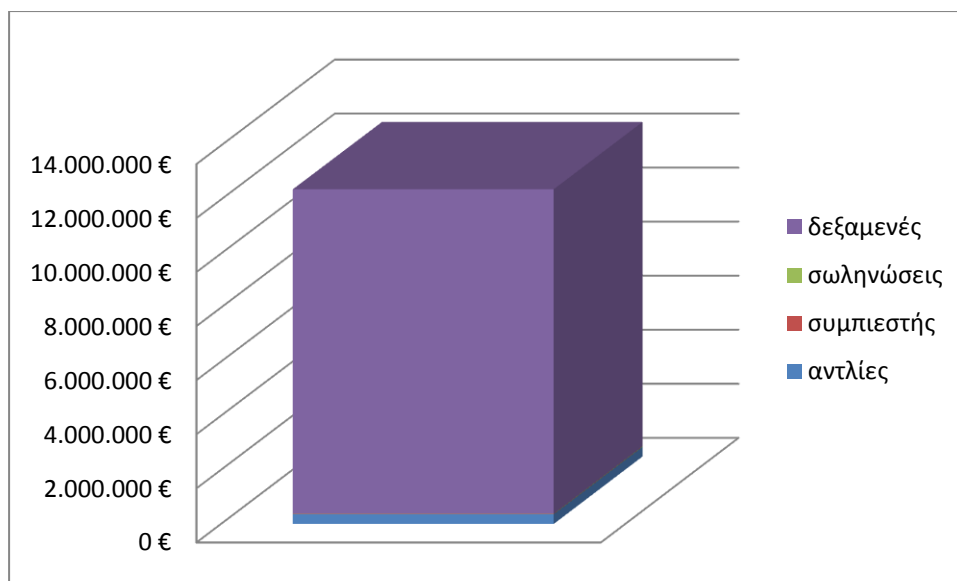
Διάγραμμα 13 Αποπληρωμή Στόλου 68 MW συναρτήσει Διαφοράς Τιμής

Από το Διάγραμμα 12 και το Διάγραμμα 13 φαίνεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά τιμής τόσο αυξάνεται η καθαρή παρούσα αξία και μειώνεται ο χρόνος αποπληρωμής όπως ήταν αναμενόμενο. Η αύξηση δεν είναι απόλυτα αναλογική επειδή τα καύσιμα έχουν διαφορετικές ειδικές καταναλώσεις και επειδή σύμφωνα με τον τρόπο τιμολόγησης του LNG, αύξηση στο καύσιμο MDO επιφέρει αύξηση στο καύσιμο LNG.

#### Κόστη Λιμανιού



Διάγραμμα 14 Λειτουργικό κόστος λιμανιού στόλου 68 MW



**Διάγραμμα 15 Κόστος Επένδυσης Λιμανιού στόλου 68 MW**

Το λιμάνι προκειμένου να καλύψει το κόστος επένδυσης και το λειτουργικό του κόστος πρέπει να επιβάλει τέλος **25 €/mt**. Σε αυτή την περίπτωση προκύπτει IRR 8%, NPV 44.975€ και PBP 13,31 έτη.

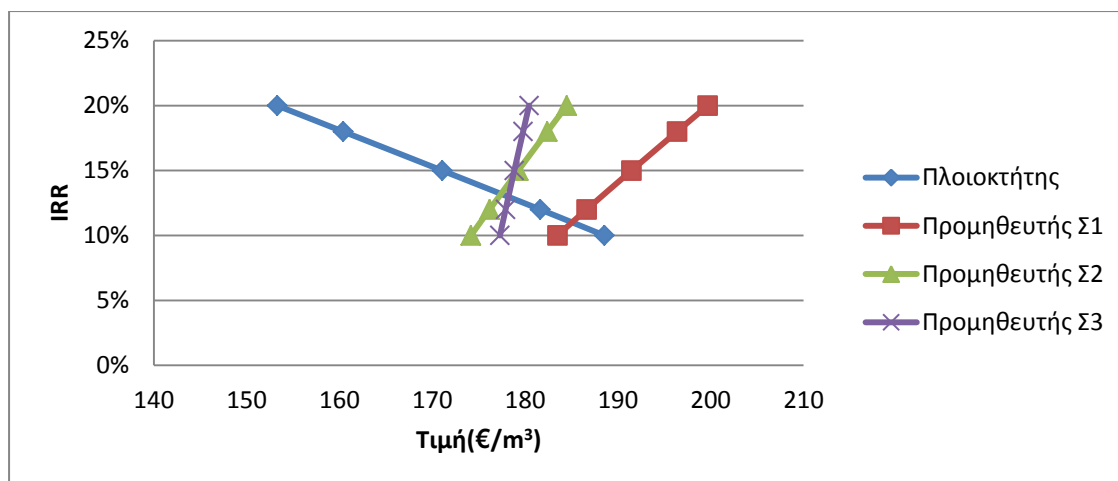
### Στόλος 2

#### Πλοίο 25 MW

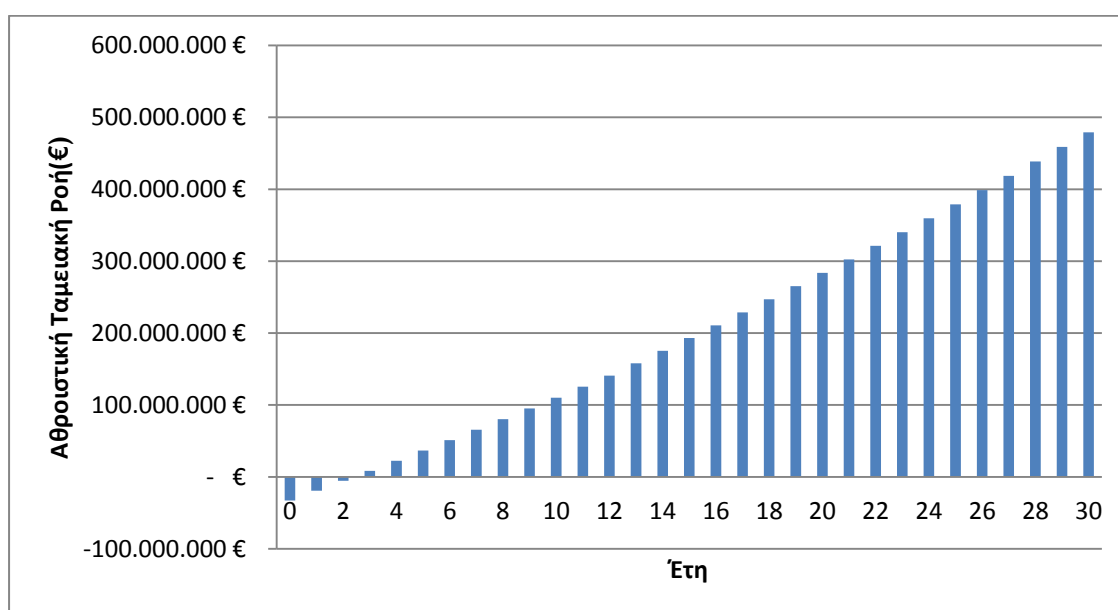
Το παρακάτω σενάριο είναι βιώσιμο χωρίς τη συμμετοχή της πολιτείας με παροχή επιχορηγήσεων και απόσβεσης εξοπλισμού.

**Πίνακας 53 Βασικά Στοιχεία Πλοίου και Διαδρομής Στόλου 25 MW**

<b>Βασικά Στοιχεία Πλοίου και Διαδρομής</b>	
Ποσοστό ισχύος(%)	80
Ημέρες δρομολογίων	280
Round trip(nm)	348
Retrofit cost	16.508.707 €



Διάγραμμα 16 Τιμή Αγοράς LNG και Προκύπτων IRR Στόλου 25MW



Διάγραμμα 17 Αθροιστική Ταμειακή Ροή Πλοιοκτήτη Στόλου 25 MW

Από το Διάγραμμα 16 συμπληρώνονται οι πίνακες 54 και 55.

Πίνακας 54 Στοιχεία Σύγκλισης Στόλου 25 MW

	Τιμή Σύγκλισης (€/m³)	IRR Σύγκλισης (%)
Σενάριο 1	184,5	11
Σενάριο 2	178,2	13
Σενάριο 3	178,2	13

Πίνακας 55 Πίνακας Αποτελεσμάτων στόλου 25 MW

Πίνακας Αποτελεσμάτων	
Προκύπτουσα Τιμή(€/m <sup>3</sup> )	178,2
Όριο Τιμής(€/m <sup>3</sup> )	214,2
Τιμή Αγοραπωλησίας(€/m <sup>3</sup> )	178,2
IRR Προμηθευτή(%)	13
IRR Πλοιοκτήτη(%)	13
Αποπληρωμή Προμηθευτή(years)	8,7
Αποπληρωμή Πλοιοκτήτη(years)	7,9
Σενάριο	2

Τα στοιχεία διαδρομής , διάρκειας προμήθειας και χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού των εμπλεκόμενων φορέων παρουσιάζονται στον πίνακα 56.



Πίνακας 56 Τεχνικά Στοιχεία Προμήθειας Στόλου 25 MW

	Σενάριο 1 Προμήθεια με πλοίο ανεφοδιασμού	Σενάριο 2 Προμήθεια με φορτηγά	Σενάριο 3 Προμήθεια με οχηματαγωγό πλοίο
<b>Προμηθευτής</b>			
Πλοίο Ανεφοδιασμού (KW)	877	-	-
Πλοίο Ανοιχτού Τύπου (KW)	-	300	-
Οχηματαγωγό Πλοίο (KW)	-	-	14680
Φορτηγά (278 KW)	-	13	1
LNG containers ( $m^3$ )	-	13	13
Θαλάσσια Διανυόμενη Απόσταση (nm)	38,74	0,54	38,74
Χερσαία Διανυόμενη Απόσταση (km)	-	100	-
Διάρκεια Μεταφοράς (h)	3,87	1,76	3,87
<b>Λιμάνι Πειραιά</b>			
Δεξαμενή Αποθήκευσης ( $m^3$ )	-	500	500
Συμπιεστής (KW)	-	1125	1125
Αντλίες (KW)	-	5	5
Σωληνώσεις	-	170	170
Διάρκεια Πλήρωσης Δεξαμενής (h)	-	8,67	8,67
Διάρκεια Ανεφοδιασμού (h)	1,79	5	5
Συνολική Διάρκεια Προμήθειας (h)	5,66	15,42	17,54
<b>Πλοιοκτήτης</b>			
Συνολική Ισχύς Πλοίων (KW)	25	25	25
Αριθμός Μετασκευασμένων Πλοίων	1	1	1
Διανυόμενη Απόσταση Πλοίων (nm)	348	348	348
Δεξαμενή Πλοίων ( $m^3$ )	500	500	500
Ποσότητα Καυσίμου προς Ανεφοδιασμό ( $m^3$ )	500	500	500

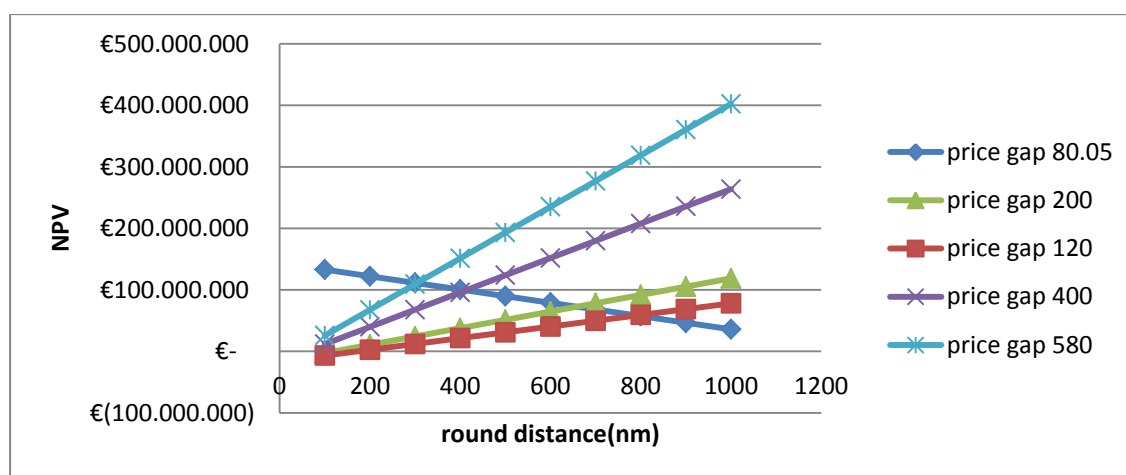
Στα διαγράμματα 18 και 19 φαίνεται ο τρόπος μεταβολής της καθαρής παρούσας αξίας και του χρόνου αποπληρωμής της επένδυσης του πλοιοκτήτη ανάλογα με την απόσταση που διανύει το πλοίο για διαφορά τιμής μεταξύ MDO και LNG 22,27 €/mt, 120 €/mt, 200 €/mt, 400 €/mt και 580 €/mt. Η πρώτη διαφορά τιμής είναι η διαφορά που προέκυψε στην περίπτωση που εξετάζουμε, η δεύτερη διαφορά τιμής καθιστά βιώσιμη την επένδυση όταν η ισχύς είναι άνω των 20 MW ή η διανυόμενη απόσταση μεγάλη, η τρίτη είναι μία ασφαλής

από άποψη βιωσιμότητας της επένδυσης διαφορά τιμής. Οι δύο τελευταίες περιπτώσεις που εξετάζονται παρουσιάζουν τη μεταβολή των NPV και PP, όταν οι διαφορά τιμής των καυσίμων είναι μεγάλη.

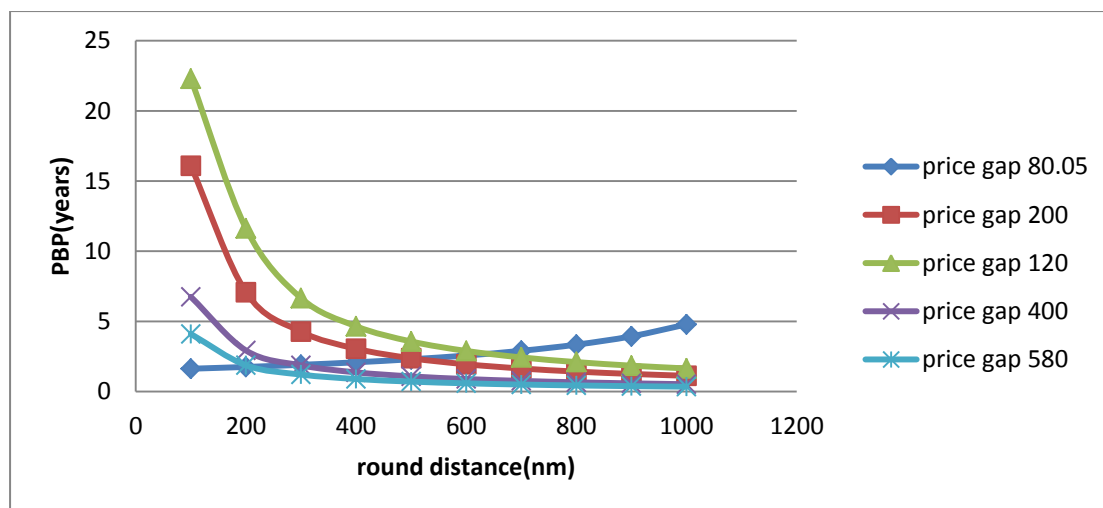
Στην περίπτωση της διαφοράς τιμής στα 200 €/mt η επένδυση είναι συμφέρουσα χωρίς συμμετοχή της πολιτείας, οπότε τα αντίστοιχα μεγέθη είναι 22,27.

Πίνακας 57 NPV και Αποπληρωμή στόλου 25 MW συναρτήσει Διαδρομής

Διαδρομή(nm)	22,27 €/mt		200 €/mt	
	NPV	PBP	NPV	PBP
100	346.903 €	28,51	4.189.694 €	23,07
200	8.398.027 €	13,25	24.616.862 €	10,27
300	16.449.157 €	7,40	45.044.037 €	5,89
400	24.500.281 €	5,14	65.471.206 €	4,18
500	32.551.404 €	3,96	85.898.374 €	3,25
600	40.602.528 €	3,23	106.325.542 €	2,66
700	48.653.658 €	2,74	126.752.717 €	2,25
800	56.704.782 €	2,37	147.179.885 €	1,95
900	64.755.905 €	2,10	167.607.053 €	1,72
1000	72.807.029 €	1,88	188.034.221 €	1,54



Διάγραμμα 18 NPV συναρτήσει Διαδρομής Στόλου 25 MW



Διάγραμμα 19 Αποπληρωμή συναρτήσει Διαδρομής Στόλου 25 MW

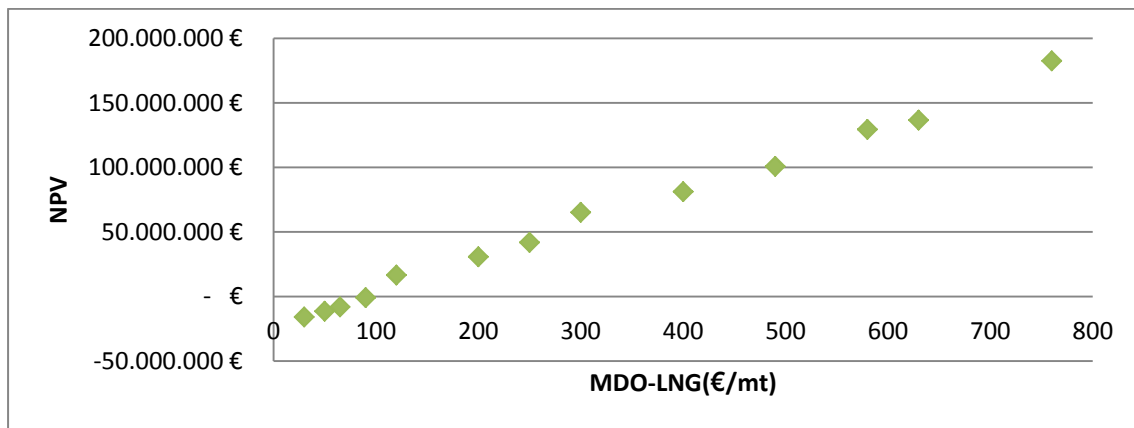
Παρατηρείται ότι με την αύξηση των ναυτικών μιλίων, αυξάνεται παντού η καθαρή παρούσα αξία και μειώνεται ο χρόνος αποπληρωμής. Η αύξηση της NPV και μείωση του χρόνου αποπληρωμής οφείλεται στην αύξηση του διαφορικού κέρδους των καυσίμων, ειδικά αν ληφθεί υπ' όψη η μεγαλύτερη ειδική κατανάλωση καυσίμου του MDO. Ποσοστιαία διαφορά στα ναυτικά μίλια οδηγεί σε ίδια ποσοστιαία διαφορά στο χρόνο αποπληρωμής, η οποία κυμαίνεται από 16%-50%. Για μικρές αποστάσεις η ποσοστιαία αλλαγή του χρόνου αποπληρωμής κυμαίνεται μεταξύ 45%-60% ή γύρω στο 30%, ενώ για μεγαλύτερες αποστάσεις είναι περίπου 12%. Η ποσοστιαία διαφορά της NPV απαντάται άνω του 200% ή 150% στις μικρές αποστάσεις και παίρνει τιμές κοντά στο 15% στις μεγάλες αποστάσεις. Στα διαγράμματα Διάγραμμα 18 και Διάγραμμα 19 φαίνεται ότι η αύξηση της διαφοράς τιμής δρα ευνοϊκά στην NPV του πλοιοκτήτη και κάνει την επένδυση πιο ανταγωνιστική. Η ποσοστιαία αλλαγή της NPV και η ποσοστιαία αλλαγή του χρόνου αποπληρωμής δεν ακολουθεί την ποσοστιαία αλλαγή της διαφοράς τιμής, ακολουθούν όμως την τάξη μεγέθους. Αυτό οφείλεται στην εξάρτηση όχι μόνο από τη διαφορά των τιμών, αλλά και από το απόλυτο νούμερο των τιμών. Φαίνεται επίσης και η επίδραση της διαδρομής στη βιωσιμότητα. Για μικρότερες διαφορές τιμών η επίδραση των διανυόμενων ναυτικών μιλίων είναι σημαντικότερη. Ομοίως για αρκετά ναυτικά μίλια η επίδραση της τιμής αυξάνει σημαντικά τα κέρδη.

Στο Διάγραμμα 20 απεικονίζεται η μεταβολή της καθαρής παρούσας αξίας της επένδυσης σε σχέση με τη διαφορά τιμής των καυσίμων. Οι τιμές και οι διαφορές τιμών επιλέχθηκαν όπως εξηγήθηκε παραπάνω. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν καταρτίζονται στον πίνακα 58.

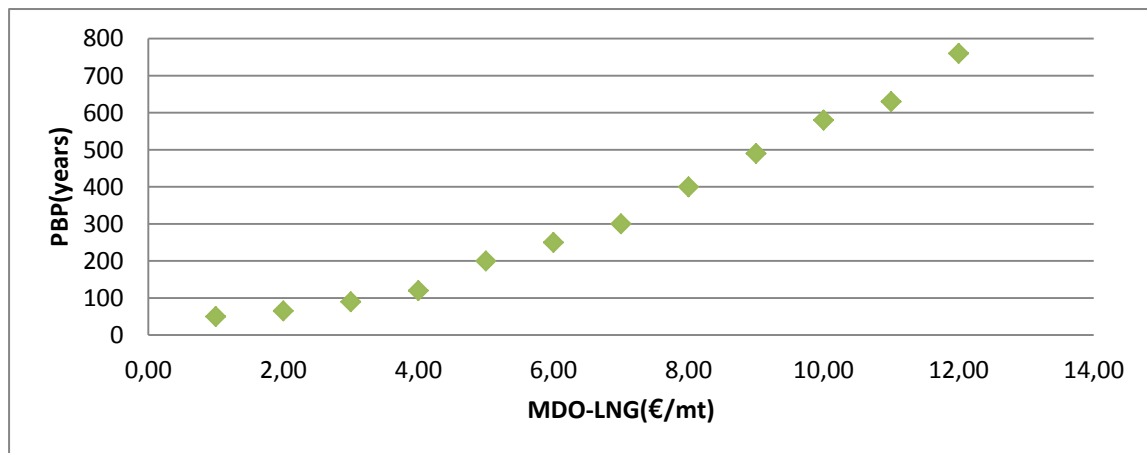
Πίνακας 58 NPV και Αποπληρωμή στόλου 25 MW συναρτήσει Διαφοράς Τιμής

Διαφορά τιμής(€/mt)	Τιμή MDO (€/mt)	Τιμή LNG (€/mt)	NPV	PBP
30	220	190	-5.604.999 €	NO PAYBACK
50	230	180	5.835.379 €	21,16
65	235	170	14.196.950 €	14,89
90	275	185	30.903.267 €	8,31

120	477	357	64.423.576 €	4,24
200	450	250	104.323.578 €	2,71
220	470	255	113.997.427 €	2,49
250	475	220	135.565.906 €	2,11
400	645	245	227.038.461 €	1,29
420	620	200	235.416.856 €	1,24
580	870	290	341.812.375 €	0,86
630	825	195	364.289.354 €	0,81
760	1180	420	464.022.536 €	0,64



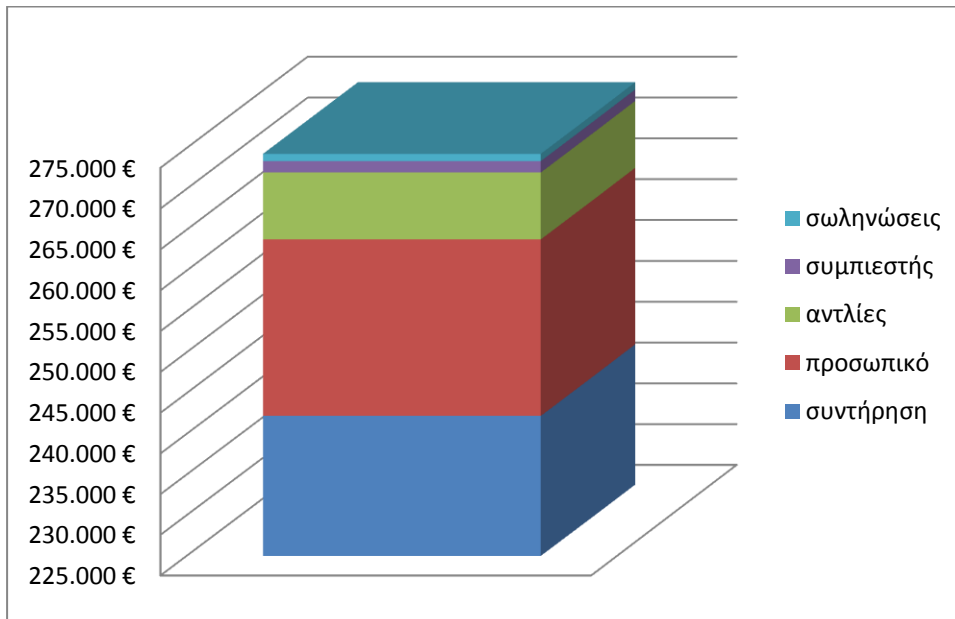
Διάγραμμα 20 NPV Στόλου 25 MW συναρτήσει Διαφοράς Τιμής



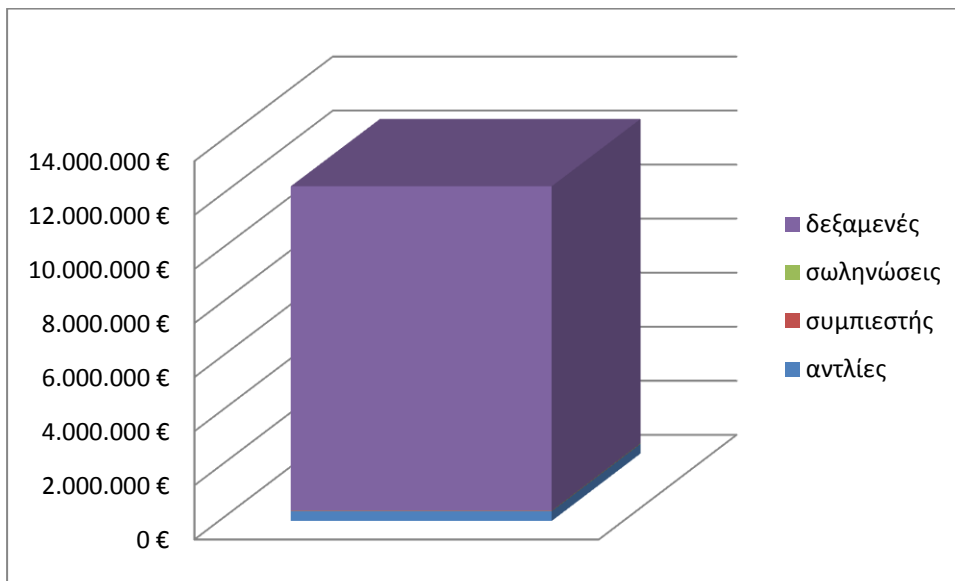
Διάγραμμα 21 Αποπληρωμή Στόλου 25 MW συναρτήσει Διαφοράς Τιμής

Από το Διάγραμμα 20 και το Διάγραμμα 21 παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά τιμής τόσο αυξάνεται η καθαρή παρούσα αξία και μειώνεται ο χρόνος αποπληρωμής όπως ήταν αναμενόμενο. Η αύξηση δεν είναι απόλυτα αναλογική επειδή τα καύσιμα έχουν διαφορετικές ειδικές καταναλώσεις και επειδή σύμφωνα με τον τρόπο τιμολόγησης του LNG, αύξηση στο καύσιμο MDO επιφέρει αύξηση στο καύσιμο LNG.

### Κόστη Λιμανιού



Διάγραμμα 22 Λειτουργικό Κόστος Λιμανιού Στόλου 25 MW



Διάγραμμα 23 Κόστος Επένδυσης Λιμανιού Στόλου 25 MW

Το λιμάνι προκειμένου να καλύψει το κόστος επένδυσης και το λειτουργικό του κόστος πρέπει να επιβάλει τέλος **25 €/mt**. Σε αυτή την περίπτωση προκύπτει IRR 8%, NPV 44.975€ και PBP 13,31 έτη.

### Στόλος 3

#### Πλοίο 12 MW

Το παρακάτω σενάριο είναι βιώσιμο με μεγάλη συμμετοχή της πολιτείας (με αποσβέσεις κι επιχορηγήσεις), όπως φαίνεται στον πίνακα 60. Αυτό οφείλεται στις μικρές καταναλώσεις του πλοίου, λόγω μικρής ισχύος.

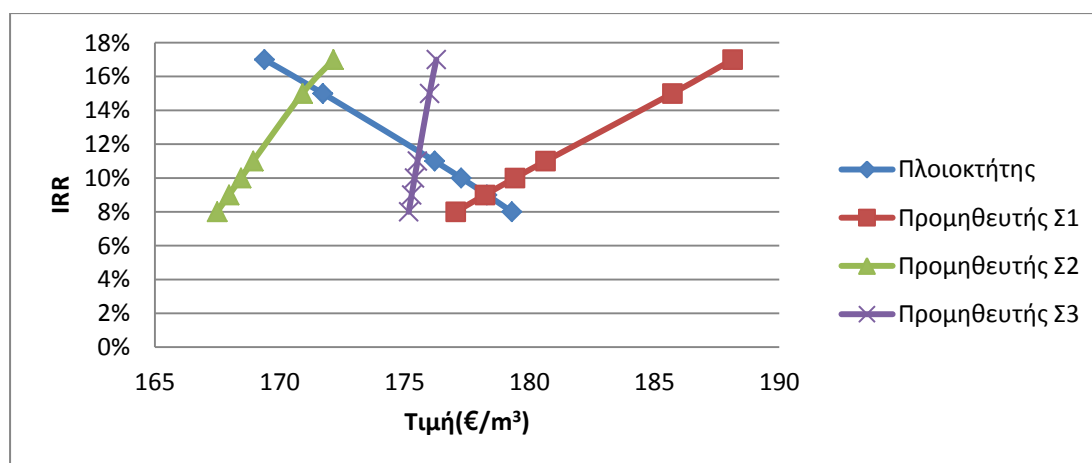
Πίνακας 59 Βασικά Στοιχεία Πλοίου και Διαδρομής Στόλου 12 MW

Βασικά Στοιχεία Πλοίου και Διαδρομής	
Ποσοστό ισχύος(%)	85
Ημέρες δρομολογίων	280
Round trip(nm)	500
Retrofit cost	9.056.707 €

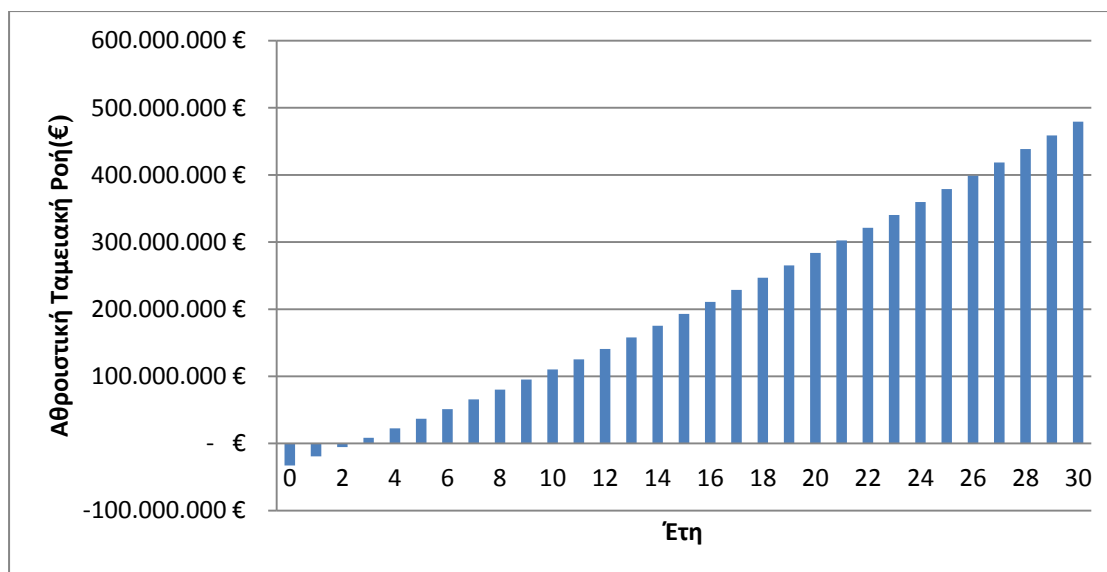
Πίνακας 60 Στοιχεία Επιδοτήσεων και Επιχορηγήσεων Στόλου 12 MW

Στοιχεία Επιδοτήσεων και Επιχορηγήσεων	
Επιχορήγηση πλοιοκτιήτη(%)	50
Απόσβεση πλοιοκτιήτη(%)	5
Επιχορήγηση Προμηθευτή(%)	50
Απόσβεση Προμηθευτή(%)	12

*Σημείωση:* Οι αποσβέσεις συμπληρώθηκαν με βάση την ισχύουσα ελληνική νομοθεσία, ενώ οι επιχορηγήσεις σύμφωνα με την ανάγκη της βιωσιμότητας.



Διάγραμμα 24 Τιμή Αγοράς LNG και Προκόπτον IRR Στόλου 12 MW



Διάγραμμα 25 Αθροιστική Ταμειακή Ροή Πλοιοκίνητη Στόλου 12 MW

Από το Διάγραμμα 24 συμπληρώνονται οι πίνακες 61 και 62.

Πίνακας 61 Στοιχεία Σύγκλισης Στόλου 12 MW

	Τιμή Σύγκλισης (€/m <sup>3</sup> )	IRR Σύγκλισης (%)
Σενάριο 1	-	-
Σενάριο 2	171,2	16
Σενάριο 3	189,17	11

Πίνακας 62 Αποτελέσματα Στόλου 12 MW

Πίνακας Αποτελεσμάτων	
Προκύπτουσα Τιμή(€/m <sup>3</sup> )	171,2
Όριο Τιμής(€/m <sup>3</sup> )	214,2
Τιμή Αγοραπωλησίας(€/m <sup>3</sup> )	171,2
IRR Προμηθευτή(%)	16
IRR Πλοιοκίνητη(%)	16
Αποπληρωμή Προμηθευτή(years)	5,8
Αποπληρωμή Πλοιοκίνητη(years)	5,16
Σενάριο	2

Τα στοιχεία διαδρομής , διάρκειας προμήθειας και χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού των εμπλεκόμενων φορέων παρουσιάζονται στον πίνακα 63.

Πίνακας 63 Τεχνικά Στοιχεία Προμήθειας Στόλου 12 MW

	Σενάριο 1 Προμήθεια με πλοίο ανεφοδιασμού	Σενάριο 2 Προμήθεια με φορτηγά	Σενάριο 3 Προμήθεια με οχηματαγωγό πλοίο
<b>Προμηθευτής</b>			
Πλοίο Ανεφοδιασμού (KW)	791	-	-
Πλοίο Ανοιχτού Τύπου (KW)	-	300	-
Οχηματαγωγό Πλοίο (KW)	-	-	14680
Φορτηγά (278 KW)	-	8	1
LNG containers ( $m^3$ )	-	8	8
Θαλάσσια Διανύμενη Απόσταση (nm)	38,74	0,54	38,74
Χερσαία Διανύμενη Απόσταση (km)	-	100	-
Διάρκεια Μεταφοράς (h)	3,87	1,76	3,87
<b>Λιμάνι Πειραιά</b>			
Δεξαμενή Αποθήκευσης ( $m^3$ )	250	250	250
Συμπιεστής ( KW)	-	675	675
Αντλίες (11 KW)	-	3	3
Σωληνώσεις	-	170	170
Διάρκεια Πλήρωσης Δεξαμενής (h)	-	5,33	5,33
Διάρκεια Ανεφοδιασμού (h)	1,21	6	6
Συνολική Διάρκεια Προμήθειας (h)	5,08	13,09	15,21
<b>Πλοιοκτήτης</b>			
Συνολική Ισχύς Πλοίων (KW)	12	12	12
Αριθμός Μετασκευασμένων Πλοίων	1	1	1
Διανύμενη Απόσταση Πλοίων (nm)	500	500	500
Δεξαμενή Πλοίων ( $m^3$ )	300	300	300
Ποσότητα Καυσίμου προς Ανεφοδιασμό ( $m^3$ )	300	300	300

Στο Διάγραμμα 26 και στο Διάγραμμα 27 φαίνεται ο τρόπος μεταβολής της καθαρής παρούσας αξίας και του χρόνου αποπληρωμής της επένδυσης του πλοιοκτήτη ανάλογα με την απόσταση που διανύει το πλοίο για διαφορά τιμής μεταξύ MDO και LNG 56,21 €/mt, 120 €/mt, 200 €/mt, 400 €/mt και 580 €/mt. Η πρώτη διαφορά τιμής είναι η διαφορά που προέκυψε στην περίπτωση που εξετάζουμε, η δεύτερη διαφορά τιμής καθιστά βιώσιμη την επένδυση όταν η ισχύς είναι άνω των 20 MW ή η διανύμενη απόσταση μεγάλη, η τρίτη είναι μία ασφαλής από άποψη βιωσιμότητας της επένδυσης διαφορά τιμής. Οι δύο τελευταίες

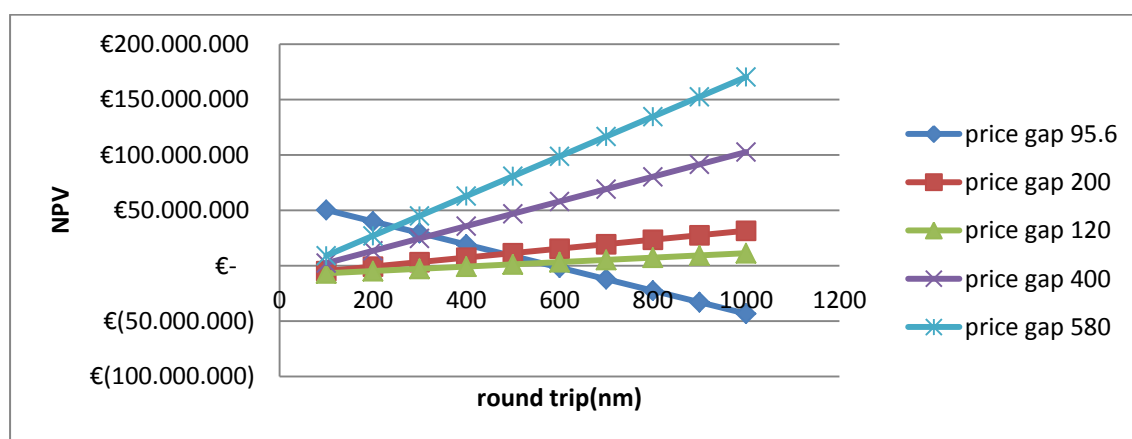


περιπτώσεις που εξετάζονται παρουσιάζουν τη μεταβολή των NPV και PP, όταν οι διαφορά τιμής των καυσίμων είναι μεγάλη.

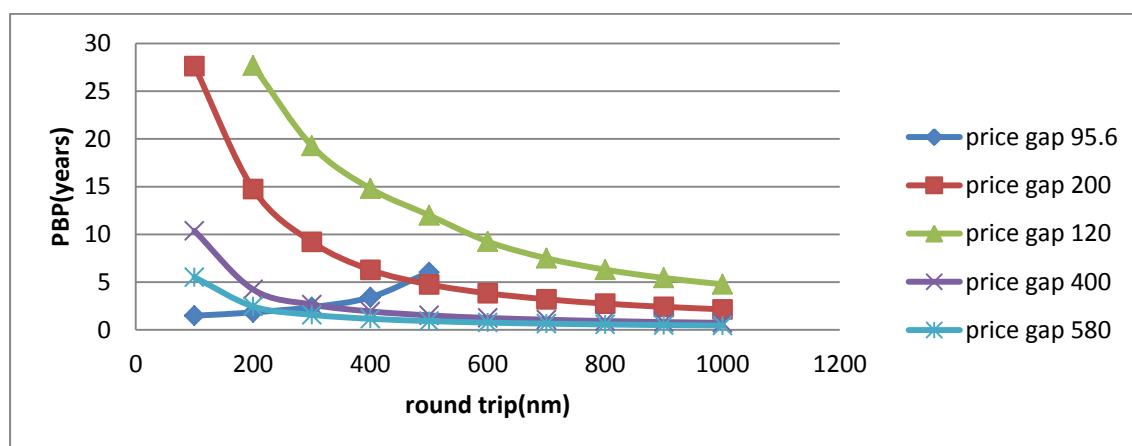
Για διαφορά τιμής 200 €/mt η επένδυση είναι συμφέρουσα χωρίς συμμετοχή της πολιτείας, γεγονός που εξηγεί την εντελώς διαφορετική μορφή της εξέλιξης των οικονομικών μεγεθών.

Πίνακας 64 NPV και Αποπληρωμή Στόλου 12 MW συναρτήσει Διαδρομής

Διαδρομή(nm)	56,21 €/mt		200 €/mt	
	NPV	PBP	NPV	PBP
100	42.028.651 €	0,039	- 2.606.429 €	NO PAYBACK
200	31.614.478 €	0,052	3.139.289 €	20,88
300	21.200.312 €	0,078	8.885.016 €	13,43
400	10.786.139 €	0,152	14.630.736 €	8,97
500	371.973 €	3,800	20.376.462 €	6,62
600	- 10.042.199 €	NO PAYBACK	26.122.182 €	5,28
700	- 20.456.365 €	NO PAYBACK	31.867.908 €	4,40
800	- 30.870.538 €	NO PAYBACK	37.613.628 €	3,77
900	- 41.284.704 €	NO PAYBACK	43.359.354 €	3,31
1000	- 51.698.877 €	NO PAYBACK	49.105.074 €	2,94



Διάγραμμα 26 NPV Στόλου 12 MW συναρτήσει Διαδρομής



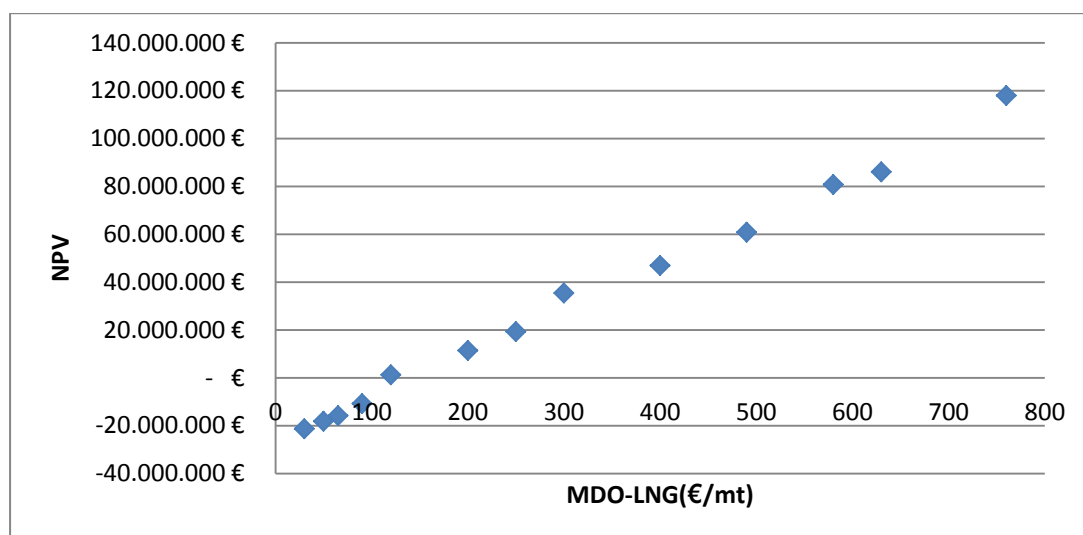
Διάγραμμα 27 Αποπληρωμή Στόλου 12 MW συναρτήσει Διαδρομής

Το συγκεκριμένο πλοίο συμπεριφέρεται διαφορετικά στις δύο διαφορετικές τιμές. Ο λόγος είναι η μεγάλη επιδότηση. Στην περίπτωση της διαφοράς τιμής 55,21 €/mt η βιωσιμότητα στηρίζεται στην επιχορήγηση που δίνεται στον πλοιοκτήτη (50%), γι' αυτό αφενός χρόνος αποπληρωμής είναι πολύ μικρός (ο πλοιοκτήτης δεν είχε έξοδα) αφετέρου όσο μεγαλώνει η απόσταση η επένδυση γίνεται μη βιώσιμη δεδομένου ότι το διαφορικό κέρδος είναι πάρα πολύ μικρό. Αντίθετα όταν ο πλοιοκτήτης δε δέχεται κρατικές επιχορηγήσεις και στηρίζεται στη μεγάλη διαφορά τιμής των καυσίμων, χρειάζεται μεγαλύτερες διανυόμενες αποστάσεις από το πλοίο του εξαιτίας του μικρού διαφορικού κέρδους. Στην περίπτωση αυτή φαίνεται καθαρά η μεγάλη σημασία του κράτους στη στήριξη και την προώθηση του καυσίμου στα πλαίσια της προστασίας του περιβάλλοντος. Στο Διάγραμμα 26 και στο Διάγραμμα 27 αποτυπώνεται ότι με την αύξηση των ναυτικών μιλίων, αυξάνεται η καθαρή παρούσα αξία και μειώνεται ο χρόνος αποπληρωμής εκτός από την περίπτωση που δόθηκε επιδότηση. Η αύξηση της NPV και μείωση του χρόνου αποπληρωμής οφείλεται στην αύξηση του διαφορικού κέρδους των καυσίμων. Ποσοστιαία διαφορά στα ναυτικά μίλια οδηγεί σε ίδια ποσοστιαία διαφορά στο χρόνο αποπληρωμής, η οποία κυμαίνεται από 15%-30%. Για μικρές αποστάσεις η ποσοστιαία αλλαγή του χρόνου αποπληρωμής βρίσκεται μεταξύ 25% και 30% ενώ για μεγαλύτερες αποστάσεις κυμαίνεται μεταξύ 12% και 15%. Η ποσοστιαία διαφορά της NPV απαντάται άνω του 100% ή 50% στις μικρές αποστάσεις και παίρνει τιμές κοντά στο 15% στις μεγάλες αποστάσεις. Στα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε ότι η αύξηση της διαφοράς τιμής δρα ευνοϊκά στην NPV του πλοιοκτήτη και κάνει την επένδυση πιο ανταγωνιστική. Η ποσοστιαία αλλαγή της NPV και η ποσοστιαία αλλαγή του χρόνου αποπληρωμής δεν ακολουθεί την αλλαγή την ποσοστιαία αλλαγή της διαφοράς τιμής, ακολουθούν όμως πτωτική τάση με την αύξηση της διαφοράς τιμής και ακολουθούν την τάξη μεγέθους της ποσοστιαίας αλλαγής των τιμών. Αυτό οφείλεται στην εξάρτηση όχι μόνο από τη διαφορά των τιμών, αλλά και από το απόλυτο νούμερο των τιμών. Φαίνεται επίσης και η επίδραση της διαδρομής στη βιωσιμότητα. Για μικρότερες διαφορές τιμών η επίδραση των διανυόμενων ναυτικών μιλίων είναι σημαντικότερη. Ομοίως για αρκετά ναυτικά μίλια η επίδραση της τιμής αυξάνει σημαντικά τα κέρδη. Τέλος φαίνεται η μεγάλη διαφορά τιμής μεταξύ των καυσίμων που χρειάζεται, ώστε να καταστεί βιώσιμη η μετασκευή ενός πλοίου μικρής ισχύος, αφού σε διαφορά 120 €/mt, που θεωρείται μία ασφαλής για τη βιωσιμότητα διαφορά τιμής, η επένδυση είναι βιώσιμη μόνο για μεγάλες αποστάσεις.

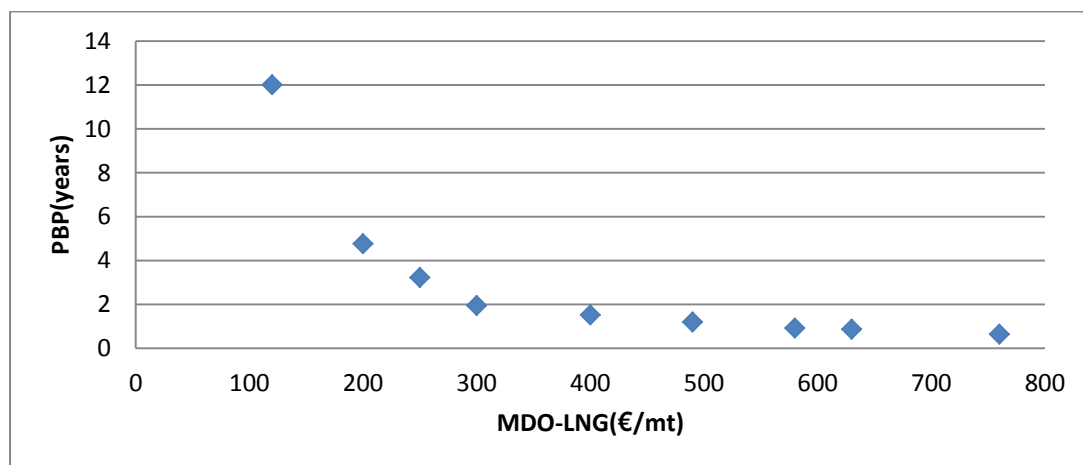
Στο Διάγραμμα 28 απεικονίζεται η μεταβολή της καθαρής παρούσας αξίας της επένδυσης σε σχέση με τη διαφορά τιμής των καυσίμων. Οι τιμές και οι διαφορές τιμών επιλέχθηκαν όπως εξηγήθηκε παραπάνω. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν καταρτίζονται στον πίνακα α65.

Πίνακας 65 NPV και Αποπληρωμή Στόλου 12 MW συναρτήσει Διαφοράς Τιμής

Διαφορά τιμής(€/mt)	Τιμή MDO (€/mt)	Τιμή LNG (€/mt)	NPV	PBP
30	220	190	-13.842.112 €	NO PAYBACK
50	230	180	-5.787.189 €	NO PAYBACK
65	235	170	121.708 €	28,57
90	275	185	11.645.598 €	16,34
120	477	357	33.623.590 €	11,67
200	450	250	62.297.796 €	7,51
220	470	255	69.000.459 €	6,95
250	475	220	84.316.540 €	5,96
400	645	245	147.874.205 €	3,78
420	620	200	154.077.009 €	3,65
580	870	290	227.512.399 €	2,60
630	825	195	243.945.467 €	2,44
760	1180	420	311.648.596 €	1,95



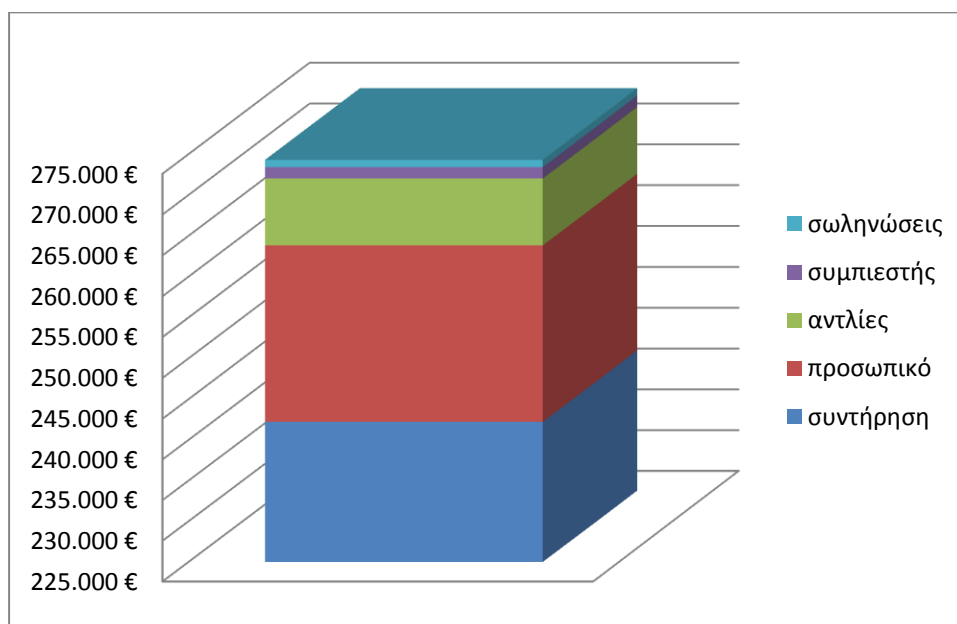
Διάγραμμα 28 NPV Στόλου 12 MW συναρτήσει Διαφοράς Τιμής



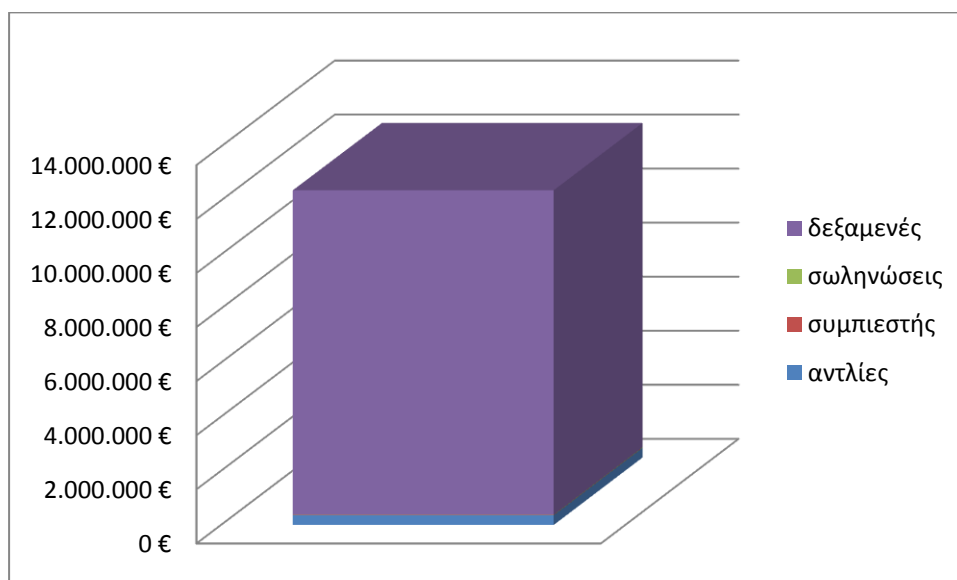
Διάγραμμα 29 Αποπληρωμή Στόλου 12 MW συναρτήσει Διαφοράς Τιμής

Από το Διάγραμμα 28 και το Διάγραμμα 29 παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά τιμής τόσο αυξάνεται η καθαρή παρούσα αξία και μειώνεται ο χρόνος αποπληρωμής όπως ήταν αναμενόμενο. Η αύξηση δεν είναι απόλυτα αναλογική επειδή τα καύσιμα έχουν διαφορετικές ειδικές καταναλώσεις και επειδή σύμφωνα με τον τρόπο τιμολόγησης του LNG, αύξηση στο καύσιμο MDO επιφέρει αύξηση στο καύσιμο LNG.

### Κόστη Λιμανιού



Διάγραμμα 30 Λειτουργικό Κόστος Λιμανιού Στόλου 12 MW



Διάγραμμα 31 Κόστος Επένδυσης Λιμανιού Στόλου 12 MW

Το λιμάνι προκειμένου να καλύψει το κόστος επένδυσης και το λειτουργικό του κόστος πρέπει να επιβάλει τέλος **42 €/mt**. Σε αυτή την περίπτωση προκύπτει IRR 8%, NPV 121.300€ και PBP 13 έτη.

#### Στόλος 4

##### 3 πλοία

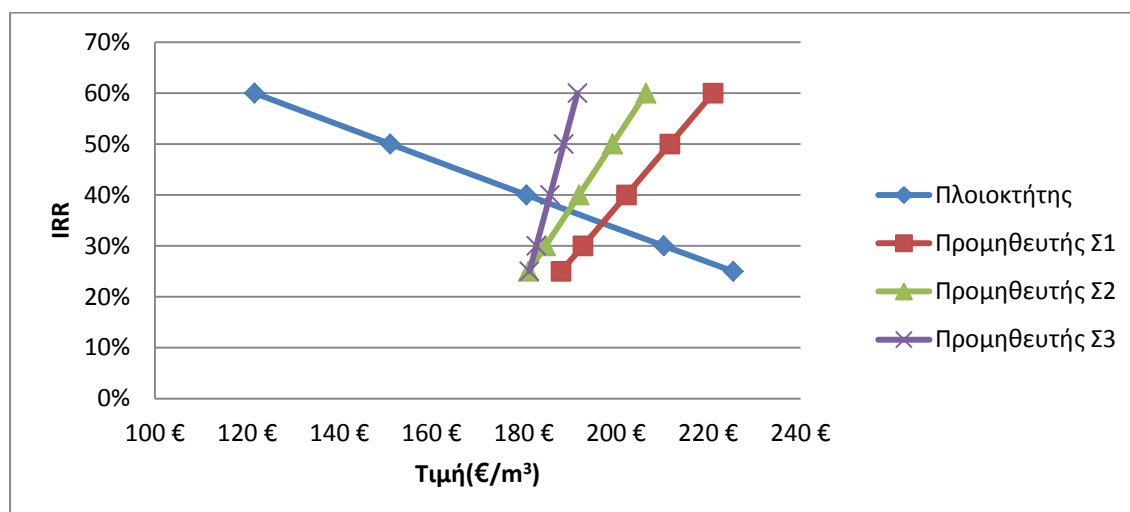
Ο στόλος αποτελείται από ένα πλοίο κάθε ισχύος που έχει εξεταστεί παραπάνω.

Πίνακας 66 Στοιχεία Πλοίων και Διαδρομής Στόλου 3 πλοίων

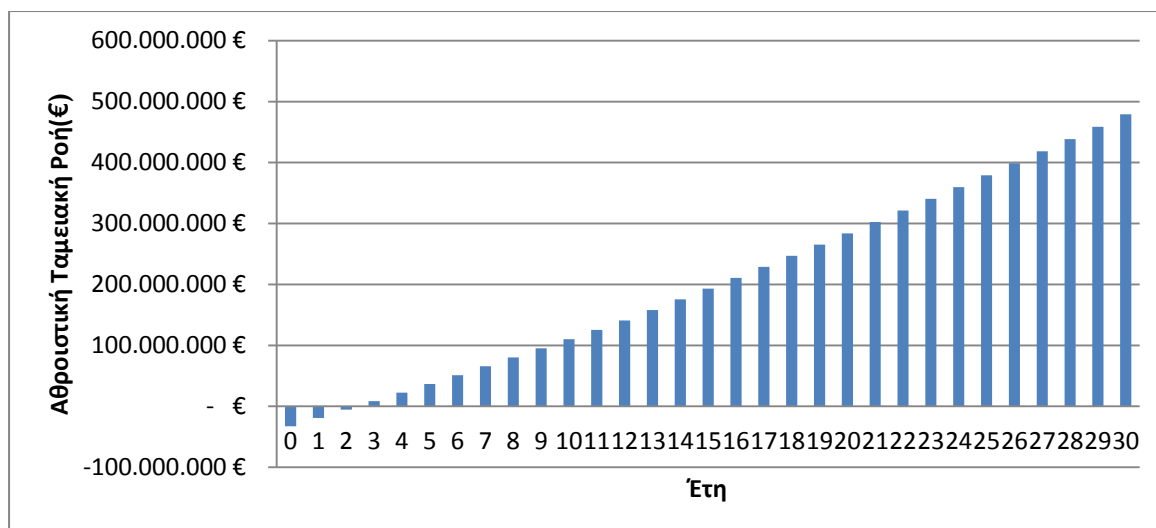
Βασικά Στοιχεία Πλοίου και Διαδρομής	
Ημέρες δρομολογίων	280
Retrofit cost	46.874.707 €

Τα λοιπά στοιχεία κάθε πλοίου έχουν κρατηθεί ίδια.

Δεν έχουν χορηγηθεί επιχορηγήσεις ούτε έχουν δοθεί αποσβέσεις για τον εξοπλισμό.



Διάγραμμα 32 Τιμή Αγοράς LNG και Προκύπτον IRR Στόλου 3 πλοίων



Διάγραμμα 33 Αποπληρωμή Επένδυσης Πλοιοκτήτη Στόλου 3 Πλοίων

Από το Διάγραμμα 32 συμπληρώνονται οι πίνακες 67 και 68.

Πίνακας 67 Στοιχεία Σύγκλισης Στόλου 3 πλοίων

	Τιμή Σύγκλισης (€/m <sup>3</sup> )	IRR Σύγκλισης (%)
Σενάριο 1	198	35
Σενάριο 2	194,6	34
Σενάριο 3	184	39

Πίνακας 68 Αποτελέσματα Στόλου 3 Πλοίων

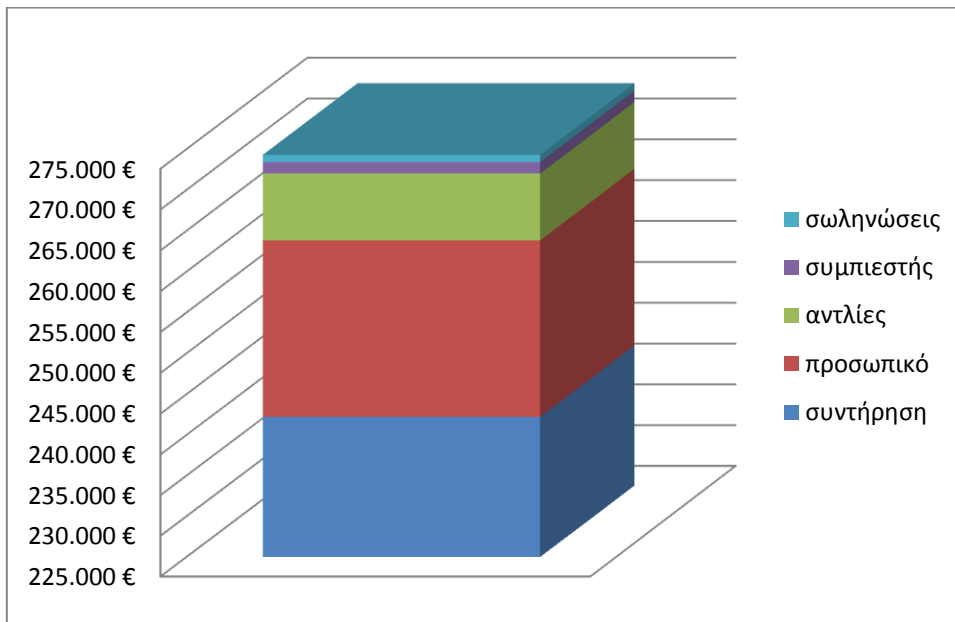
Πίνακας Αποτελεσμάτων	
Προκύπτουσα Τιμή(€/m <sup>3</sup> )	184
Όριο Τιμής(€/m <sup>3</sup> )	214,2
Τιμή Αγοραπωλησίας(€/m <sup>3</sup> )	184
IRR Προμηθευτή(%)	39
IRR Πλοιοκτήτη(%)	39
Αποπληρωμή Προμηθευτή(years)	2,6
Αποπληρωμή Πλοιοκτήτη(years)	2,39
Σενάριο	3

Τα στοιχεία διαδρομής , διάρκειας προμήθειας και χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού των εμπλεκόμενων φορέων παρουσιάζονται στον πίνακα 69.

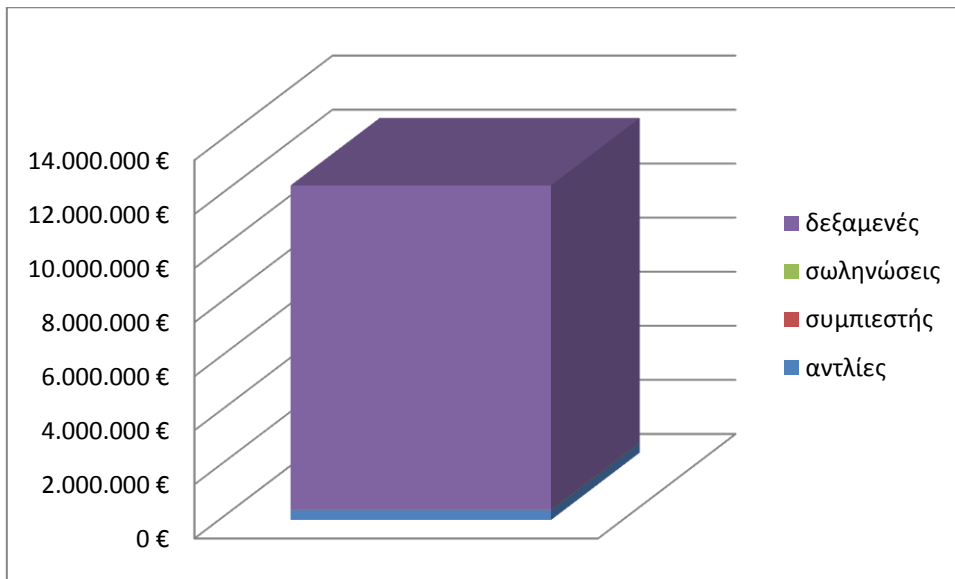
Πίνακας 69 Τεχνικά Στοιχεία Προμήθειας Στόλου 3 Πλοίων

	Σενάριο 1 Προμήθεια με πλοίο ανεφοδιασμού	Σενάριο 2 Προμήθεια με φορτηγά	Σενάριο 3 Προμήθεια με οχηματαγωγό πλοίο
<b>Προμηθευτής</b>			
Πλοίο Ανεφοδιασμού (KW)	1222	-	-
Πλοίο Ανοιχτού Τύπου (KW)	-	300	-
Οχηματαγωγό Πλοίο (KW)	-	-	14680
Φορτηγά (278 KW)	-	33	1
LNG containers (m <sup>3</sup> )	-	33	33
Θαλάσσια Διανύμενη Απόσταση (nm)	38,74	0,54	38,74
Χερσαία Διανύμενη Απόσταση (km)	-	100	-
Διάρκεια Μεταφοράς (h)	3,87	1,76	3,87
<b>Λιμάνι Πειραιά</b>			
Δεξαμενή Αποθήκευσης (m <sup>3</sup> )	1200 250	1200 250	1200 250
Συμπιεστής (KW)	-	2925	2925
Αντλίες (11 KW)	-	20	20
Σωληνώσεις	-	170	170
Διάρκεια Πλήρωσης Δεξαμενής (h)	-	22	22
Διάρκεια Ανεφοδιασμού (h)	3,17	3,25	3,25
Συνολική Διάρκεια Προμήθειας (h)	7,06	27,01	29,12
<b>Πλοιοκτίτης</b>			
Συνολική Ισχύς Πλοίων (KW)	105	105	105
Αριθμός Μετασκευασμένων Πλοίων	3	3	3
Διανύμενη Απόσταση Πλοίων (nm)	2 x348 1 x500	2 x348 1 x500	2 x348 1 x500
Δεξαμενή Πλοίων (m <sup>3</sup> )	2 x500 1 x300	2 x500 1 x300	2 x500 1 x300
Ποσότητα Κανσίμου προς Ανεφοδιασμό (m <sup>3</sup> )	1300	1300	1300

### Κόστη Λιμανιού



Διάγραμμα 34 Λειτουργικό Κόστος Λιμανιού Στόλου 3 Πλοίων



Διάγραμμα 35 Κόστος Επένδυσης Λιμανιού Στόλου 3 Πλοίων

Το λιμάνι προκειμένου να καλύψει το κόστος επένδυσης και το λειτουργικό του κόστος πρέπει να επιβάλει τέλος **28 €/mt**. Σε αυτή την περίπτωση προκύπτει IRR 9%, NPV 608.590 € και PBP 12,68 έτη.



## Στόλος 5

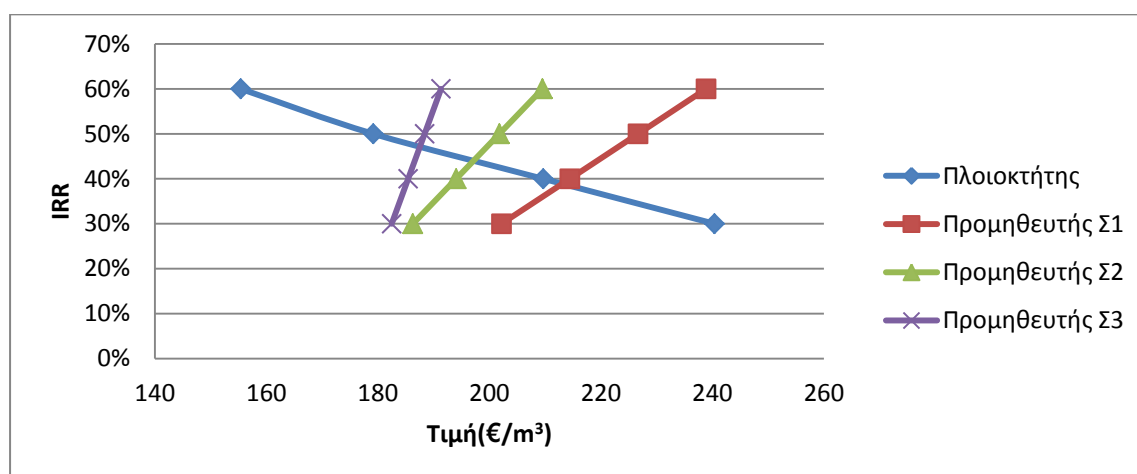
### 2 πλοία: 25 MW και 68 MW

Το παρακάτω σενάριο είναι βιώσιμο χωρίς συμμετοχή της πολιτείας με παροχή επιχορηγήσεων ή αποσβέσεων εξοπλισμού.

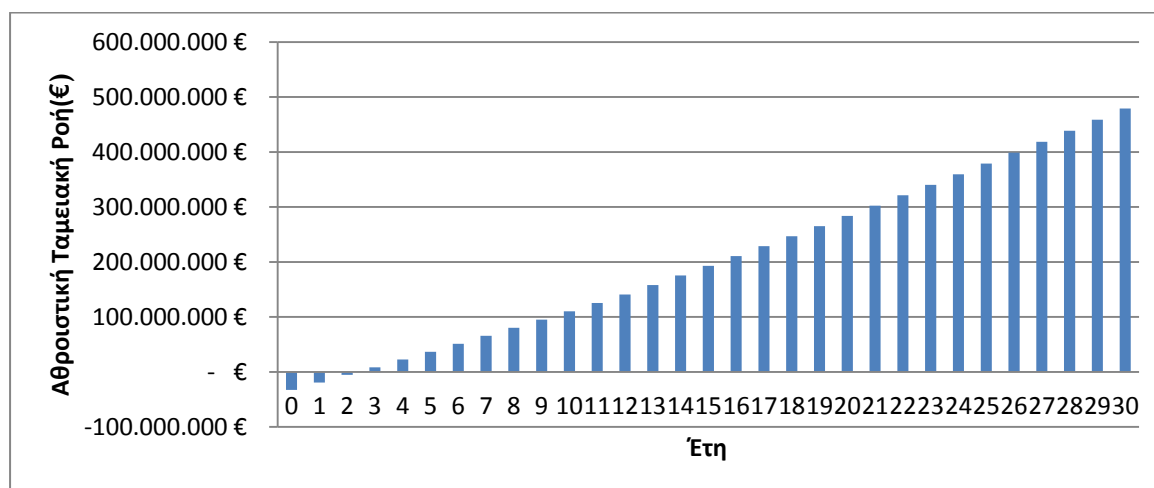
Πίνακας 70 Στοιχεία Πλοίων και Διαδρομής Στόλου 2 Πλοίων

Βασικά Στοιχεία Πλοίου και Διαδρομής	
Ημέρες δρομολογίων	280
Retrofit cost	37.898.707 €

Τα λοιπά στοιχεία κάθε πλοίου έχουν κρατηθεί ίδια.



Διάγραμμα 36 Τιμή Αγοράς LNG και Προκύπτον IRR Στόλου 2 Πλοίων



Διάγραμμα 37 Αθροιστική Ταμειακή Ροή Πλοιοκτήτη Στόλου 2 Πλοίων

Από τα διαγράμματα 36 και 37 συμπληρώνεται ο

Πίνακας 71 και ο Πίνακας 72.

Πίνακας 71 Στοιχεία Σύγκλισης Στόλου 2 Πλοίων

	Τιμή Σύγκλισης (€/m <sup>3</sup> )	IRR Σύγκλισης (%)
Σενάριο 1	213	39
Σενάριο 2	200,3	43
Σενάριο 3	186,9	48

Πίνακας 72 Αποτελέσματα Στόλου 2 Πλοίων

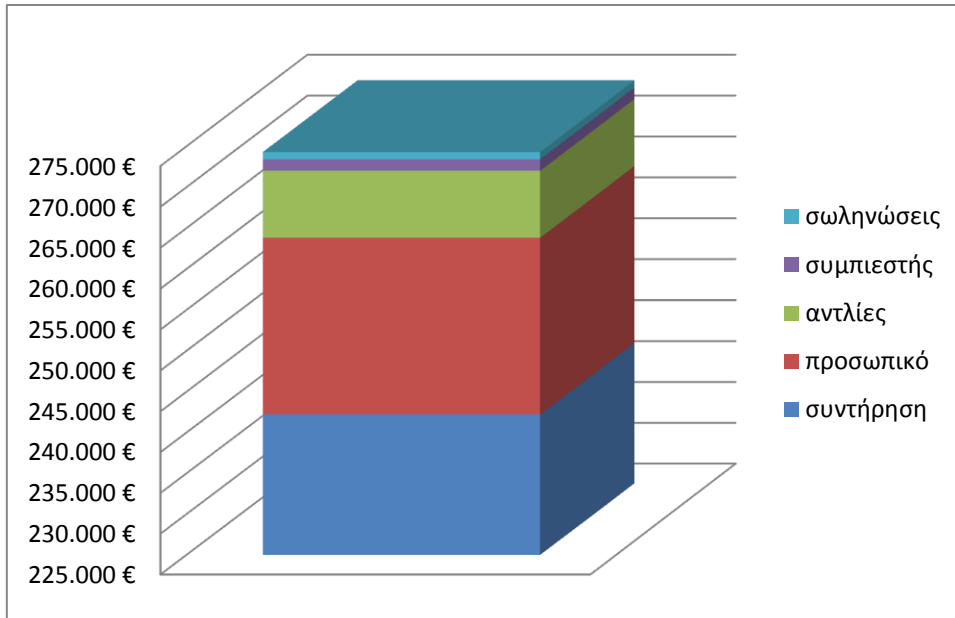
Πίνακας Αποτελεσμάτων	
Προκύπτουσα Τιμή(€/mt)	186,9
Όριο Τιμής(€/mt)	214,2
Τιμή Αγοραπωλησίας(€/mt)	186,9
IRR Προμηθευτή(%)	48
IRR Πλοιοκτήτη(%)	48
Αποπληρωμή Προμηθευτή(years)	2,4
Αποπληρωμή Πλοιοκτήτη(years)	1,96
Σενάριο	3

Τα στοιχεία διαδρομής , διάρκειας προμήθειας και χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού των εμπλεκόμενων φορέων παρουσιάζονται στον πίνακα 73.

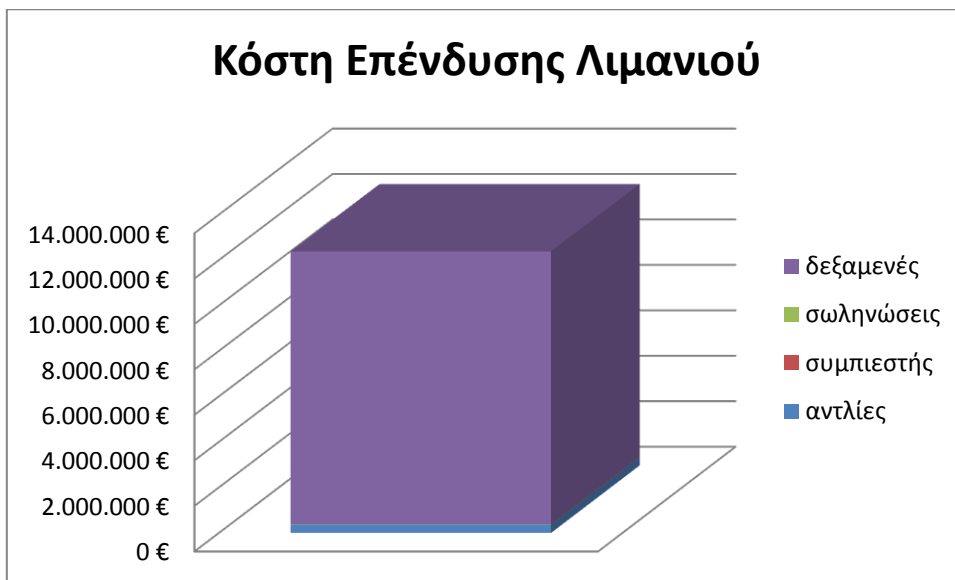
Πίνακας 73 Τεχνικά Στοιχεία Προμήθειας Στόλου 25 MW και 68 MW

	Σενάριο 1 Προμήθεια με πλοίο ανεφοδιασμού	Σενάριο 2 Προμήθεια με φορτηγά	Σενάριο 3 Προμήθεια με οχηματαγωγό πλοίο
<b>Προμηθευτής</b>			
Πλοίο Ανεφοδιασμού (KW)	1093	-	-
Πλοίο Ανοιχτού Τύπου (KW)	-	300	-
Οχηματαγωγό Πλοίο (KW)	-	-	14680
Φορτηγά (278 KW)	-	25	1
LNG containers ( $m^3$ )	-	25	25
Θαλάσσια Διανύμενη Απόσταση (nm)	38,74	0,54	38,74
Χερσαία Διανύμενη Απόσταση (km)	-	100	-
Διάρκεια Μεταφοράς (h)	3,87	1,76	3,87
<b>Λιμάνι Πειραιά</b>			
Δεξαμενή Αποθήκευσης ( $m^3$ )	1200	1200	1200
Συμπιεστής (KW)	-	2250	2250
Αντλίες (11 KW)	-	20	20
Σωληνώσεις	-	170	170
Διάρκεια Πλήρωσης Δεξαμενής (h)	-	16,67	16,67
Διάρκεια Ανεφοδιασμού (h)	2,78	2,25	2,25
Συνολική Διάρκεια Προμήθειας (h)	6,65	20,92	23,04
<b>Πλοιοκτήτης</b>			
Συνολική Ισχύς Πλοίων (KW)	93	93	93
Αριθμός Μετασκευασμένων Πλοίων	2	2	2
Διανύμενη Απόσταση Πλοίων (nm)	2 x348	2 x348	2 x348
Δεξαμενή Πλοίων ( $m^3$ )	2 x500	2 x500	2 x500
Ποσότητα Κανσίμου προς Ανεφοδιασμό ( $m^3$ )	1000	1000	1000

### Κόστη Λιμανιού



Διάγραμμα 38 Λειτουργικό Κόστος Λιμανιού Στόλου 2 Πλοίων



Διάγραμμα 39 Κόστος Επένδυσης Λιμανιού Στόλου 2 Πλοίων

Το λιμάνι προκειμένου να καλύψει το κόστος επένδυσης και το λειτουργικό του κόστος πρέπει να επιβάλει τέλος **30 €/mt**. Σε αυτή την περίπτωση προκύπτει IRR 8%, NPV 396.3730 € και PBP 12,84 έτη.

Συγκεντρωτικοί Πίνακες Αποτελεσμάτων Στόλων

Στον πίνακα 74 παρατίθενται τα κόστη που συμμετέχουν στις ταμειακές ροές του προμηθευτή και του πλοιοκτήτη.

Προμηθευτής

**Πίνακας 74 Έσοδα και Έξοδα Προμηθευτή για τα Επιλεγθέντα Σενάρια**

	Έξοδα						Έσοδα
	Κόστος επένδυσης	Κόστος καυσίμου	Κόστος προσωπικού	Κόστος Εισητηρίου	τέλη	Κόστος συντήρησης	Εισόδημα
68 MW	1.940.000€	-	-	702.000 €	54.000 €	-	1.736.400 €
25 MW	6.380.000 €	1.736 €	18.956 €	-	720 €	1.035 €	1.047.600 €
12 MW	5.080.000 €	1.736 €	11.350 €	-	720 €	685 €	630.720 €
3 πλοία (12+25+ 68 MW)	4.740.000 €	-	-	1.782.000 €	140.400 €	-	4.467.840 €
25MW+ 68MW	3.620.000 €	-	-	1.350.000 €	108.000 €	-	3.414.000 €

Πλοιοκτήτης

**Πίνακας 75 Ετήσια Έσοδα και Έξοδα Πλοιοκτήτη**

	Έξοδα		Έσοδα
	Κόστος μετασκευής	Διαφορικό κόστος προσωπικού	Διαφορά Κόστους Καυσίμων
68 MW	21.398.707 €	1.671.274 €	12.990.222 €
25 MW	16.580.707 €	1.454.279 €	2.415.030 €
12 MW	9.056.707 €	2.017.646 €	1.618.444 €
3 πλοία (12+25+68 MW)	46.874.707 €	5.143.200 €	17.131.676 €
25MW+68MW	37.898.707 €	3.125.553 €	15.461.101 €

Πίνακας 76 Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων Στόλων

Στόλος	68 MW	25 MW	12 MW	68+25 MW	3 πλοία
Τιμή αγοραπωλησίας (€/m <sup>3</sup> )	196,3	178,2	171,2	186,9	184
IRR Προμηθευτή	73%	13%	16%	48%	34%
IRR Πλοιοκτήτη	73%	13%	16%	48%	34%
PBP Προμηθευτή	1,42	8,7	5,8	2,6	2,4
PBP Πλοιοκτήτη	1,42	7,9	5,16	2,39	1,96
Επιλεγθέν Σενάριο	3	2	2	3	3

Από τον πίνακα 76 προκύπτει το συμπέρασμα ότι για μικρές διακινούμενες ποσότητες LNG συμφέρει οικονομικά η διακίνηση με tank container είτε μέσω ξηράς είτε μέσω θαλάσσης, εξαιτίας του μικρότερου κόστους επένδυσης και λειτουργικού κόστους. Η τιμή που προέκυψε ήταν κάτω του ορίου εκτός από την περίπτωση του πλοίου των 68 MW. Αυτό περιορίζει το κέρδος του προμηθευτή, ο οποίος εξακολουθεί να βρίσκεται σε αποδεκτό σημείο βιωσιμότητας επένδυσης και κέρδους.

#### Γενικές Παρατηρήσεις

Παρατηρούμε ότι με την αύξηση των ναυτικών μιλίων, αυξάνεται παντού η καθαρή παρούσα αξία και μειώνεται ο χρόνος αποπληρωμής, εκτός από την περίπτωση του πλοίου των 12MW στην περίπτωση της μεγάλης επιχορήγησης. Για μικρές ισχύεις η επιδότηση είναι απαραίτητη, ενώ όσο μεγαλώνει η ισχύς, επομένως και η διαφορική κατανάλωση, η επένδυση τείνει να γίνει βιώσιμη ανεξάρτητα από τη συμβολή της πολιτείας. Για τη βιωσιμότητα των επενδύσεων επιλέγεται retrofit στην χρησιμοποιούμενη ισχύ και όχι στην εγκατεστημένη, με στόχο τη μείωση του κόστους της αρχικής επένδυσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά τιμής τόσο αυξάνεται η καθαρή παρούσα αξία και μειώνεται ο χρόνος αποπληρωμής. Στην επιλογή των σεναρίων δεν εξετάστηκαν τεχνικοί περιορισμοί στην επιλογή του σεναρίου, επειδή η διακινούμενη ποσότητα είναι δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Όσον αφορά στο λιμάνι, παρατηρούμε ότι τα κόστη του επηρεάζονται από τις αλλαγές στη διακινούμενη ποσότητα. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στο κόστος του εξοπλισμού αποθήκευσης και κυρίως στο κόστος της δεξαμενής, που αποτελεί και το μεγαλύτερο κόστος επένδυσης. Προκειμένου να αποσβεστεί το κόστος επένδυσης το λιμάνι πρέπει να αλλάξει την εφαρμοζόμενη για τα υπόλοιπα καύσιμα τιμολογιακή του πολιτική και να επιβάλλει μεγαλύτερο κόστος ανεφοδιασμού, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την επένδυση του πλοιοκτήτη.

#### 4.2.6 Προβολή Εξέλιξης Αναγκών και Τιμής

Η παραπάνω μελέτη πραγματοποιήθηκε στη λογική ενός μακροπρόθεσμου συμβολαίου μεταξύ του προμηθευτή και του πλοιοκτήτη. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια στην Ευρωπαϊκή Ένωση τείνει να συνάπτονται συμβόλαια μικρής διάρκειας ακόμα και στις χονδρεμπορικές τιμές του LNG. Επιπλέον η τιμή του LNG στην Ευρώπη πλέον διαμορφώνεται όχι μόνο με

βάση την τιμή του πετρελαίου, αλλά και με τους νόμους προσφοράς και ζήτησης (τιμή σποτ). Για τους παραπάνω λόγους στο τμήμα αυτό έχει καταρτηθεί ταμειακή ροή ως προς τον προμηθευτή, που λαμβάνει υπ' όψη τη μεταβολή στην τιμή των καυσίμων και την εκτιμώμενη αύξηση ζήτησης του LNG. Η επιλογή του σεναρίου προμήθειας του καυσίμου δε βασίζεται μόνο σε οικονομικά κριτήρια, αλλά στηρίζεται και σε τεχνικούς περιορισμούς, όπως ο χρόνος μεταφοράς και ανεφοδιασμού που απαιτείται. Λήφθηκαν δύο σενάρια εξέλιξης ζήτησης.

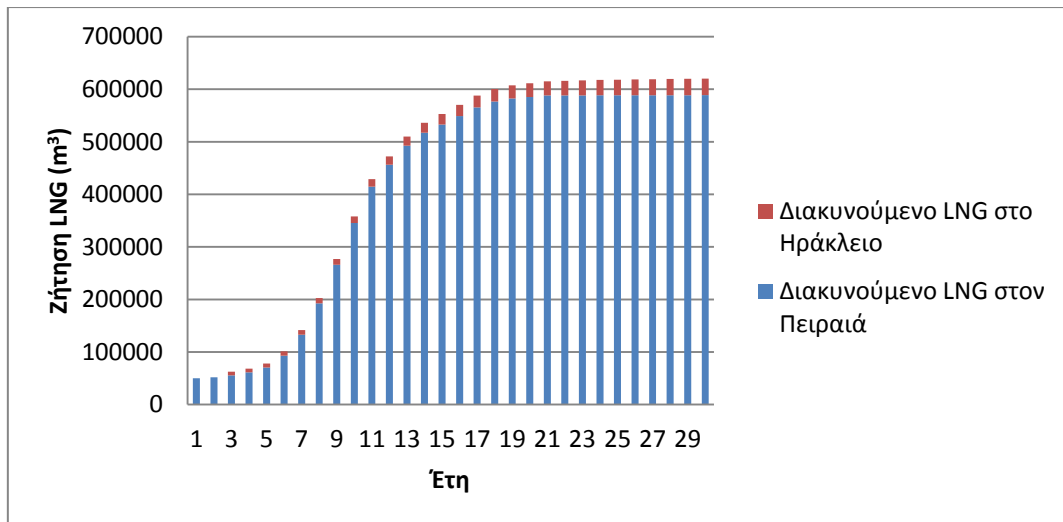
## Βασικό Σενάριο

### Διακίνηση LNG

Για την εξέλιξη της ζήτησης έγινε η παραδοχή, ότι σε μία δεκαετία η ετήσια ζήτηση στην περιοχή του Αιγαίου θα ξεπερνά τα  $200.000 m^3$ , ενώ οι ρυθμοί αύξησης ζήτησης στο μεγαλύτερο μέρος της διάρκειας ζωής της μελέτης δε θα ξεπερνούν το μέγιστο εκτιμώμενο της Μεσογείου. Η παραδοχή βασίστηκε στο γεγονός ότι το λιμάνι του Πειραιά αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα της Μεσογείου εξυπηρετώντας γραμμές τόσο του εσωτερικού όσο και του εξωτερικού. Η αρχικοποίηση της διακινούμενης ποσότητας καυσίμου έγινε με την παραδοχή ότι τον πρώτο χρόνο θα κινηθούν στο χώρο του Αιγαίου δύο έως τέσσερα πλοία, που χρησιμοποιούν το LNG ως καύσιμο. Όλα τα πλοία δεν εκτελούν δρομολόγια καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Πιο συγκεκριμένα εξαιτίας του τουρισμού στο Αιγαίο το καλοκαίρι, θεωρήθηκαν αυξημένες ανάγκες καυσίμου κατά την τουριστική περίοδο. Εξαιτίας του μικρού αριθμού των πλοίων, δυνατότητα ανεφοδιασμού για τα πρώτα δύο χρόνια υπάρχει μόνο στο λιμάνι του Πειραιά.

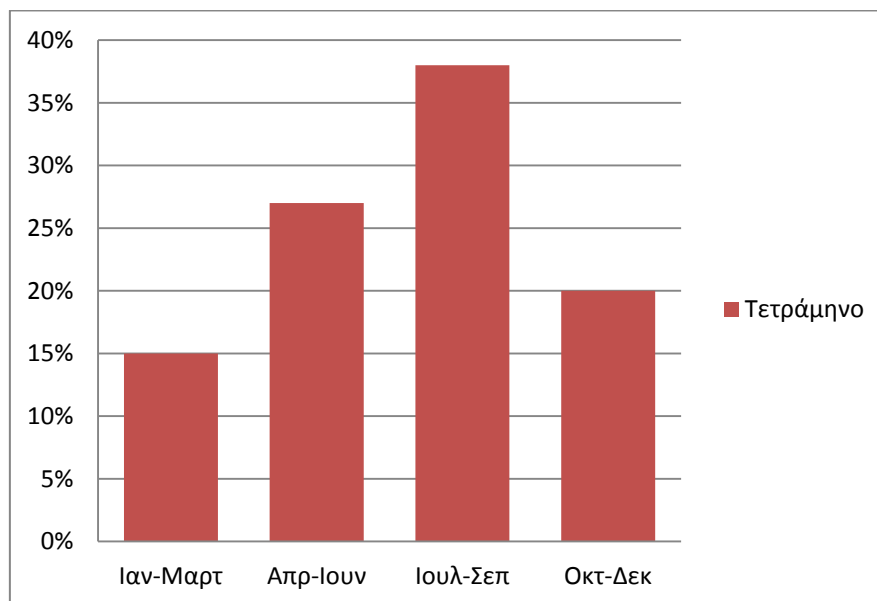
Η αυξανόμενη ζήτηση του LNG θα δημιουργήσει την ανάγκη του ανεφοδιασμού και από άλλα λιμάνια. Από τον τρίτο χρόνο και μετά πραγματοποιείται ανεφοδιασμός πλοίων και στο λιμάνι του Ηρακλείου, οπότε ένα ποσοστό του μεταφερόμενου καυσίμου LNG οδηγείται στο Ηράκλειο για τις ανάγκες ανεφοδιασμού των πλοίων, που δεν εκτελούν δρομολόγια στον Πειραιά. Οι ρυθμοί αύξησης ζήτησης στο λιμάνι του Ηρακλείου θεωρήθηκαν μικρότεροι των ρυθμών του Πειραιά, εφόσον δέχεται ετησίως μικρότερο αριθμό κλίσεων.

Στο Διάγραμμα 40 απεικονίζονται οι εκτιμήσεις της ετήσιας αύξησης ζήτησης ως ποσοστό σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά στα λιμάνια του Πειραιά και του Ηρακλείου.



Διάγραμμα 40 Προβολή Ζήτησης LNG στο Αιγαίο Πέλαγος για 30 χρόνια

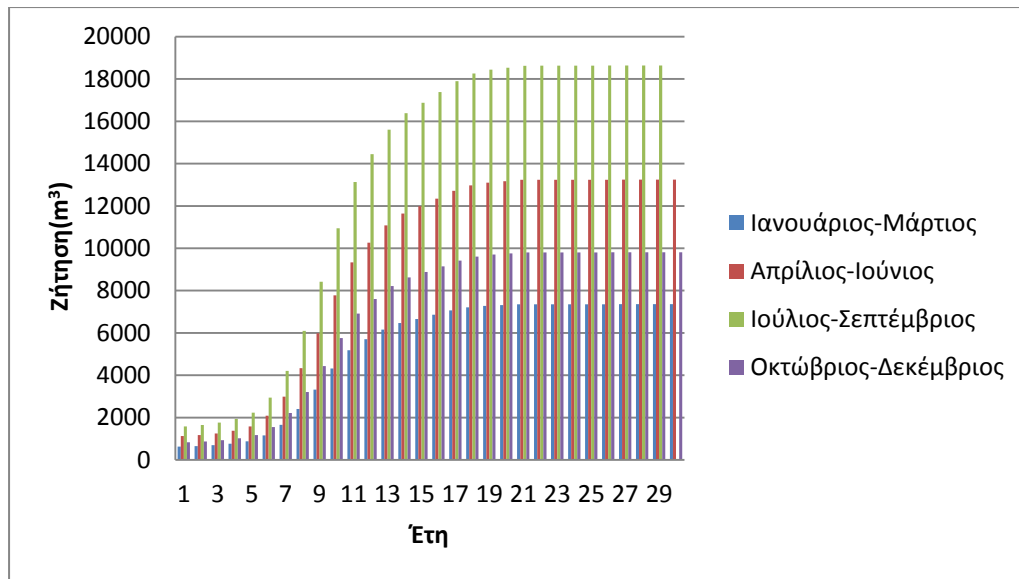
Η ετήσια ζήτηση του καυσίμου δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σε όλη τη διάρκεια του έτους. Εξαιτίας του τουρισμού περισσότερα πλοία εκτελούν δρομολόγια κατά τη θερινή περίοδο. Επίσης τη θερινή περίοδο προσεγγίζουν τα ελληνικά λιμάνια περισσότερα πλοία από το εξωτερικό (κρουαζιέρες). Επομένως εκτιμήθηκαν τα ποσοστά της συνολικής ζήτησης του LNG για κάθε τετράμηνο, θεωρώντας αυτά τα ποσοστά αμετάβλητα κατά την πάροδο των ετών. Τα ποσοστά δίνονται στο Διάγραμμα 41.



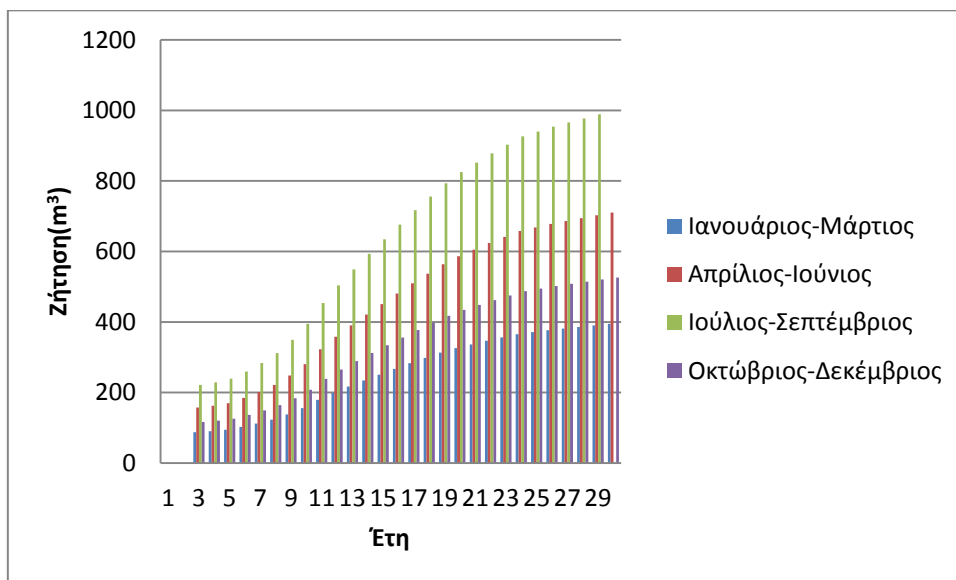
Διάγραμμα 41 Ποσοστό Ζήτησης Ετήσιου Καυσίμου Τετραμήνων

Θεωρώντας ότι το έτος έχει σαράντα οκτώ βδομάδες, υπολογίστηκε η εβδομαδιαία ζήτηση καυσίμου ανά τετράμηνο. Η εβδομαδιαία ζήτηση στον Πειραιά και στο Ηράκλειο αποτυπώνεται στο Διάγραμμα 42 και στο Διάγραμμα 43.





Διάγραμμα 42 Εβδομαδιαία Ζήτηση LNG στο λιμάνι του Πειραιά ανά Τετράμηνο



Διάγραμμα 43 Εβδομαδιαία Ζήτηση LNG στο λιμάνι του Ηρακλείου ανά Τετράμηνο

Η ανομοιομορφία στη ζήτηση λειτουργεί επιβαρυντικά στον προμηθευτή, επειδή υπαγορεύει την απόκτηση πρόσθετου εξοπλισμού για την ικανοποίηση της αυξημένης ζήτησης της θερινής περιόδου.

### Προμήθεια Καυσίμου

Για την προμήθεια καυσίμου στα δύο λιμάνια σε όλη τη διάρκεια της επένδυσης χρησιμοποιείται ο ακόλουθος εξοπλισμός:

- LNG containers χωρητικότητας  $40 \text{ m}^3$  έκαστο
- Τράκτορες ισχύος 278 KW (1 trailer/tractor)
- 1 πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας  $1000 \text{ m}^3$  ισχύος 1100 KW

- 1 πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup> ισχύος 1900 KW
- 1 πλοίο RoRo
- 2 δεξαμενές αποθήκευσης χωρητικότητας 500 m<sup>3</sup> έκαστη
- 1 πλοίο ανοιχτού τύπου ισχύος 1900 KW

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού φαίνονται στον πίνακα 77 και στον πίνακα 78.

**Πίνακας 77 Πίνακας Τεχνικού Εξοπλισμού Προμηθευτή[74, 75, 81, 88]**

	Πλοίο Ανεφοδιασμού	Πλοίο Ανεφοδιασμού	Πλοίο Ανοιχτού Τύπου	Φορηγό (container tanker)	Δεξαμενή Αποθήκευσης
Χωρητικότητα(m <sup>3</sup> )	1000	3000	-	40	500
Ισχύς(KW)	1100	1900	300	278	-
Ποσοστό Ισχύος	85%	70%	85%	100%	-
Ρυθμός Πλήρωσης(m <sup>3</sup> /h)	2000	2000	-	100	60
Ρυθμός Ανεφοδιασμού(m <sup>3</sup> /h)	500	1000	-	60	500

**Πίνακας 78 Χαρακτηριστικά Διαδρομής και Κατανάλωσης**

Εξοπλισμός	Διαδρομή(round trip)		Ταχύτητα		Ειδική κατανάλωση καυσίμου
	Πειραιάς	Ηράκλειο	Πειραιάς	Ηράκλειο	
Πλοίο Ανεφοδιασμού 1000 m <sup>3</sup>	38,74 nm	348 nm	10 kn	14 kn 16 kn	157 g/KWh
Πλοίο Ανεφοδιασμού 3000 m <sup>3</sup>	38,74 nm		10 kn		157 g/KWh
Πλοίο Ανοιχτού Τύπου Tanker truck	1 km 100 km		10 kn 60 km/h		157 g/KWh 157 g/KWh

### Περιγραφή Προμήθειας Καυσίμου

Τα πρώτα τρία χρόνια η προμήθεια του LNG πραγματοποιείται αποκλειστικά με φορητά. Κάθε τράκτορας έχει ένα τρέιλερ, πάνω στο οποίο προσδένεται ένα container με χωρητικότητα 40 m<sup>3</sup>. Η ζήτηση καλύπτεται με την αγορά επτά τρακτόρων και επτά LNG containers. Τα containers μεταφέρονται από τη Ρεβυθούσα στην απέναντι ακτή (Αγία Τριάδα) μέσω ενός πλοίου ανοιχτού τύπου και στη συνέχεια προσδένονται στους τράκτορες και μεταφέρονται μέσω της εθνικής οδού στον Πειραιά. Τα πρώτα δύο χρόνια δεν υπάρχει ζήτηση στο Ηράκλειο, οπότε μετά τον ανεφοδιασμό τα φορητά επιστρέφουν στη Ρεβυθούσα. Τον τρίτο χρόνο ξεκινά ο ανεφοδιασμός στο Ηράκλειο, οπότε τα containers που προορίζονται για το Ηράκλειο, αφού φτάσουν στον Πειραιά, μπαίνουν σε ένα πλοίο RoRo και μεταφέρονται δια θαλάσσης στο Ηράκλειο. Για να καλυφθεί η επιπλέον ζήτηση αγοράζονται άλλα δύο containers. Μόλις φτάσει το RoRo στο Ηράκλειο αφήνει τα νέα containers και παραλαμβάνει εκείνα που είχε αφήσει την προηγούμενη φορά. Λόγω αυτού του τρόπου διαχείρισης του εξοπλισμού του ανεφοδιασμού στο Ηράκλειο, αγοράζονται τρία πρόσθετα containers από τα απαιτούμενα βάσει της ζήτησης.

Τον τέταρτο χρόνο, εξαιτίας του μεγάλου αριθμού φορτηγών που απαιτείται για να καλυφθεί η ζήτηση του λιμένα του Πειραιά, ξεκινά η μεταφορά του LNG με πλοίο ανεφοδιασμού. Το πλοίο ανεφοδιασμού έχει χωρητικότητα 1000 m<sup>3</sup> και καλύπτει αποκλειστικά τη ζήτηση του Πειραιά, ενώ η ζήτηση του Ηρακλείου εξακολουθεί να καλύπτεται με containers. Ο τρόπος μεταφοράς των containers από τη Ρεβυθούσα στο Ηράκλειο παραμένει πανομοιότυπος με πριν. Τον πέμπτο χρόνο χτίζεται στο Ηράκλειο μια δεξαμενή αποθήκευσης LNG με χωρητικότητα 500 m<sup>3</sup>. Η επιλογή της δεξαμενής έγινε με βάση την ελάχιστη και μέγιστη διακινούμενη ποσότητα του συγκεκριμένου έτους και την εκτίμηση αύξησης της ζήτησης τα επόμενα έτη.

Τον ένατο χρόνο για τη μεταφορά του LNG από τη Ρεβυθούσα στον Πειραιά χρησιμοποιείται και ένα δεύτερο πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup>. Η χωρητικότητα επιλέχθηκε τέτοια με την προοπτική της ετήσιας αυξανόμενης ζήτησης στο λιμάνι. Για τον ανεφοδιασμό στον Πειραιά χρησιμοποιούνται και τα δύο πλοία.

Τον ενδέκατο χρόνο ο ανεφοδιασμός στο Ηράκλειο παύει να γίνεται με containers και πραγματοποιείται με το μικρό πλοίο ανεφοδιασμού, το οποίο εκτελεί δρομολόγιο με προορισμό το Ηράκλειο μία φορά την εβδομάδα. Επειδή τα πλοία ανεφοδιάζονται στο λιμάνι καθ' όλη τη διάρκεια της εβδομάδας απαιτείται η κατασκευή άλλης μιας δεξαμενής, ώστε να είναι δυνατή η αποθήκευση όλης της διακινούμενης ποσότητας.

Εγκατάσταση δεξαμενής δεν προβλέπεται στον Πειραιά λόγω έλλειψης χώρου και πρόθεσης αποφυγής διαμαρτυριών των πολιτών.

Όσον αφορά στη μεταφορά του καυσίμου με φορτηγά στον Πειραιά και στο Ηράκλειο παρουσιάζονται στους πίνακες 79 και 80 ο αριθμός των containers που χρησιμοποιούνται σε κάθε ανεφοδιασμό και η συχνότητα ανεφοδιασμού ανά βδομάδα.

**Πίνακας 79 Πίνακας Φορτηγών LNG ανά Χρόνο και Τετράμηνο στον Πειραιά**

<b>Αριθμός Φορτηγών Ανεφοδιασμού στο Λιμάνι του Πειραιά</b>				
<b>Χρόνος</b>	<b>Ιανουάριος - Μάρτιος</b>	<b>Απρίλιος - Ιούνιος</b>	<b>Ιούλιος - Σεπτέμβριος</b>	<b>Οκτώβριος - Δεκέμβριος</b>
<b>1</b>	3	5	7	4
<b>2</b>	3	5	7	4
<b>3</b>	3	5	7	4

*Σημείωση: Το 1 και το 2<sup>ο</sup> έτος οι ημέρες ανεφοδιασμού είναι 6 και το 3<sup>ο</sup> έτος 7.*

**Πίνακας 80 Πίνακας Φορτηγών LNG ανά Χρόνο και Τετράμηνο στο Ηράκλειο**

<b>Αριθμός Φορτηγών Ανεφοδιασμού στο Λιμάνι του Ηρακλείου</b>				
<b>Χρόνος</b>	<b>Ιανουάριος - Μάρτιος</b>	<b>Απρίλιος - Ιούνιος</b>	<b>Ιούλιος - Σεπτέμβριος</b>	<b>Οκτώβριος - Δεκέμβριος</b>
<b>1</b>	0	0	0	0
<b>2</b>	0	0	0	0
<b>3</b>	2	2	2	2

*Σημείωση: Το 3<sup>ο</sup> έτος το Ηράκλειο ανεφοδιάζεται 6 φορές/εβδομάδα*

Επειδή η ζήτηση σε αυτό το σενάριο δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, μέρη του απαιτούμενου εξοπλισμού αγοράζονται (ή νοικιάζονται) σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Στον πίνακα 81 παρουσιάζονται συνοπτικά τα χρονικά σημεία αγοράς (ή νοικίασης) τμημάτων του απαραίτητου εξοπλισμού για την προμήθεια.

Πίνακας 81 Χρόνος Αγοράς Εξοπλισμού

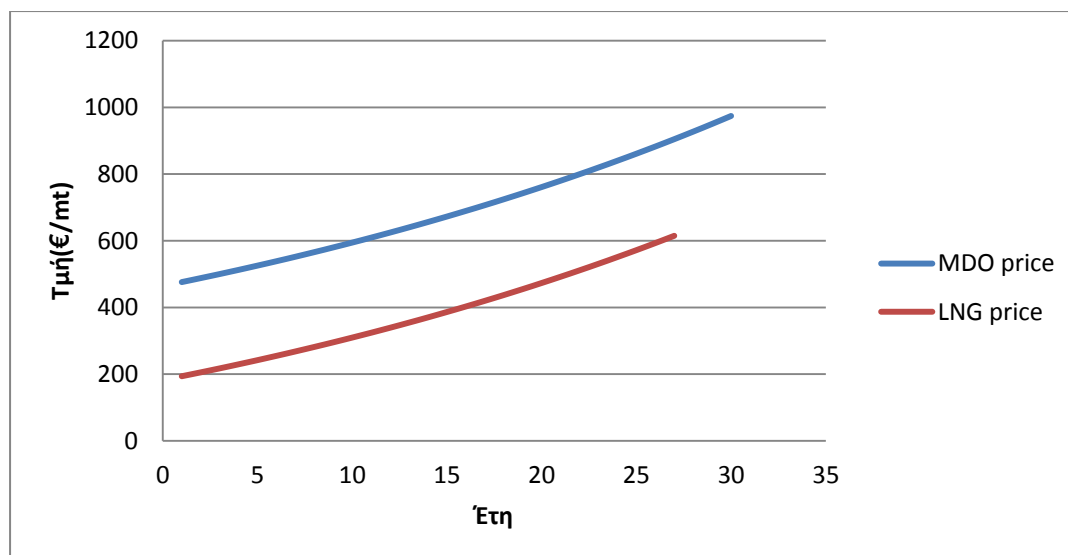
Χρόνος Επένδυσης	Αγορά Εξοπλισμού
1	1 πλοίο ανοικτού τύπου 7 τράκτορες και τρέιλερ 7 containers
3	1 τράκτορας με τρέιλερ 2 containers
4	Πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 $m^3$
9	Πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 $m^3$
11	2 δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμου

Με την πάροδο των ετών και ανάλογα με τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται μεταβάλλεται η διάρκεια της προμήθειας του καυσίμου εξαιτίας τόσο της διαφορετικής διακνούμενης ποσότητας όσο και των διαφορετικών ρυθμών πλήρωσης και ανεφοδιασμού του εξοπλισμού και της διαφορετικής ταχύτητας των μέσων μεταφοράς. Ως διάρκεια προμήθειας του καυσίμου θεωρείται η συνολική διάρκεια της πλήρωσης των μέσων μεταφοράς με καύσιμο, της πρόσδεσης των containers στους τράκτορες, της μεταφοράς του καυσίμου και του ανεφοδιασμού. Τα πρώτα δύο έτη η συνολική διάρκεια είναι περίπου 5 h. Η διάρκεια συνεχώς αυξάνεται. Κατά τα δέκα χρόνια η συνολική διάρκεια είναι 30 h και μετά τα δεκαπέντε έτη φτάνει τις 37 h. Η διάρκεια της πλήρωσης των φορτηγών διαρκεί από 1,8 έως 2,8 h, του πλοίου ανεφοδιασμού με χωρητικότητα 1000  $m^3$  1,5-2 h και των πλοίων ανεφοδιασμού μαζί 3,5-4 h. Τα πρώτα 2 χρόνια ο ανεφοδιασμός στο Ηράκλειο διαρκεί περίπου 0,2 h, ενώ μετά τα 10 χρόνια η διάρκεια βρίσκεται μεταξύ 0,2 και 0,4 ωρών. Στον Πειραιά η διάρκεια ανεφοδιασμού τα πρώτα 10 χρόνια κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 1 ώρας, ενώ μετά τα 10 χρόνια είναι περίπου 3,5 h.

### Ταμειακή Ροή

Η ταμειακή ροή αποσκοπεί στον προσδιορισμό της τιμής πώλησης του LNG, ώστε να είναι βιώσιμη η επένδυση για τον προμηθευτή, και στην παρουσίαση της εξέλιξής της στη διάρκεια του χρόνου. Θεωρείται ότι οι πλοιοκτήτες αγοράζουν το καύσιμο στην τελική, προκύπτουσα τιμή πώλησης.

Για τη συμπλήρωση της ταμειακής ροής θεωρήθηκαν οι σημερινές τιμές των καυσίμων LNG (στο τερματικό εισαγωγής) και MDO. Ο ρυθμός αύξησης της τιμής του MDO προέκυψε με βάση τη μεταβολή της τιμής του καυσίμου τα δύο τελευταία χρόνια. Για την προβολή των τιμών των καυσίμων θεωρήθηκε ετήσια αύξηση διαφοράς τιμής 0,1%. Στο Διάγραμμα 44 φαίνεται η προβολή των τιμών για διάρκεια ζωής επένδυσης τριάντα χρόνια.



Διάγραμμα 44 Προβολή Εκτιμώμενων Τιμών Καυσίμων 30ετίας[79, 99, 104]

Για να υπάρξει αντιστοιχία με τα αποτελέσματα των υπόλοιπων σεναρίων χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια ακριβώς οικονομικά στοιχεία και η ταμειακή ροή καταρτίστηκε με τον ίδιο τρόπο.

Το κόστος του εξοπλισμού είναι το ίδιο με τα προηγούμενα σενάρια, όπου χρησιμοποιείται ίδιος εξοπλισμός. Τα πλήρη στοιχεία του κόστους κεφαλαίου και του λειτουργικού κόστους παρουσιάζονται στον πίνακα 82.

Πίνακας 82 Κόστος Κεφαλαίου Εξοπλισμού

Εξοπλισμός	CAPEX
Πλοίο Ανεφοδιασμού 1000 $m^3$	15.000.000 €
Πλοίο Ανεφοδιασμού 3000 $m^3$	21.000.000 €
Πλοίο Ανοιχτού Τύπου	3.000.000 €
RoRo	-
Container	140.000 €
tractor	120.000 €
Δεξαμενή Χωρητικότητας 500 $m^3$	5.000.000€

Τα λειτουργικά κόστη του εξοπλισμού συνίστανται από το κόστος καυσίμου και τους μισθούς του προσωπικού για κάθε στοιχείο εξοπλισμού καθώς και από το πρόσθετο κόστος της Ρεβυθούσας για την κατασκευή υποδομών υποδοχής πλοίων. Στην περίπτωση μεταφοράς του LNG με φορτηγά το κόστος είναι το άθροισμα του κόστους τόσο των φορτηγών όσο και του πλοίου ανοιχτού τύπου. Για τη μεταφορά των containers στο Ηράκλειο το κόστος οφείλεται αρχικά στο «εισιτήριο» που πληρώνει ο προμηθευτής για τη μεταφορά αυτών με το πλοίο RoRo και στη συνέχεια στο καύσιμο και στους μισθούς του προσωπικού.

Πίνακας 83 Λειτουργικό Κόστος Εξοπλισμού

Εξοπλισμός	OPEX	
	Μισθός	Καύσιμο
Πλοίο Ανεφοδιασμού 1000 $m^3$	4 x 30,73 €/h	0,0285 €/KWh
Πλοίο Ανεφοδιασμού 3000 $m^3$	4 x 30,73 €/h	0,0285 €/KWh
Πλοίο ανοιχτού τύπου	4 x 30,73 €/h	0,0285 €/KWh
RoRo	450 €/container	

Container	1 x 6,08 €/h	0,0285 €/KWh
tractor		
<b>Τέλη</b>		
Τέλος χρήσης	2 €/mt	
διόδια	6 €	

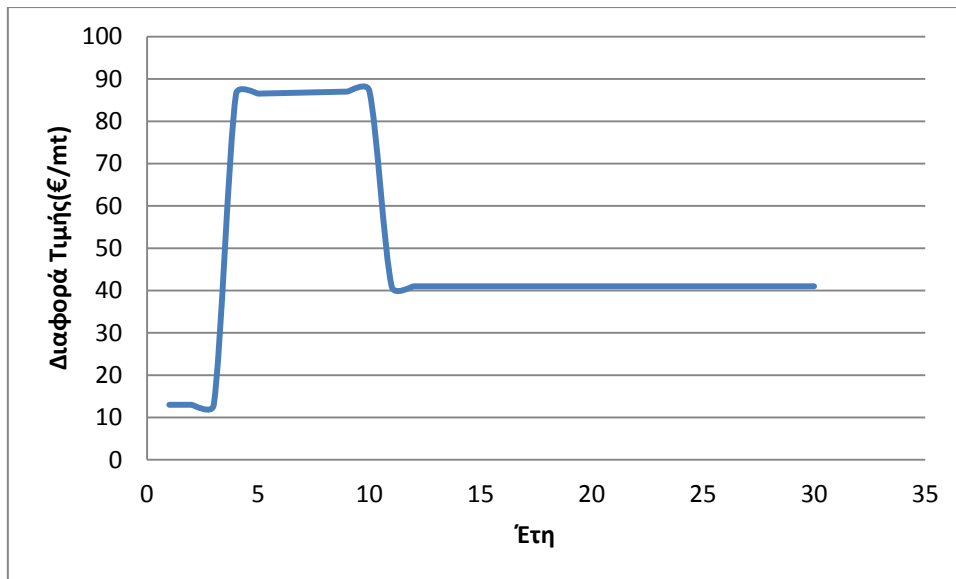
Η τελική τιμή πώλησης κάθε χρόνου της επένδυσης προσδιορίστηκε, ώστε να καθίσταται συμφέρουσα τόσο η συνολική επένδυση όσο και η κάθε επιμέρους επένδυση σε εξοπλισμό. Πριν την τελική ταμειακή ροή καταρτίστηκαν τρεις επιμέρους από τις οποίες προέκυψε η απαιτούμενη διαφορά μεταξύ τιμής αγοράς και πώλησης του LNG, ώστε να είναι συμφέρουσα κάθε επένδυση του προμηθευτή σε εξοπλισμό. Στον πίνακα 84 παρουσιάζεται η απαιτούμενη διαφορά τιμής κάθε επένδυσης και οι τιμές των δεικτών αξιολόγησής της.

**Πίνακας 84 Αποτελέσματα Ταμειακών Ροών ανά Επένδυση Εξοπλισμού**

	<b>Επενδύσεις σε Εξοπλισμό</b>		
	<b>Φορτηγά LNG</b>	<b>Πλοίο Ανεφοδιασμού 1000 m<sup>3</sup></b>	<b>Πλοίο Ανεφοδιασμού 3000 m<sup>3</sup></b>
Διαφορά τιμής	42,3	53	20
Ποσοστό αύξησης τιμής	11,84%	13,47%	4,35%
NPV	-	21.540.015	29.872.991
IRR	-	9,4%	8,34%
PBP	-	9,31	10,54

Η τελική τιμή πώλησης διαμορφώνεται προσθέτοντας στην τιμή αγοράς του LNG τη διαφορά τιμής που προέκυψε από την ταμειακή ροή του εκάστοτε χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού ή το άθροισμα των τιμών αν χρησιμοποιείται εξοπλισμός από δύο διαφορετικές επενδύσεις (επένδυση σε φορτηγά, σε πλοίο ανεφοδιασμού 3.000 m<sup>3</sup> ή σε πλοίο ανεφοδιασμού 1.000 m<sup>3</sup>) και αφαιρώντας ένα σταθερό ποσό (30€) προκειμένου να διατηρείται η τιμή πώλησης του LNG στους πλοιοκτήτες συμφέρουσα, δηλαδή κάθε χρονική στιγμή μικρότερη της εκτιμώμενης τιμής του MDO. Πιο συγκεκριμένα αυτό ακολουθείται από το πρώτο έως το τρίτο έτος και από το δέκατο τρίτο έτος έως το τέλος. Από το τέταρτο έως το δέκατο έτος, επειδή η τιμή του LNG είτε έφτασε είτε ξεπέρασε την τιμή του ντίζελ, από την τιμή του καυσίμου ντίζελ αφαιρέθηκε το ποσό των 30€ προκειμένου το LNG να είναι ανταγωνιστικό έναντι του ντίζελ.

Η διαφορά της τιμής πώλησης σε σχέση με την τιμή αγοράς κάθε έτους για όλη τη διάρκεια ζωής της επένδυσης και τα στοιχεία αξιολόγησης της επένδυσης παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 45 και στον πίνακα 85 αντίστοιχα.



Διάγραμμα 45 Διαφορά Τιμής Πώλησης LNG από Τιμή Αγοράς Κάθε Έτος

Πίνακας 85 Αποτελέσματα Ταμειακής Ροής

Αποτελέσματα Ταμειακής Ροής	
NPV	8.414.948
IRR	10,8%
PBP	14,71

Παρατηρείται ότι η τελική επένδυση είναι συμφέρουσα, καθώς το IRR είναι μεγαλύτερο από 10% και η NPV θετική. Το IRR που προέκυψε υποδεικνύει ότι η επένδυση είναι βιώσιμη και για μεγαλύτερες μειώσεις τιμών. Επίσης υποδεικνύει ότι η συνολική επένδυση καθίσταται βιώσιμη και για αυξημένες τιμές αγοράς του LNG και μικρότερες τιμές του ντίζελ. Αυτό το σημείο είναι ιδιαίτερα σημαντικό γιατί οι τιμές του ντίζελ έχουν μεγάλες αυξομειώσεις και η μελλοντική τους εξέλιξη είναι δύσκολα προβλέψιμη. Στη ταμειακή ροή δεν υπολογίστηκε κέρδος από την πώληση των LNG φορτηγών μετά το τέλος της χρήσης τους, δυνατότητα που προσφέρει ένα πρόσθετο όφελος στον προμηθευτή.

### Ταμειακή Ροή για Ενοικίαση Εξοπλισμού

Εκτός από την παραπάνω ταμειακή ροή καταστρώθηκε άλλη μία στην οποία τα πλοία ανεφοδιασμού δεν αγοράζονται, αλλά ενοικιάζονται τις ημέρες που απαιτούνται για την προμήθεια του καυσίμου. Ως τιμές της ενοικίασης (chartering) εκτιμήθηκαν 2.122 €/d για το πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1.000  $m^3$  και 3.319 €/d για το πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3.000  $m^3$ .

Πίνακας 86 Αποτελέσματα Ταμειακής Ροής για Ενοικίαση Εξοπλισμού

Αποτελέσματα Ταμειακής Ροής	
NPV	39.622.492
IRR	27,26%
PBP	14,71

Από τον πίνακα 86 προκύπτει πιο συμφέρουσα οικονομικά η επιλογή της ενοικίασης των πλοίων ανεφοδιασμού έναντι της αγοράς.

### Ανάλυση Ευαισθησίας

Στους πίνακες 87-92 δίνονται τα στοιχεία αξιολόγησης της συνολικής επένδυσης, αλλά και των επενδύσεων στα δύο πλοία ανεφοδιασμού για διάφορες τιμές του ποσοστού του δανείου, της επιδότησης, του επιτοκίου αναγωγής, του κόστους επένδυσης, της τιμής του καυσίμου ντίζελ και των τελών, προκειμένου να φανεί η επίδραση των παραγόντων αυτών στην επένδυση.

**Πίνακας 87 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας Ποσοστού Δανείου**

<b>Ποσοστό Δανείου</b>			
	<b>IRR</b>	<b>PBP</b>	<b>NPV</b>
<b>Τελική Ταμειακή Ροή</b>			
20%	11,10%	14,54	9.788.354 €
30%	10,67%	14,77	8.107.859 €
40%	10,48%	14,91	7.041.543 €
50%	10,11%	15,13	5.668.137 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 1000 m<sup>3</sup></b>			
20%	9,82%	9,15	1.053.963 €
30%	9,40%	9,31	540.016 €
40%	8,82%	9,52	26.792 €
50%	7,96%	9,79	-486.431 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 3000 m<sup>3</sup></b>			
20%	8,78%	10,15	1.214.181 €
30%	8,34%	10,54	472.991 €
40%	7,78%	11,09	-267.754 €
50%	7,00%	9,79	-1.008.499 €

**Πίνακας 88 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας Επιχορήγησης**

<b>Επιχορήγηση</b>			
	<b>IRR</b>	<b>PBP</b>	<b>NPV</b>
<b>Τελική Ταμειακή Ροή</b>			
5%	11,42%	14,25	10.107.457 €
10%	12,06%	13,81	11.799.965 €
15%	12,71%	13,38	13.492.474 €
20%	13,39%	12,98	15.184.982 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 1000 κυβικών μέτρων</b>			
5%	10,53%	8,72	1.477.810 €
10%	11,74%	8,14	2.415.605 €
15%	13,07%	7,41	3.353.399 €
20%	14,53%	6,63	4.291.193 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 3000 κυβικών μέτρων</b>			
5%	9,35%	9,73	1.788.001 €
10%	10,42%	8,97	3.103.010 €
15%	11,59%	8,24	4.418.020 €
20%	12,86%	7,61	5.733.029 €



Πίνακας 89 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας Επιτοκίου Αναγωγής

<b>Επιτόκιο Αναγωγής</b>			
	<b>IRR</b>	<b>PBP</b>	<b>NPV</b>
<b>Τελική Ταμειακή Ροή</b>			
6%	10,67%	14,77	18.455.005 €
7%	10,67%	14,77	12.885.212 €
8%	10,67%	14,77	8.107.859 €
9%	10,67%	14,77	4.818.358 €
10%	10,67%	14,77	1.918.818 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 1000 κυβικών μέτρων</b>			
6%	9,40%	9,31	2.463.497 €
7%	9,40%	9,31	1.442.532 €
8%	9,40%	9,31	540.016 €
9%	9,40%	9,31	-260.908 €
10%	9,40%	9,31	-974.366 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 3000 κυβικών μέτρων</b>			
6%	8,34%	10,54	3.700.891 €
7%	8,34%	10,54	1.976.733 €
8%	8,34%	10,54	472.991 €
9%	8,34%	10,54	-843.550 €
10%	8,34%	10,54	-2.000.542 €

Πίνακας 90 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας Κόστους Επένδυσης

<b>Κόστος Επένδυσης</b>			
	<b>IRR</b>	<b>PBP</b>	<b>NPV</b>
<b>Τελική Ταμειακή Ροή</b>			
-20%	13,37%	13,03	14.732.257 €
-10%	11,95%	13,90	11.420.058 €
0%	10,67%	14,77	8.107.859 €
10%	9,51%	15,66	4.795.660 €
20%	8,45%	16,55	1.483.461 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 1000 m<sup>3</sup></b>			
-20%	13,56%	7,29	3.616.598 €
-10%	11,32%	8,41	2.078.307 €
0%	9,40%	9,31	540.016 €
10%	7,72%	10,25	-998.276 €
20%	6,22%	11,39	-2.536.567 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 3000 m<sup>3</sup></b>			
-20%	12,00%	8,23	4.781.639 €
-10%	10,05%	9,34	2.641.376 €
0%	8,34%	10,54	472.991 €
10%	6,83%	11,82	-1.695.393 €
20%	5,47%	13,20	-3.863.778 €

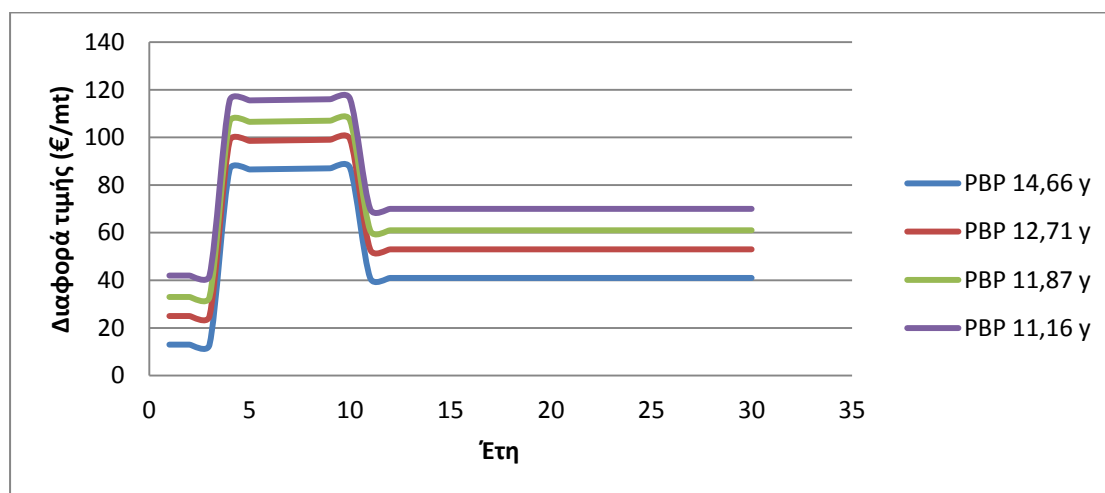
Πίνακας 91 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας Τιμής Καυσίμου Ντίζελ

Τιμή MDO			
	IRR	PBP	NPV
<b>Τελική Ταμειακή Ροή</b>			
-30%	2,35%	25,45	- 28.614.449 €
-15%	7,53%	18,08	- 1.977.755 €
0%	10,67%	14,77	8.107.859 €
15%	18,91%	9,33	30.850.946 €
30%	26,89%	7,06	47.265.401 €

Πίνακας 92 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας Τελών

Τέλη			
	IRR	PBP	NPV
<b>Τελική Ταμειακή Ροή</b>			
2 €/mt	10,67%	14,77	8.107.859 €
0 €/mt	11,91%	14,06	12.236.264 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 1000 m<sup>3</sup></b>			
2 €/mt	9,40%	9,31	540.016 €
0 €/mt	10,96%	8,72	2.009.862 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 3000 m<sup>3</sup></b>			
2 €/mt	8,34%	10,54	473.436 €
0 €/mt	9,67%	9,58	2.369.281 €

Στο Διάγραμμα 46 παρουσιάζονται τα προφίλ της διαφοράς τιμής πώλησης από αγορά LNG κάθε έτους για όλη τη διάρκεια ζωής της επένδυσης και τα χρόνια αποπληρωμής που προκύπτουν σε κάθε περίπτωση. Τα χρόνια αποπληρωμής εμφανίζονται στο πλάι.



Διάγραμμα 46 Διαφορές τιμών LNG πώλησης από αγορά κάθε έτους και χρόνια αποπληρωμής

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι το δάνειο και η επιχορήγηση είναι δύο παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά τα IRR και NPV της επένδυσης. Αν το επιτόκιο αναγωγής φτάσει το 9% και 10%, παρότι η επένδυση συνεχίζει να είναι συμφέρουσα, πιθανόν να θεωρηθεί το κέρδος μικρό (η NPV χαμηλή) για την πραγματοποίησή της. Τα ίδια συμπεράσματα εξάγονται και για το κόστος επένδυσης όταν φτάσει το +20%. Η αυξομείωση της τιμής του MDO επηρεάζει σημαντικά τη βιωσιμότητα της επένδυσης. Για πολύ χαμηλές τιμές του καυσίμου

MDO η επένδυση κρίνεται οικονομικά ασύμφορη. Τέλος ή ύπαρξη ή μη του τέλους ανεφοδιασμού επηρεάζει την καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης καθιστώντας ακόμα και μεμονωμένα τις επενδύσεις στον εξοπλισμό ιδιαίτερα συμφέρουσες.

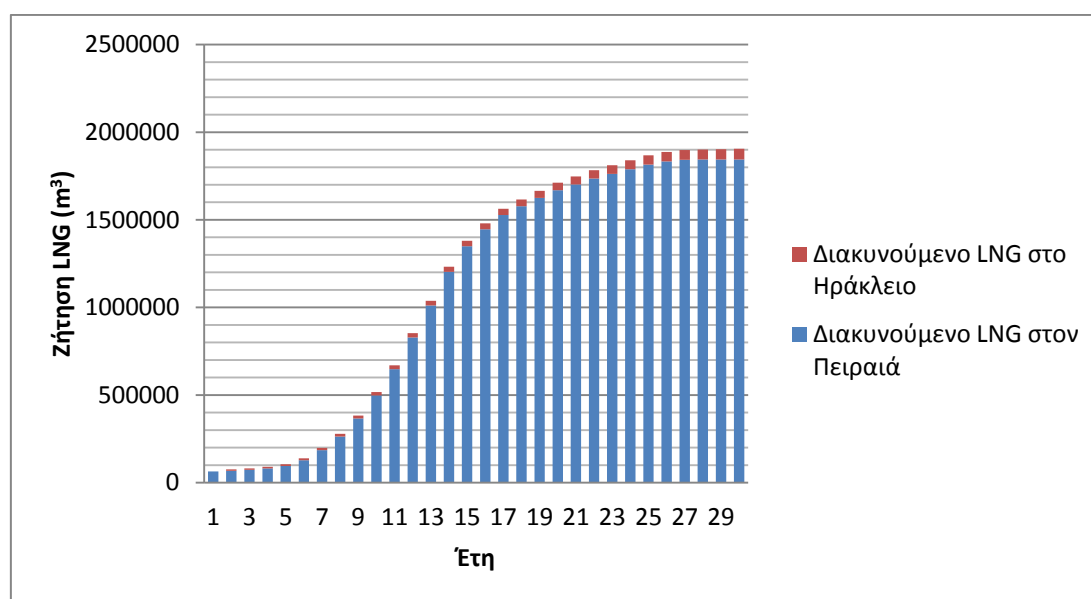
## Σενάριο Υψηλής Ζήτησης

### Διακίνηση

Για την εξέλιξη της ζήτησης έγινε η παραδοχή, ότι σε μία οκταετία η ετήσια ζήτηση στην περιοχή του Αιγαίου θα ξεπερνά τα  $200.000 \text{ m}^3$ . Η αρχικοποίηση της διακινούμενης ποσότητας καυσίμου έγινε με την παραδοχή ότι τον πρώτο χρόνο θα κινηθούν στο χώρο του Αιγαίου δύο έως πέντε πλοία με δεξαμενές μεγαλύτερης χωρητικότητας από το βασικό σενάριο, που χρησιμοποιούν το LNG ως καύσιμο. Όλα τα πλοία δεν εκτελούν δρομολόγια καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Πιο συγκεκριμένα εξαιτίας του τουρισμού στο Αιγαίο το καλοκαίρι, θεωρήθηκαν αυξημένες ανάγκες καυσίμου κατά την τουριστική περίοδο. Εξαιτίας του μικρού αριθμού των πλοίων, δυνατότητα ανεφοδιασμού για τα πρώτα δύο χρόνια υπάρχει μόνο στο λιμάνι του Πειραιά.

Η αυξανόμενη ζήτηση του LNG θα δημιουργήσει την ανάγκη του ανεφοδιασμού και από άλλα λιμάνια. Από τον τρίτο χρόνο και μετά πραγματοποιείται ανεφοδιασμός πλοίων και στο λιμάνι του Ηρακλείου, οπότε ένα ποσοστό του μεταφερόμενου καυσίμου LNG οδηγείται στο Ηράκλειο για της ανάγκες ανεφοδιασμού των πλοίων, που δεν εκτελούν δρομολόγια στον Πειραιά. Οι ρυθμοί αύξησης ζήτησης στο λιμάνι του Ηρακλείου θεωρήθηκαν μικρότεροι των ρυθμών του Πειραιά, εφόσον δέχεται ετησίως μικρότερο αριθμό κλίσεων.

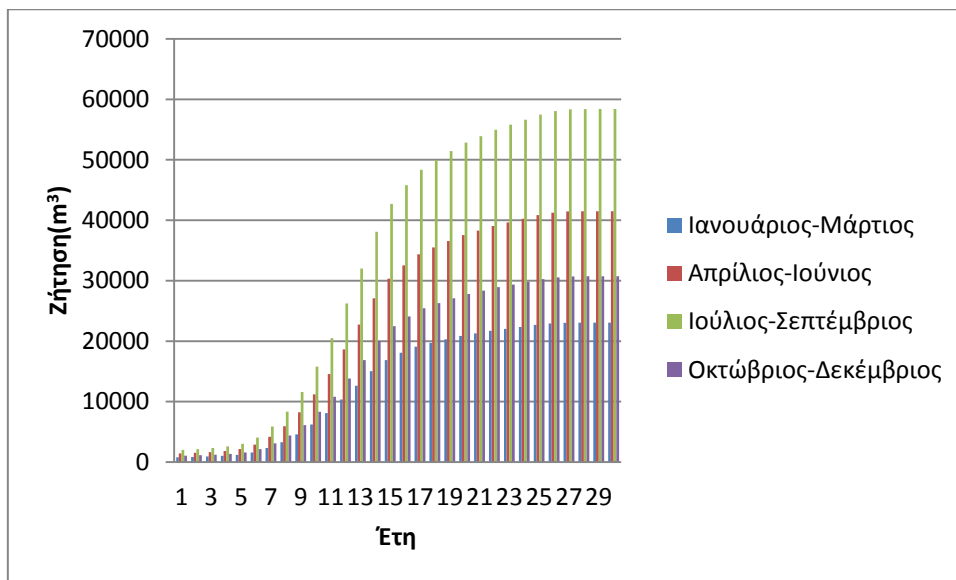
Στο Διάγραμμα 47 απεικονίζονται οι εκτιμήσεις της ετήσιας αύξησης ζήτησης στα λιμάνια του Πειραιά και του Ηρακλείου.



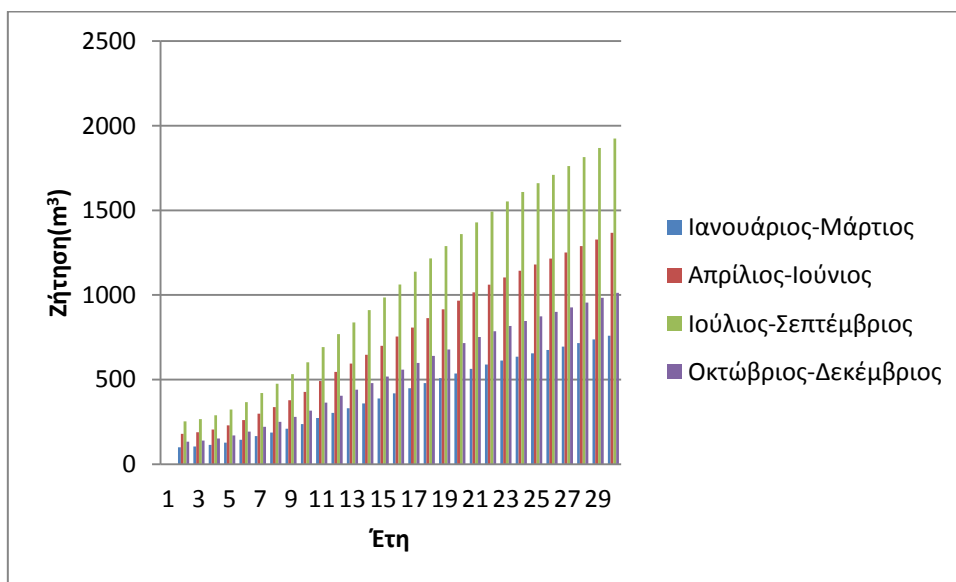
Διάγραμμα 47 Ετήσια Ζήτηση LNG στα λιμάνια του Πειραιά και του Ηρακλείου

Η ετήσια ζήτηση του καυσίμου δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένη σε όλη τη διάρκεια του έτους. Τα εκτιμώμενα ποσοστά της συνολικής ζήτησης του LNG για κάθε τετράμηνο θεωρήθηκαν ίδια με το βασικό σενάριο.

Θεωρώντας ότι το έτος έχει σαράντα οκτώ εβδομάδες, υπολογίστηκε η εβδομαδιαία ζήτηση καυσίμου ανά τετράμηνο. Η εβδομαδιαία ζήτηση στον Πειραιά και στο Ηράκλειο αποτυπώνεται στα διαγράμματα 49 και 50.



Διάγραμμα 48 Εποχική Ζήτηση LNG στο λιμάνι του Πειραιά



Διάγραμμα 49 Εποχική Ζήτηση LNG στο λιμάνι του Ηρακλείου

### Προμήθεια Καυσίμου

Για την προμήθεια καυσίμου στα δύο λιμάνια σε όλη τη διάρκεια της επένδυσης χρησιμοποιείται της εξοπλισμός με το βασικό σενάριο.

### Περιγραφή Προμήθειας Καυσίμου

Τα πρώτα τρία χρόνια η προμήθεια του LNG πραγματοποιείται αποκλειστικά με φορτηγά. Κάθε τράκτορας έχει ένα τρέιλερ, πάνω στο οποίο προσδένεται ένα container καθαρής χωρητικότητας 40 m<sup>3</sup>. Τα πρώτα δύο χρόνια η ζήτηση στον Πειραιά καλύπτεται με την αγορά οκτώ τρακτόρων και οκτώ LNG containers. Τα containers μεταφέρονται από τη Ρεβυθούσα στην απέναντι ακτή (Αγία Τριάδα) μέσω της πλοίου ανοιχτού τύπου και στη συνέχεια προσδένονται της τράκτορες και μεταφέρονται μέσω της εθνικής οδού στον Πειραιά. Τον τρίτο χρόνο για την κάλυψη της ζήτησης στον Πειραιά αγοράζεται της επιπλέον τράκτορας και ένα πρόσθετο container.

Τον πρώτο χρόνο δεν υπάρχει ζήτηση στο Ηράκλειο, οπότε μετά τον ανεφοδιασμό τα φορτηγά επιστρέφουν στη Ρεβυθούσα. Το δεύτερο χρόνο ξεκινά ο ανεφοδιασμός στο Ηράκλειο, οπότε τα containers που προορίζονται για το Ηράκλειο, αφού φτάσουν στον Πειραιά, μπαίνουν σε ένα πλοίο RoRo και μεταφέρονται δια θαλάσσης στο Ηράκλειο. Για να καλυφθεί η επιπλέον ζήτηση απαιτούνται άλλα δύο containers τον πρώτο χρόνο ανεφοδιασμού στο Ηράκλειο (2<sup>ος</sup> χρόνος συνολικά) και δύο τον επόμενο. Μόλις φτάσει το RoRo στο Ηράκλειο αφήνει τα νέα containers και παραλαμβάνει εκείνα που είχε αφήσει την προηγούμενη φορά. Λόγω αυτού του τρόπου διαχείρισης του εξοπλισμού του ανεφοδιασμού στο Ηράκλειο, αγοράζονται τα διπλάσια containers από τα απαιτούμενα βάσει της ζήτησης.

Τον τέταρτο χρόνο, εξαιτίας του μεγάλου αριθμού φορτηγών που απαιτείται για να καλυφθεί η ζήτηση του λιμένα του Πειραιά, ξεκινά η μεταφορά του LNG με πλοίο ανεφοδιασμού. Το πλοίο ανεφοδιασμού έχει χωρητικότητα 1000 m<sup>3</sup> και καλύπτει τη συνολική ζήτηση στο Αιγαίο. Τον τέταρτο χρόνο χτίζεται στο Ηράκλειο μια δεξαμενή αποθήκευσης LNG με χωρητικότητα 500 m<sup>3</sup>. Η επιλογή της δεξαμενής έγινε με βάση την ασφάλεια παροχής για τη μέγιστη διακινούμενη ποσότητα του συγκεκριμένου έτους και την εκτίμηση αύξησης της ζήτησης τα επόμενα έτη.

Τον όγδοο χρόνο για τη μεταφορά του LNG από τη Ρεβυθούσα στον Πειραιά χρησιμοποιείται και ένα δεύτερο πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup>. Η χωρητικότητα επιλέχθηκε τέτοια με την προοπτική της ετήσιας αυξανόμενης ζήτησης στο λιμάνι. Για τον ανεφοδιασμό στον Πειραιά χρησιμοποιούνται και τα δύο πλοία, ενώ ο ανεφοδιασμός στο Ηράκλειο πραγματοποιείται αποκλειστικά από το πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 m<sup>3</sup>.

Το δωδέκατο έτος χτίζεται δεύτερη δεξαμενή αποθήκευσης στο Ηράκλειο, επειδή το πλοίο ανεφοδιασμού εκτελεί δρομολόγιο με προορισμό το Ηράκλειο μία φορά την εβδομάδα μέχρι το έτος δεκαέξι. Επειδή τα πλοία ανεφοδιάζονται στο λιμάνι καθ' όλη τη διάρκεια της εβδομάδας απαιτείται η κατασκευή της δεξαμενής, ώστε να είναι δυνατή η αποθήκευση της διακινούμενης ποσότητας και να υπάρχει ασφάλεια παροχής

Το δέκατο τρίτο έτος εξαιτίας της αυξημένης ζήτησης στον Πειραιά το πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000m<sup>3</sup> εκτελεί τρία δρομολόγια κάθε φορά που ανεφοδιάζει.

Το δέκατο όγδοο έτος στο Ηράκλειο χτίζεται Τρίτη δεξαμενή της χωρητικότητας με της προηγούμενες.

Εγκατάσταση δεξαμενής δεν προβλέπεται στον Πειραιά λόγω έλλειψης χώρου και πρόθεσης αποφυγής διαμαρτυριών των πολιτών.

Όσον αφορά στη μεταφορά του καυσίμου με φορτηγά στον Πειραιά και στο Ηράκλειο παρουσιάζονται ο αριθμός των containers που χρησιμοποιούνται σε κάθε ανεφοδιασμό και η συχνότητα ανεφοδιασμού ανά βδομάδα στους πίνακες 93 και 94.

**Πίνακας 93 Πίνακας Φορτηγών LNG ανά Χρόνο και Τετράμηνο στον Πειραιά**

<b>Αριθμός Φορτηγών Ανεφοδιασμού στο Λιμάνι του Πειραιά</b>				
<b>Χρόνος</b>	Ιανουάριος – Μάρτιος	Απρίλιος – Ιούνιος	Ιούλιος – Σεπτέμβριος	Οκτώβριος – Δεκέμβριος
<b>1</b>	3	6	8	4
<b>2</b>	4	6	8	5
<b>3</b>	4	6	9	5

Σημείωση: Όλα τα έτη οι ημέρες ανεφοδιασμού είναι 7

**Πίνακας 94 Πίνακας Φορτηγών LNG ανά Χρόνο και Τετράμηνο στο Ηράκλειο**

<b>Αριθμός Φορτηγών Ανεφοδιασμού στο Λιμάνι του Ηρακλείου</b>				
<b>Χρόνος</b>	Ιανουάριος – Μάρτιος	Απρίλιος – Ιούνιος	Ιούλιος – Σεπτέμβριος	Οκτώβριος – Δεκέμβριος
<b>1</b>	0	0	0	0
<b>2</b>	1	2	2	1
<b>3</b>	2	2	4	2

Σημείωση: Το 2<sup>ο</sup> έτος οι ημέρες ανεφοδιασμού είναι 3 και το 3<sup>ο</sup> 5

Επειδή η ζήτηση σε αυτό το σενάριο δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, μέρη του απαιτούμενου εξοπλισμού αγοράζονται (ή νοικιάζονται) σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Στον πίνακα 95 παρουσιάζονται συνοπτικά τα χρονικά σημεία αγοράς (ή ενοικίασης) τμημάτων του απαραίτητου εξοπλισμού για την προμήθεια.

**Πίνακας 95 Χρόνος Αγοράς Εξοπλισμού**

<b>Χρόνος Επένδυσης</b>	<b>Αγορά Εξοπλισμού</b>
<b>1</b>	1 πλοίο ανοικτού τύπου 8 τράκτορες και τρέιλερ 8 containers
<b>2</b>	1 τράκτορας και τρέιλερ 4 containers
<b>3</b>	4 containers
<b>4</b>	Πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 $m^3$ Δεξαμενή χωρητικότητας 500 $m^3$
<b>8</b>	Πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 $m^3$
<b>12</b>	Δεξαμενή χωρητικότητας 500 $m^3$
<b>18</b>	Δεξαμενή χωρητικότητας 500 $m^3$

Με την πάροδο των ετών και ανάλογα με τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται μεταβάλλεται η διάρκεια της προμήθειας του καυσίμου εξαιτίας τόσο της διαφορετικής δικυνομένης ποσότητας όσο και των διαφορετικών ρυθμών πλήρωσης και ανεφοδιασμού του εξοπλισμού και της διαφορετικής ταχύτητας των μέσων μεταφοράς. Τα πρώτα δύο έτη η συνολική διάρκεια είναι περίπου 3 h. Η διάρκεια συνεχώς αυξάνεται. Κατά τα δέκα χρόνια η συνολική διάρκεια είναι 30 h και μετά τα δεκαπέντε έτη φτάνει περίπου τις 50 h. Η διάρκεια της πλήρωσης των φορτηγών διαρκεί από 2 έως 3,5 h, του πλοίου ανεφοδιασμού με

χωρητικότητα 1000 m<sup>3</sup> 2-6 h και των πλοίων ανεφοδιασμού μαζί 8-10 h. Τα πρώτα 2 χρόνια ο ανεφοδιασμός στο Ηράκλειο διαρκεί από 0,2 h έως 2,5 h, ενώ στη συνέχεια η διάρκεια κυμαίνεται μεταξύ 0,2 και 2,5 ωρών. Στον Πειραιά η διάρκεια ανεφοδιασμού τα πρώτα 2 χρόνια είναι περίπου 1 h. Με τη χρήση του πλοίου ανεφοδιασμού η διάρκεια ίναι 1-5 h. Όταν ως εξοπλισμός χρησιμοποιούνται και τα δύο πλοία ανεφοδιασμού έως τα 17 έτη η διάρκεια κυμαίνεται μεταξύ 5 και 12 ωρών, ενώ μετά τα 17 έτη μεταξύ 11-14 h.

### Ταμειακή Ροή

Οι ταμειακές ροές καταρτίστηκαν με τον ίδιο τρόπο, της στο βασικό σενάριο. Εφόσον χρησιμοποιήθηκε ο της εξοπλισμός θεωρήθηκαν τα ίδια κόστη επένδυσης και τα ίδια λειτουργικά κόστη. Για τον προσδιορισμό της τιμής πώλησης ακολουθήθηκε ξανά η ίδια λογική, δηλαδή στόχος υπήρξε να καθίσταται συμφέρουσα τόσο η συνολική επένδυση όσο και η κάθε επιμέρους επένδυση σε εξοπλισμό.

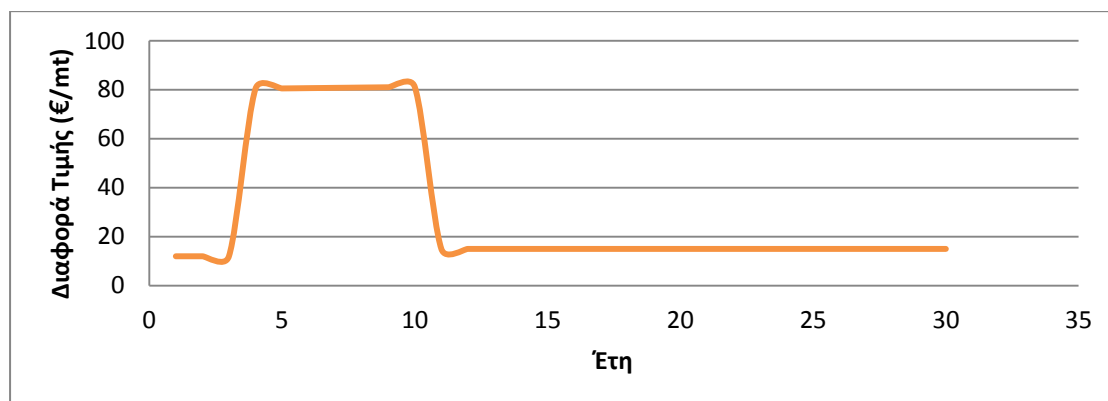
Στον πίνακα 96 παρουσιάζεται η απαιτούμενη διαφορά τιμής κάθε επένδυσης και οι τιμές των δεικτών αξιολόγησής της.

**Πίνακας 96 Αποτελέσματα Ταμειακών Ροών ανά Επένδυση Εξοπλισμού**

	<b>Επενδύσεις σε Εξοπλισμό</b>		
	Φορηγά LNG	Πλοίο Ανεφοδιασμού 1000 m <sup>3</sup>	Πλοίο Ανεφοδιασμού 3000 m <sup>3</sup>
<b>Διαφορά τιμής</b>	42,3	45	8
<b>Ποσοστό αύξησης τιμής</b>	11,84%	11,44%	1,74%
<b>NPV</b>	-	23.214.460	32.662.800
<b>IRR</b>	-	10,34%	9,6%
<b>PBP</b>	-	7,94	4,36

Η τελική τιμή πώλησης διαμορφώνεται προσθέτοντας στην τιμή αγοράς του LNG τη διαφορά τιμής που προέκυψε από την ταμειακή ροή του εκάστοτε χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού ή το άθροισμα των τιμών αν χρησιμοποιείται εξοπλισμός από δύο διαφορετικές επενδύσεις (επένδυση σε φορηγά, σε πλοίο ανεφοδιασμού 3.000 m<sup>3</sup> ή σε πλοίο ανεφοδιασμού 1.000 m<sup>3</sup>) και αφαιρώντας ένα σταθερό ποσό (30€) προκειμένου να διατηρείται η τιμή πώλησης του LNG της πλοιοκτίτες συμφέρουσα. Πιο συγκεκριμένα αυτό ακολουθείται από το πρώτο έως το τρίτο έτος και από το δέκατο τρίτο έτος έως το τέλος. Από το τέταρτο έως το δέκατο έτος, επειδή η τιμή του LNG είτε έφτασε είτε ξεπέρασε την τιμή του ντίζελ, από την τιμή του καυσίμου ντίζελ αφαιρέθηκε το ποσό των 30€ προκειμένου το LNG να είναι ανταγωνιστικό έναντι του ντίζελ.

Η διαφορά της τιμής πώλησης του LNG σε σχέση με την τιμή αγοράς κάθε έτους για όλη τη διάρκεια ζωής της επένδυσης και τα στοιχεία αξιολόγησης της επένδυσης παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 50 και στον Πίνακα 97.



Διάγραμμα 50 Διαφορά τιμής πώλησης LNG με τιμή αγοράς κάθε έτους

Πίνακας 97 Αποτελέσματα Ταμειακής Ροής

Αποτελέσματα Ταμειακής Ροής	
<b>NPV</b>	11.350.190
<b>IRR</b>	11,78%
<b>PBP</b>	14,16

### Ταμειακή Ροή για Ενοικίαση Εξοπλισμού

Η ταμειακή ροή δημιουργήθηκε με τον ίδιο τρόπο. Εφόσον ο εξοπλισμός είναι ο της, ως τιμές ενοικίασης θεωρήθηκαν οι της. Τα αποτελέσματα της ταμειακής ροής παρουσιάζονται στον πίνακα 98.

Πίνακας 98 Αποτελέσματα Ταμειακής Ροής για Ενοικίαση Εξοπλισμού

Αποτελέσματα Ταμειακής Ροής	
<b>NPV</b>	43.498.057
<b>IRR</b>	30,36%
<b>PBP</b>	14,16

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι και στο σενάριο υψηλής ζήτησης συμφέρει η ενοικίαση των πλοίων ανεφοδιασμού έναντι της αγοράς της.

### Ανάλυση Ευαισθησίας

Στους πίνακες 99-104 δίνονται τα στοιχεία αξιολόγησης της συνολικής επένδυσης, αλλά και των επενδύσεων στα δύο πλοία ανεφοδιασμού για διάφορες τιμές του ποσοστού του δανείου, της επιδότησης, του επιτοκίου αναγωγής, του κόστους επένδυσης, της τιμής του καυσίμου ντίζελ και των τελών, προκειμένου να φανεί η επίδραση των παραγόντων αυτών στην επένδυση.



Πίνακας 99 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας Ποσοστού Δανείου

<b>Ποσοστό Δανείου</b>			
	<b>IRR</b>	<b>PBP</b>	<b>NPV</b>
<b>Τελική Ταμειακή Ροή</b>			
20%	12,03%	14,01	12.723.596 €
30%	11,64%	14,23	11.043.101 €
40%	11,51%	14,33	9.976.784 €
50%	11,20%	14,55	8.603.378 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 1000 m<sup>3</sup></b>			
20%	10,62%	7,94	2.871.863 €
30%	10,34%	7,94	2.214.461 €
40%	9,96%	7,94	1.558.296 €
50%	9,39%	7,94	902.130 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 3000 m<sup>3</sup></b>			
20%	9,96%	2,43	4.344.663 €
30%	9,60%	4,36	3.262.801 €
40%	9,17%	5,87	2.181.375 €
50%	8,65%	7,21	1.099.950 €

Πίνακας 100 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας Επιχορήγησης

<b>Επιχορήγηση</b>			
	<b>IRR</b>	<b>PBP</b>	<b>NPV</b>
<b>Τελική Ταμειακή Ροή</b>			
5%	12,42%	13,58	13.042.698 €
10%	13,08%	13,02	14.735.207 €
15%	13,76%	12,36	16.427.715 €
20%	14,47%	9,94	18.120.224 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 1000 m<sup>3</sup></b>			
5%	11,50%	7,52	3.185.903 €
10%	12,78%	7,11	4.157.345 €
15%	14,17%	6,61	5.128.786 €
20%	15,71%	6,11	6.100.228 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 3000 m<sup>3</sup></b>			
5%	10,45%	4,11	4.790.014 €
10%	11,38%	3,81	6.317.228 €
15%	12,42%	3,47	5.128.786 €
20%	13,57%	3,20	9.371.656 €

Πίνακας 101 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας Επιτοκίου Αναγωγής

<b>Επιτόκιο Αναγωγής</b>			
	<b>IRR</b>	<b>PBP</b>	<b>NPV</b>
<b>Τελική Ταμειακή Ροή</b>			

6%	11,64%	14,23	22.334.521 €
7%	11,64%	14,23	16.239.832 €
8%	11,64%	14,23	11.043.101 €
9%	11,64%	14,23	7.415.009 €
10%	11,64%	14,23	4.239.054 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 1000 m<sup>3</sup></b>			
6%	10,34%	7,94	4.804.628 €
7%	10,34%	7,94	3.411.431 €
8%	10,34%	7,94	2.214.461 €
9%	10,34%	7,94	1.179.518 €
10%	10,34%	7,94	279.120 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 3000 m<sup>3</sup></b>			
6%	9,60%	4,36	8.643.599 €
7%	9,60%	4,36	5.744.023 €
8%	9,60%	4,36	3.262.801 €
9%	9,60%	4,36	1.132.130 €
10%	9,60%	4,36	-703.811 €

Πίνακας 102 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας Κόστους Επένδυσης

<b>Κόστος Επένδυσης</b>			
	IRR	PBP	NPV
<b>Τελική Ταμειακή Ροή</b>			
-20%	14,61%	9,82	17.835.582 €
-10%	13,04%	13,10	14.439.342 €
0%	11,64%	14,23	11.043.101 €
10%	10,39%	15,25	7.646.860 €
20%	9,26%	16,22	4.250.619 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 1000 m<sup>3</sup></b>			
-20%	14,61%	6,56	5.347.709 €
-10%	12,30%	7,31	3.781.085 €
0%	10,34%	7,94	2.214.461 €
10%	8,64%	8,56	647.837 €
20%	7,14%	9,82	-918.788 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 3000 m<sup>3</sup></b>			
-20%	12,37%	3,31	7.872.952 €
-10%	10,90%	3,90	5.574.422 €
0%	9,60%	4,36	3.262.801 €
10%	8,44%	4,86	940.677 €
20%	7,39%	5,21	-1.381.447 €

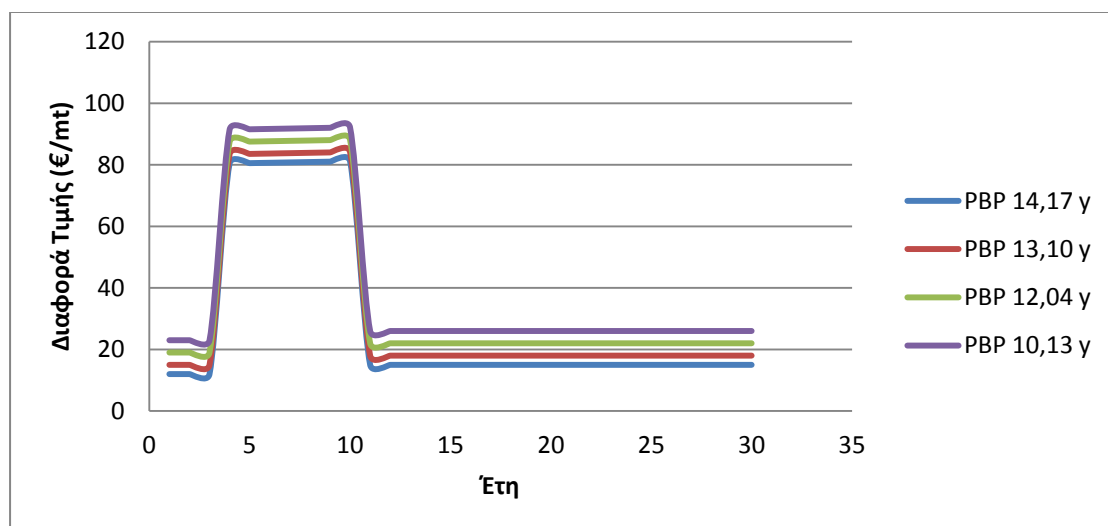
Πίνακας 103 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας Τιμής Καυσίμου Ντίζελ

Τιμή MDO			
	IRR	PBP	NPV
<b>Τελική Ταμειακή Ροή</b>			
-30%	-	28,06	- 41.490.644 €
-15%	5,59%	21,32	- 10.432.960 €
0%	11,64%	14,23	11.043.101 €
15%	22,40%	8,46	35.375.795 €
30%	33,66%	6,32	58.280.277 €

Πίνακας 104 Αποτελέσματα Ανάλυσης Ευαισθησίας Τελών

Τέλη			
	IRR	PBP	NPV
<b>Τελική Ταμειακή Ροή</b>			
2 €/mt	11,64%	14,23	11.043.101 €
0 €/mt	12,87%	13,40	15.171.505 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 1000 m<sup>3</sup></b>			
2 €/mt	10,34%	7,94	2.214.461 €
0 €/mt	15,02%	7,31	9.192.855 €
<b>Ταμειακή Ροή Πλοίου Ανεφοδιασμού 3000 m<sup>3</sup></b>			
2 €/mt	9,60%	4,36	3.262.801 €
0 €/mt	10,50%	3,48	5.166.496 €

Στο Διάγραμμα 51 παρουσιάζονται τα προφίλ διαφοράς τιμής πώλησης από αφορά για το LNG και τα χρόνια αποπληρωμής που προκύπτουν σε κάθε περίπτωση.



Διάγραμμα 51 Διαφορά τιμής πώλησης LNG από τιμή αγοράς κάθε έτους και χρόνια αποπληρωμής

Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με το βασικό σενάριο με τη διαφορά ότι ακόμα και για υψηλές τιμές επιτοκίου αναγωγής και κόστους επένδυσης η NPV παραμένει ιδιαίτερα υψηλή.

Η επένδυση προκύπτει οικονομικά ασύμφωρη στην περίπτωση που η τιμή του MDO γίνει αρκετά χαμηλή.

## Κεφάλαιο 5

## Προσομοίωση και Μελέτη των Μεθόδων Προμήθειας μέσω της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται μία συγκριτική ανάλυση κύκλου ζωής των μεθόδων μεταφοράς και ανεφοδιασμού του καυσίμου από το σταθμό εισαγωγής (receiving terminal) έως το επιβατηγό πλοίο στο λιμάνι, αποσκοπώντας στην εξεύρεση της φιλικότερης προς το περιβάλλον μεθόδου προμήθειας του LNG και στην αποτύπωση της επίπτωσης που έχει στο περιβάλλον.

### 5.1 Προσομοίωση των Μεθόδων Προμήθειας Καυσίμου LNG

Για τη συγκριτική ανάλυση εξετάστηκαν δέκα περιπτώσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας του LNG. Τα σενάρια προμήθειας παρουσιάζονται σε οκτώ μοντέλα του λογισμικού SimaPro (assemblies). Κάθε ένα περιέχει τον εξοπλισμό και τις διεργασίες που πραγματοποιούνται κατά την εξέταση της αλυσίδας προμήθειας του LNG. Οι διαδικασίες αποτελούνται από την πλήρωση του μέσου μεταφοράς με καύσιμο (container ή δεξαμενή), τη μεταφορά του καυσίμου, την αποθήκευση σε δεξαμενή στο λιμάνι του Ηρακλείου (αν λαμβάνει χώρα αποθήκευση καυσίμου) και τον ανεφοδιασμό των πλοίων με καύσιμο.

Ο εξοπλισμός διαφοροποιείται ανάλογα με την περίπτωση. Ο συνολικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνει δύο πλοία ανεφοδιασμού (bunker vessels), ένα με χωρητικότητα  $1000\text{ m}^3$  και ένα με  $3000\text{ m}^3$ , φορτηγά κινούμενα με υγροποιημένο φυσικό αέριο (tanker trucks), ένα πλοίο ανοιχτού τύπου (open type vessel), ένα οχηματαγωγό πλοίο (RoRo vessel), LNG containers χωρητικότητας  $40\text{ m}^3$ , δεξαμενές αποθήκευσης χωρητικότητας  $500\text{ m}^3$  και σωληνώσεις σύνδεσης της δεξαμενής αποθήκευσης με τη δεξαμενή του πλοίου. Για την κατάστρωση των περιπτώσεων χρησιμοποιήθηκαν ο διαθέσιμος εξοπλισμός και τα μοντέλα από τη βιβλιοθήκη του SimaPro με τις κατάλληλες τροποποιήσεις, όπου κρίθηκε απαραίτητο, ενώ τα δεδομένα που έλειπαν λήφθηκαν από τη βιβλιογραφία.

Οι περιπτώσεις που καταστρώθηκαν έχουν στόχο να περιγράψουν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και την πιο αντιπροσωπευτική τμηματοποίηση τους τρόπους προμήθειας του καυσίμου, δίνοντας έμφαση τόσο στις κοινές όσο και στις διαφορετικές διαδικασίες. Απώτερο σκοπό συνιστά ο προσδιορισμός του τρόπου προμήθειας που παρέχει το μικρότερο δυνατό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, καθώς και των παραμέτρων, που επηρεάζουν σημαντικά την περιβαλλοντική επίδοση της μεταφοράς ή του ανεφοδιασμού.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι περιπτώσεις που καταστρώθηκαν. Η μελέτη του αποτυπώματος έγινε για ποσότητες μεταφοράς συνεπείς προς τον τρόπο μεταφοράς που επιλέχθηκε στο οικονομοτεχνικό μέρος της μελέτης.

- Περίπτωση 1: Μεταφορά και ανεφοδιασμός  $1000$  κυβικών μέτρων στο λιμάνι του Πειραιά με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας  $1000$  κυβικών μέτρων.
- Περίπτωση 2: Μεταφορά και ανεφοδιασμός  $5000$  κυβικών μέτρων στο λιμάνι του Πειραιά με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας  $1000$  και  $3000$  κυβικών μέτρων.
- Περίπτωση 3: Μεταφορά και ανεφοδιασμός  $10000$  κυβικών μέτρων στο λιμάνι του Πειραιά με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας  $1000$  και  $3000$  κυβικών μέτρων.
- Περίπτωση 4: Μεταφορά και ανεφοδιασμός καυσίμου στο λιμάνι του Πειραιά  $1000$  κυβικών μέτρων με πλοίο ανοιχτού τύπου και φορτηγά

- Περίπτωση 5: Μεταφορά και ανεφοδιασμός στο λιμάνι του Πειραιά 1000 κυβικών μέτρων με οχηματαγωγό πλοίο και containers.
- Περίπτωση 6: Μεταφορά και ανεφοδιασμός 1000 κυβικών μέτρων απευθείας στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 κυβικών μέτρων.
- Περίπτωση 7: Μεταφορά και ανεφοδιασμός στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 κυβικών μέτρων.
- Περίπτωση 8: Μεταφορά και ανεφοδιασμός 1000 κυβικών μέτρων στο λιμάνι του Πειραιά με πλοίο ανοιχτού τύπου και φορτηγά και στη συνέχεια με οχηματαγωγό πλοίο στο λιμάνι του Ηρακλείου.
- Περίπτωση 9: Μεταφορά και ανεφοδιασμός 10000 κυβικών μέτρων στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια του Ηρακλείου με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 και 3000 κυβικών μέτρων.
- Περίπτωση 10: Μεταφορά και ανεφοδιασμός 10000 κυβικών μέτρων στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια 1000 κυβικών μέτρων στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 και 3000 κυβικών μέτρων.

Κάθε περίπτωση συντίθεται από ξεχωριστές διαδικασίες και εξοπλισμό. Τα μοντέλα των συνολικών διαδικασιών και του απαιτούμενου εξοπλισμού που απαντώνται στο σύνολο των περιπτώσεων παρουσιάζονται παρακάτω.

#### Πλήρωση Πλοίου Ανεφοδιασμού

Αποτελεί τη διαδικασία πλήρωσης του πλοίου ανεφοδιασμού με LNG. Η *λειτουργική μονάδα* της διαδικασίας είναι το ένα κυβικό μέτρο LNG. Θεωρείται ότι κατά τη διαδικασία της πλήρωσης του πλοίου διαφεύγει το **0,13%** του υγροποιημένου αερίου. Στο πλοίο υπάρχει σύστημα διαχείρισης των διαφυγόντων αερίων που αιχμαλωτίζει και επιστρέφει το **95%** αυτών.[106] Η εκροή της διαδικασίας είναι η απελευθέρωση καθαρού μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Το διαφυγόν μεθάνιο παρουσιάζεται στο λογισμικό σε  $\text{kg/m}^3$ . Θεωρήθηκε πυκνότητα καυσίμου  $450 \text{ kg/m}^3$ .

**Πίνακας 105 Εκπομπές κατά την πλήρωση του πλοίου ανεφοδιασμού[106]**

<b>Εκπομπές κατά την Πλήρωση</b>	
Ποσοστό διαφυγόντος αερίου	0,13%
Ποσοστό ανάκτησης αερίου	95%

#### Πλήρωση Φορτηγού

Αποτελεί τη διαδικασία πλήρωσης του container με LNG και την πρόσδεση του τρέιλερ στον τράκτορα. Η *λειτουργική μονάδα* είναι το ένα κυβικό μέτρο LNG. Θεωρείται ότι κατά τη διαδικασία της πλήρωσης διαφεύγει το **0,74%** του υγρού, υπό μορφή αερίου. Κατά την πλήρωση χρησιμοποιείται σύστημα διαχείρισης διαφυγόντων αερίων. Το σύστημα αυτό δεσμεύει, επανυγροποιεί και επιστρέφει στη δεξαμενή το **95%** των διαφυγόντων αερίων.[106] Η εκροή της διαδικασίας είναι η απελευθέρωση καθαρού μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Το διαφυγόν μεθάνιο παρουσιάζεται στο λογισμικό σε  $\text{kg/m}^3$ . Θεωρήθηκε πυκνότητα καυσίμου  $450 \text{ kg/m}^3$ .

Πίνακας 106 Εκπομπές κατά την πλήρωση του φορτηγού μεταφοράς[106]

Εκπομπές κατά την Πλήρωση	
Ποσοστό διαφυγόντος αερίου	0,74%
Ποσοστό ανάκτησης	95%

#### Ανεφοδιασμός Καυσίμου χωρίς Αποθήκευση

Αποτελεί τη διαδικασία ανεφοδιασμού ship-to-ship ή truck-to-ship. Η λειτουργική μονάδα είναι το ένα κυβικό μέτρο LNG. Θεωρείται ότι κατά τη διαδικασία του ανεφοδιασμού διαφεύγει στην ατμόσφαιρα το **0,22%** της συνολικής μάζας καυσίμου προς ανεφοδιασμό.[106] Η εκροή της διαδικασίας είναι η απελευθέρωση καθαρού μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Το μεθάνιο που απελευθερώνεται παρουσιάζεται στο λογισμικό σε  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Θεωρήθηκε πυκνότητα καυσίμου  $450 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

#### Αποθήκευση Καυσίμου

Συνδέεται με τη διαδικασία ανεφοδιασμού shore-to-ship. Η λειτουργική μονάδα είναι το ένα κυβικό μέτρο LNG. Το υγροποιημένο φυσικό αέριο αποθηκεύεται σε μία δεξαμενή στο λιμάνι πριν χρησιμοποιηθεί για τον ανεφοδιασμό. Εδώ έχουν ληφθεί υπόψη και τα διαφυγόντα αέρια κατά τη διάρκεια των ημερών αποθήκευσης. Υπολογίζονται τρεις ημέρες αποθήκευσης. Κάθε μέρα ατμοποιείται το **0,15%** του συνολικά αποθηκευμένου καυσίμου. Όμως, υπάρχει σύστημα διαχείρισης των διαφυγόντων αερίων, που δεσμεύει και επανυγροποιεί το **95%** αυτών.[106] Η εκροή της διαδικασίας είναι τόσο η απελευθέρωση καθαρού μεθανίου στην ατμόσφαιρα λόγω της αποθήκευσης όσο και η απελευθέρωση αερίων του θερμοκηπίου και η εναπόθεση αποβλήτων εξαιτίας της κατασκευής της δεξαμενής αποθήκευσης. Τα αέρια του θερμοκηπίου παρουσιάζονται στο λογισμικό σε  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Θεωρήθηκε πυκνότητα καυσίμου  $450 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

Πίνακας 107 Εκπομπές κατά τον Ανεφοδιασμό και την Αποθήκευση[106]

Εκπομπές κατά τον Ανεφοδιασμό και την Αποθήκευση	
Διαφυγόν αέριο κατά την αποθήκευση	0,15%
Ποσοστό ανάκτησης αερίων κατά την αποθήκευση	95%

#### Πλοίο Ανεφοδιασμού Καυσίμου Χωρητικότητας $1.000 \text{ m}^3$

Περιλαμβάνει την κατασκευή και τη συντήρηση του πλοίου και των λιμανιών, καθώς και τη μεταφορά του καυσίμου (λειτουργία του πλοίου). Η λειτουργική μονάδα είναι η μεταφορά ενός τόνου καυσίμου κατά ένα χιλιόμετρο (τονοχιλιόμετρο). Η βιβλιοθήκη δεν περιλάμβανε πλοίο που καίει LNG ή δεξαμενόπλοιο, οπότε η δημιουργία του μοντέλου του LNG πλοίου στηρίχθηκε σε υπάρχον μοντέλο που λειτουργεί με καύσιμο ντίζελ και μεταφέρει χύδην φορτίο **1.200 τόνων**.

Για τη σύσταση του νέου μοντέλου πραγματοποιήθηκαν αλλαγές, που βασίστηκαν στο λόγο του ωφέλιμου φορτίου των πλοίων. Αυτή η προσέγγιση οδήγησε σε μετατροπές στις

ποσότητες των υλικών και της ενέργειας που απαιτούνται για την κατασκευή του LNG πλοίου. Πέραν των παραπάνω αλλαγών προστέθηκαν δύο δεξαμενές αποθήκευσης του καυσίμου χωρητικότητας  $500 m^3$ . Τα χαρακτηριστικά των δεξαμενών παρουσιάζονται παρακάτω. Στο υπό σύσταση μοντέλο θεωρήθηκαν εκπομπές καυσίμου LNG για κινητήρα διπλού καυσίμου.[107] Η σύσταση του καυσίμου[108] και οι εκπομπές λήφθηκαν από τη βιβλιογραφία. Οι εκροές είναι τα αέρια και τα απόβλητα από την κατασκευή, τη συντήρηση και τη λειτουργία του πλοίου. Θεωρήθηκε πυκνότητα καυσίμου  $450 kg/m^3$ .

Για τους υπολογισμούς θεωρήθηκαν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά του πλοίου (Πίνακας 108).

**Πίνακας 108 Στοιχεία Πλοίου Ανεφοδιασμού**

Στοιχεία Πλοίου Ανεφοδιασμού		
Ωφέλιμο Φορτίο LNG	450	tn
Ισχύς Μηχανής	1100	KW
Φορτίο Μηχανής	85%	
Απόσταση Ρεβυθούσα-Πειραιάς σε Μίλια	38,74	nm
Χιλιομετρική Απόσταση Ρεβυθούσα-Πειραιάς	62,34	km
Απόσταση Ρεβυθούσα-Ηράκλειο σε Μίλια	386,74	nm
Χιλιομετρική Απόσταση Ρεβυθούσα-Ηράκλειο	622,37	km
Ταχύτητα στο τμήμα Ρεβυθούσα-Πειραιάς	10	kn
Ταχύτητα στο τμήμα Πειραιάς-Ηράκλειο	14	kn

Το φορτίο υπολογίστηκε σε τόνους σύμφωνα με τη σχέση

$$\text{φορτίο (tn)} = \text{φορτίο (m}^3\text{)} * \text{πυκνότητα(kg/m}^3\text{)}/1000$$

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία υπολογίστηκαν οι ώρες μεταφοράς ανά δρομολόγιο και η αντίστοιχη κατανάλωση ενέργειας.

$$\text{Ωρες ταξιδιού(h)} = \frac{\text{distance(nm)}}{\text{speed(kn)}}$$

$$\text{Κατανάλωση Ενέργειας( KWh)} = \text{Ισχύς Μηχανής(KW)} * \text{Φορτίο Μηχανής} * \text{Ωρες( h)}$$

**Πίνακας 109 Ωρες Ταξιδιού και Κιλοβατώρες Λειτουργίας**

Πειραιάς	
Ωρες ταξιδιού (h)	3,87
Κατανάλωση Ενέργειας (KWh)	36,22
Ηράκλειο	
Ωρες Ταξιδιού( h)	28,73
Κατανάλωση Ενέργειας (KWh)	26863,62

Η πρόωση του πλοίου ανεφοδιασμού πραγματοποιείται με μηχανές διπλού καυσίμου (dual fuel). Οι μηχανές διπλού καυσίμου μπορούν να λειτουργήσουν με δύο καύσιμα, το ένα εκ των οποίων είναι LNG. Στη λειτουργία καύσης με LNG χρησιμοποιείται πιλοτικό καύσιμο, το οποίο συνήθως είναι το MGO (marine gas oil) σε ποσοστό 1% του συνολικού καυσίμου.



Οι εκπομπές τέτοιων κινητήρων σύμφωνα με τη βιβλιογραφία είναι οι ακόλουθες (Πίνακας 110).[109]

Πίνακας 110 Εκπομπές καύσης κινητήρων διπλού καυσίμου[107]

Εκπομπές Καύσης Πλοίων LNG		
$NO_x$	2	g/KWh
$SO_2$	0	g/KWh
$CO_2$	470	g/KWh
PM	0,01	g/KWh
$CH_4$	4	g/KWh

Δεδομένου ότι οι εκπομπές δίνονται ανοιγμένες στην κατανάλωση ενέργειας, πρέπει να αναχθούν στη λειτουργική μονάδα της διαδικασίας που είναι το τονοχιλιόμετρο (tkm). Η αναγωγή γίνεται με την ακόλουθη σχέση.

tkm= φορτίο (tn)\* διαδρομή (km)

$$\frac{g}{tkm} = \frac{g}{KWh} * KWh * \frac{1}{tkm}$$

Με τον ίδιο τρόπο ανάγεται ανά tkm και η ειδική κατανάλωση ισχύος.

Στις εκπομπές, εκτός από τα αέρια του θερμοκηπίου συμπεριλαμβάνονται επίσης εκπομπές αμμωνίας, χλωρίου και φθορίου. Για την εκτίμησή τους θεωρήθηκαν τα ακόλουθα όρια στη σύσταση του καυσίμου (Πίνακας 111).

Πίνακας 111 Σύσταση καυσίμου LNG[108]

Όρια Σύστασης Καυσίμου LNG στη Μηχανή		
Μεθάνιο, min	70%	
Υδροθείο, max	0.05%	
Υδρογόνο, max	3%	
Αμμωνία, max	25	mg/m <sup>3</sup> N
Χλώριο και Φθόριο, max	50	mg/m <sup>3</sup> N
Σωματίδια, max	50	mg/m <sup>3</sup> N

Οι εκπομπές και οι καταναλώσεις που προέκυψαν από τους παραπάνω υπολογισμούς παρουσιάζονται στον Πίνακα 112.

Πίνακας 112 Εκπομπές και Καταναλώσεις Πλοίου Ανεφοδιασμού 1000 m<sup>3</sup> σε g/tkm

Εκπομπές	Πειραιάς	Ηράκλειο	
$NO_x$	0,174	0,144	g/tkm
$SO_2$	0	0	g/tkm
$CO_2$	41,051	33,943	g/tkm
PM	0,0008	0,0007	g/tkm
$CH_4$	0,349	0,288	g/tkm
$Cl_2$	7,61E-07	6,29E-07	g/tkm
$F_2$	7,61E-07	6,29E-07	g/tkm
$NH_3$	7,61E-07	6,29E-107	g/tkm

Πλοίο Ανεφοδιασμού Καυσίμου Χωρητικότητας 3.000 m<sup>3</sup>

Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με παραπάνω με μόνη διαφοροποίηση τις διαστάσεις.

Οι εκπομπές και η κατανάλωση καυσίμου παρουσιάζονται στον Πίνακα 113.

**Πίνακας 113 Εκπομπές και Κατανάλωση Καυσίμου σε Πλοίο Ανεφοδιασμού 3000m<sup>3</sup> σε g/tkm**

Εκπομπές	Πειραιάς	
<b>NO<sub>x</sub></b>	0,07	g/tkm
<b>SO<sub>2</sub></b>	0	g/tkm
<b>CO<sub>2</sub></b>	16,61	g/tkm
<b>PM</b>	0	g/tkm
<b>CH<sub>4</sub></b>	0,14	g/tkm
<b>Cl<sub>2</sub></b>	3,08E-07	g/tkm
<b>F<sub>2</sub></b>	3,08E-07	g/tkm
<b>NH<sub>3</sub></b>	3,08E-07	g/tkm

#### Οχηματαγωγό Πλοίο (RoRo)

Περιλαμβάνει την κατασκευή του πλοίου και τη μεταφορά του καυσίμου. *Λειτουργική μονάδα* είναι η μεταφορά ενός τόνου καυσίμου κατά ένα χιλιόμετρο (τονοχιλιόμετρο). Η βιβλιοθήκη δεν περιλάμβανε πλοία RoRo, οπότε εμπλουτίστηκε με στοιχεία που λήφθηκαν από τη βιβλιογραφία.[109] Οι εκροές είναι οι εκπομπές από όλα τα παραπάνω. Τα στοιχεία που λήφθηκαν από τη βιβλιογραφία για το πλοίο RoRo παρουσιάζονται στον Πίνακα 114.

**Πίνακας 114 Στοιχεία Πλοίου RoRo[109]**

<b>Γενικά Στοιχεία Πλοίου RoRo</b>		
Ισχύς	14680	KW
Είδος Μηχανής	Dual fuel	
Πιλοτικό Καύσιμο	1% MGO	
Απόδοση	41%	
Ποσοστό Φορτίου	85%	
Λειτουργίας Μηχανής		
Χωρητικότητα Φορτίου	7200	t
Μέσο Φορτίο	6336	t
Συντελεστής Φορτίου	88%	
Αποδοτικότητα	0.0591	KWh/tkm
Κατανάλωση	0.5189	MJ fuel/tkm
Ταχύτητα	18	kn
Ταχύτητα Μηχανής	500	rpm

**Πίνακας 115 Εκπομπές Πλοίου RoRo[109]**

Εκπομπές Πλοίου RoRo			
	Εκπομπές Κατασκευής	Εκπομπές Λειτουργίας	
<b>CO<sub>2</sub></b>	8,3	54	g/MJ fuel
<b>CH<sub>4</sub></b>	0,03	0,71	g/MJ fuel
<b>N<sub>2</sub>O</b>	1,7E-04	-	g/MJ fuel
<b>NO<sub>x</sub></b>	9,5E-03	0,11	g/MJ fuel
<b>SO<sub>2</sub></b>	8,3E-04	5,6E-04	g/MJ fuel
<b>NH<sub>3</sub></b>	7,7E-07	-	g/MJ fuel
<b>PM<sub>10</sub></b>	3,2E-04	4,3E-03	g/MJ fuel
<b>NMVOOC</b>	6,9E-04	-	g/MJ fuel
<b>CO</b>	2,7E-03	-	g/MJ fuel
<b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b>	5,7E-03	7,3E-02	g/MJ fuel
<b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></b>	2,7E-02	1,9E-02	g/MJ fuel
<b>CH<sub>2</sub>O</b>	6,2E-08	-	g/MJ fuel

Οι εκπομπές ανάχθηκαν σε τονοχιλιόμετρα λειτουργίας σύμφωνα με τη σχέση  $\frac{g}{tkm} = \frac{g}{MJ} * \frac{MJ}{tkm}$ .

Στον Πίνακα 116 παρουσιάζονται οι εκπομπές του πλοίου ανοιγμένες στη λειτουργική μονάδα.

**Πίνακας 116 Εκπομπές Πλοίου RoRo ανηγμένες σε g/tkm**

	Εκπομπές Κατασκευής	Εκπομπές Λειτουργίας	
<b>CO<sub>2</sub></b>	1,77	11,49	g/tkm
<b>CH<sub>4</sub></b>	7E-03	0,15	g/tkm
<b>N<sub>2</sub>O</b>	3,61E-05	-	g/tkm
<b>NO<sub>x</sub></b>	2E-03	0,02	g/tkm
<b>SO<sub>2</sub></b>	1E-04	1E-04	g/tkm
<b>NH<sub>3</sub></b>	1,63E-07	-	g/tkm
<b>PM<sub>10</sub></b>	6,81E-05	9E-04	g/tkm
<b>NMVOOC</b>	1E-04	-	g/tkm
<b>CO</b>	5,7E-04	-	g/tkm
<b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b>	1E-03	1,5E-02	g/tkm
<b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></b>	5E-03	4E-03	g/tkm
<b>CH<sub>2</sub>O</b>	1,3E-08	11,49	g/tkm

#### Πλοίο Ανοικτού Τύπου

Η διαδικασία περιλαμβάνει την κατασκευή και τη συντήρηση του πλοίου και τη μεταφορά του καυσίμου. *Λειτουργική μονάδα* είναι η μεταφορά ενός τόνου καυσίμου κατά ένα χιλιόμετρο (τονοχιλιόμετρο). Η βιβλιοθήκη δεν περιλάμβανε πλοία ανοιχτού τύπου, οπότε χρησιμοποιήθηκαν ήδη υπάρχοντα μοντέλα της βιβλιοθήκης που χρησιμοποιούν καύσιμο ντίζελ, ώστε να προσεγγιστούν οι διαστάσεις και η λειτουργία του νέου μοντέλου με καύσιμο το LNG. Οι διαστάσεις εκτιμήθηκαν με γνώμονα το λόγο του νεκρού βάρους κάθε πλοίου. Εκροές συνιστούν τα αέρια του θερμοκηπίου και τα απόβλητα των παραπάνω διαδικασιών.

Τα στοιχεία του πλοίου ανοιχτού τύπου είναι τα παρακάτω (Πίνακας 117).

Πίνακας 117 Στοιχεία Πλοίου Ανοιχτού Τύπου

Στοιχεία Πλοίου Ανοιχτού Τύπου		
Ισχύς Μηχανής	300	KW
Ταχύτητα	5	kn
Διανύμενη Απόσταση σε Χιλιόμετρα	1	km
Διανύμενη Απόσταση σε Μίλια	0,54	nm

Τα στοιχεία εκπομπών και καυσίμου που λήφθηκαν, καθώς και οι υπολογισμοί που έγιναν, είναι όμοια με τα πλοία ανεφοδιασμού. Για τον υπολογισμό των εκπομπών θεωρήθηκε μεταφορά φορτίου LNG 450 τόνων. Στον Πίνακα 118 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ανοιγμένα στη λειτουργική μονάδα.

Πίνακας 118 Εκπομπές Πλοίου Ανοιχτού Τύπου σε g/tkm

Εκπομπές	Πειραιάς	
$NO_x$	0,12	g/tkm
$SO_2$	0	g/tkm
$CO_2$	28,18	g/tkm
PM	5E-04	g/tkm
$CH_4$	0,24	g/tkm
$Cl_2$	2,61E-13	g/tkm
$F_2$	2,61E-13	g/tkm
$NH_3$	2,66E-13	g/tkm

#### Φορτηγό LNG

Η διαδικασία περιλαμβάνει την κατασκευή και τη συντήρηση του τράκτορα, του τρέιλερ και του container και τη μεταφορά του LNG. *Λειτουργική μονάδα* είναι η μεταφορά ενός τόνου καυσίμου κατά ένα χιλιόμετρο (τονοχιλιόμετρο). Στη βιβλιοθήκη δεν περιλαμβάνονταν μοντέλα φορτηγών LNG, οπότε συστάθηκε νέο μοντέλο, το οποίο βασίστηκε σε υπάρχοντα τράκτορα με τρέιλερ. Τα χαρακτηριστικά του υπάρχοντος μοντέλου παρουσιάζονται στον πίνακα 119.

Πίνακας 119 Χαρακτηριστικά Υπάρχοντος Μοντέλου Φορτηγού

Χαρακτηριστικά υπάρχοντος Μοντέλου	
Φορτίο trailer	8 tn
Βάρος Τράκτορα	3 tn
Καύσιμο	Ντίζελ

Οι αλλαγές βασίστηκαν στους λόγους των βαρών των τρακτόρων και των φορτίων των τρέιλερ. Εκροές αποτελούν οι εκπομπές και τα απόβλητα των διαδικασιών. Στον Πίνακα 120 παρουσιάζονται τα στοιχεία του φορτηγού.

Πίνακας 120 Στοιχεία Φορτηγού LNG

Στοιχεία Φορτηγού LNG
-----------------------

Ισχύς	278	KW
Βάρος	23	tn
Ταχύτητα	60	km/h
Διανυόμενη Απόσταση	100	km

Ως εκπομπές του φορτηγού θεωρήθηκαν οι μέγιστες επιτρεπόμενες από της ευρωπαϊκής οδηγίας Euro 6. [85] [112] Στον Πίνακα 121 παρουσιάζονται τα όρια των εκπομπών.

Πίνακας 121 Όρια Εκπομπών Euro 6[85, 110][112]

Όρια Εκπομπών Κανονισμού Euro 6		
CO	4	g/KWh
NMHC	0,16	g/KWh
CH <sub>4</sub>	0,5	g/KWh
NO <sub>x</sub>	0,46	g/KWh
PM	0,01	g/KWh

Οι εκτιμώμενες εκπομπές με βάση τη λειτουργική μονάδα παρουσιάζονται στον Πίνακα 122.

Πίνακας 122 Εκπομπές Φορτηγού Μεταφοράς LNG

Εκπομπές Φορτηγού LNG		
CO	1,01	g/tkm
NMHC	0,04	g/tkm
CH <sub>4</sub>	0,13	g/tkm
NO <sub>x</sub>	0,12	g/tkm
PM	~0	g/tkm

### Σωληνώσεις

Η διαδικασία περιλαμβάνει την κατασκευή και τη συντήρηση σωληνώσεων μεταφοράς LNG υψηλής πίεσης. *Λειτουργική μονάδα* αποτελεί το χιλιόμετρο. Επειδή η βιβλιοθήκη δεν περιλάμβανε σωληνώσεις μεταφοράς κρυογονικών αερίων, έγιναν οι κατάλληλες μετατροπές στις υπάρχουσες σωληνώσεις **υψηλής πίεσης** μεταφοράς φυσικού αερίου (> 1 bar). Οι υπάρχουσες δεξαμενές μεταφέρουν **30 TJ/km** κάθε χρόνο. Η μετατροπή αφορούσε τον χάλυβα κατασκευής, εφόσον ο εξοπλισμός των κρυογονικών αερίων κατασκευάζεται από ανοξείδωτο χάλυβα.

### Δεξαμενή Πλοίου Ανεφοδιασμού

Στα πλαίσια της δημιουργίας των νέων μοντέλων πλοίων, δημιουργήθηκε η δεξαμενή των πλοίων από ήδη υπάρχουσα δεξαμενή στεριάς οργανικών ουσιών, αφού έγιναν οι κατάλληλες μετατροπές στα δεδομένα. *Λειτουργική μονάδα* είναι το part. Οι μετατροπές αφορούν τις διαστάσεις των δεξαμενών και το υλικό κατασκευής. Πιο συγκεκριμένο στην κρυογονική δεξαμενή που συστάθηκε ο χάλυβας είναι **ανοξείδωτος** και η χωρητικότητά της είναι **500 m<sup>3</sup>**. Τα χαρακτηριστικά της πρότυπης δεξαμενής παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 123 Χαρακτηριστικά Δεξαμενής Βιβλιοθήκης

Χαρακτηριστικά Δεξαμενής Βιβλιοθήκης
--------------------------------------

Χωρητικότητα	16.000 m <sup>3</sup>
Είδος Φορτίου Αποθήκευσης	Χημικά
Υλικό Κατασκευής	Χάλυβας Οπλισμένου Σκυροδέματος

### Tank Container

Το container χρησιμοποιήθηκε στο φορτηγό. Επειδή δεν υπήρχε μοντέλο LNG container στη βιβλιοθήκη, δημιουργήθηκε νέο στηριζόμενο σε δεδομένα δεξαμενής οργανικών ουσιών. Οι μετατροπές στηρίχθηκαν στη χωρητικότητα των containers, που είναι **40 m<sup>3</sup>** και έγιναν όπως παραπάνω. *Λειτουργική μονάδα* είναι το part.

### Δεξαμενή Αποθήκευσης LNG

Η δεξαμενή αποθήκευσης χρησιμοποιήθηκε στον ανεφοδιασμό με αποθήκευση του καυσίμου. Μοντέλο χειρσαίας δεξαμενής αποθήκευσης LNG δεν υπήρχε στη βιβλιοθήκη του λογισμικού, οπότε δημιουργήθηκε νέο με ίδιες διαστάσεις και τρόπο σύστασης όπως η LNG δεξαμενή πλοίου. *Λειτουργική μονάδα* είναι το part.

Η ποσότητα καυσίμου για την οποία υπολογίστηκε η περιβαλλοντική επιβάρυνση κάθε περίπτωσης της αλυσίδας ανεφοδιασμού του LNG καυσίμου δίνεται στον Πίνακα 124.

**Πίνακας 124 Όγκος Μεταφερόμενου Καυσίμου σε κάθε Περίπτωση**

Περίπτωση	Ποσότητα μεταφοράς
<b>1</b>	1000 m <sup>3</sup>
<b>2</b>	5000 m <sup>3</sup>
<b>3</b>	10000 m <sup>3</sup>
<b>4</b>	1000 m <sup>3</sup>
<b>5</b>	1000 m <sup>3</sup>
<b>6</b>	1000 m <sup>3</sup>
<b>7</b>	1000 m <sup>3</sup>
<b>8</b>	1000 m <sup>3</sup>
<b>9</b>	5000 m <sup>3</sup>
<b>10</b>	10000 m <sup>3</sup>

## 5.2 Περιγραφή και Αποτελέσματα Τρόπων Μεταφοράς και Ανεφοδιασμού

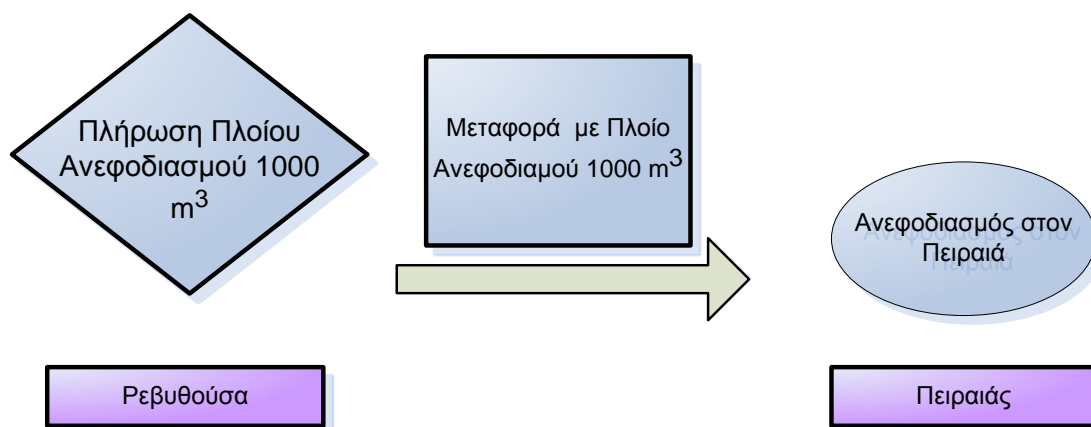
## 5.2.1 Περιγραφή Τρόπων Μεταφοράς

Για κάθε περίπτωση καταγράφονται οι επιμέρους διαδικασίες που πραγματοποιούνται και ο επιμέρους εξοπλισμός που χρησιμοποιείται. Επίσης, παρατίθεται το διάγραμμα ροής, το οποίο αποτυπώνει κατακερματισμένα τα υλικά, την ενέργεια και τις διαδικασίες που απαιτήθηκαν για τη σύνθεση της μίας μονάδας μεταφοράς και ανεφοδιασμού, καθώς και τον τρόπο που αυτά συνδέονται μεταξύ τους.

Για την αποτύπωση και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιούνται τρία διαγράμματα. Το πρώτο διάγραμμα ανά κατηγορία τον αντίκτυπο που έχει στο περιβάλλον ο εκάστοτε τρόπος μεταφοράς και ανεφοδιασμού καυσίμου. Το δεύτερο διάγραμμα απεικονίζει ανά κατηγορία το ποσοστό συμμετοχής κάθε επιμέρους τμήματος της περίπτωσης (διαδικασίας ή εξοπλισμού) στον συνολικό αντίκτυπο και το τρίτο τον συνολικό αντίκτυπο κάθε τμήματος, που συντίθεται από τον επιμέρους αντίκτυπο κάθε κατηγορίας.

### Περίπτωση 1

Μεταφορά και ανεφοδιασμός στο λιμάνι του Πειραιά  $1000 \text{ m}^3$  με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας  $1000 \text{ m}^3$ .

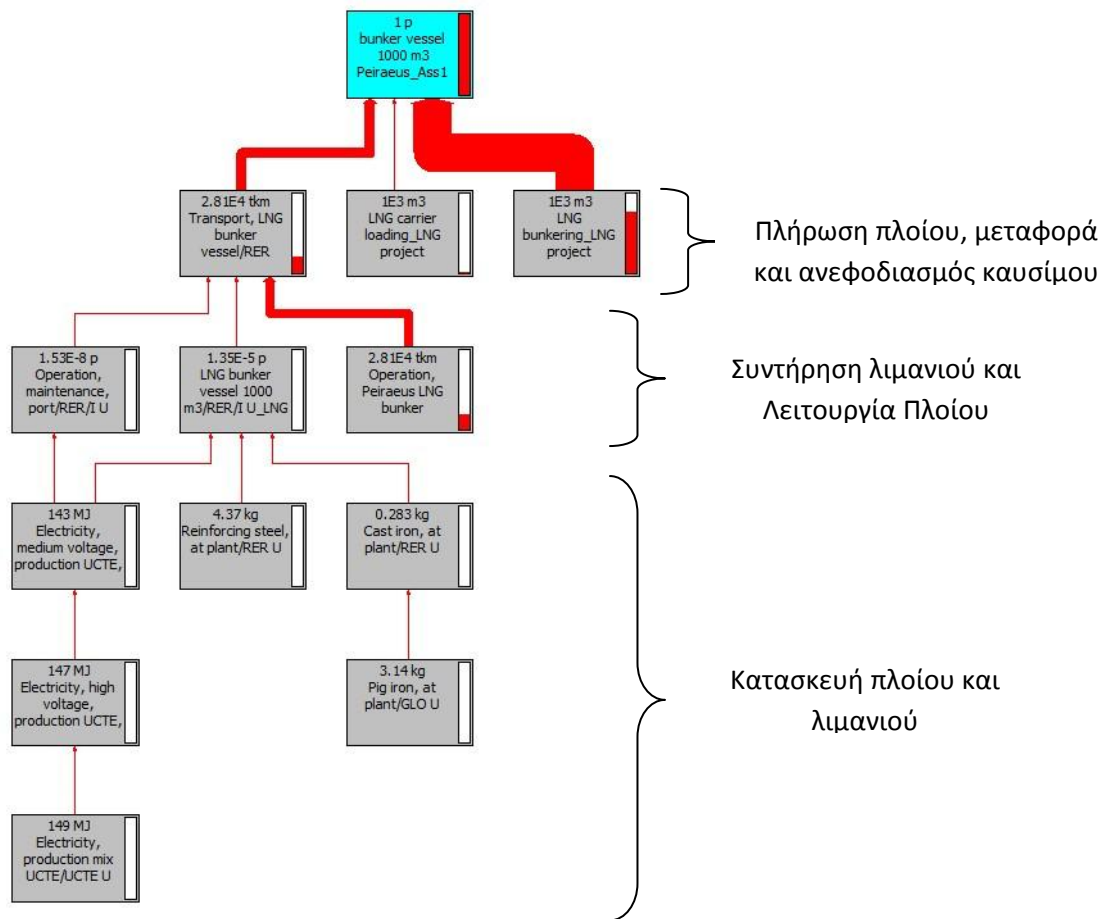


Εικόνα 11 Μεταφορά και ανεφοδιασμός στο λιμάνι του Πειραιά  $1000 \text{ m}^3$  με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας  $1000 \text{ m}^3$ .

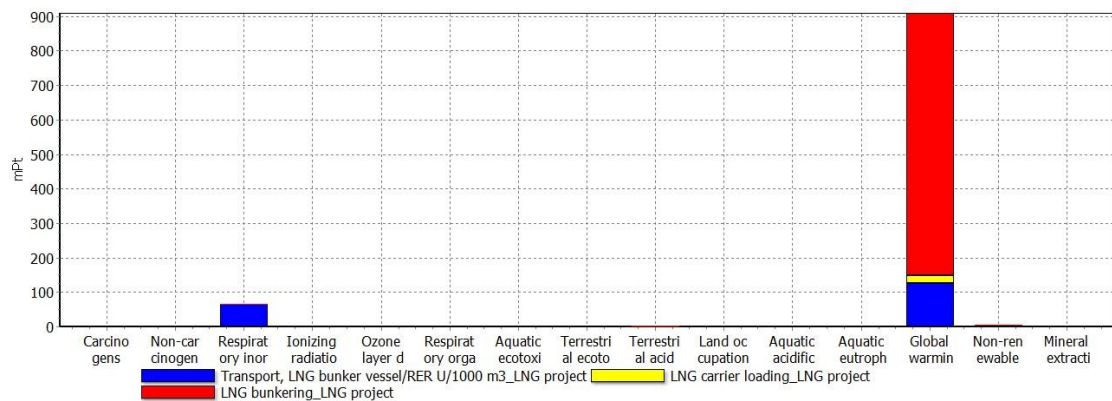
Αποτελείται από τις παρακάτω διεργασίες:

- ✚ Πλήρωση πλοίου ανεφοδιασμού με φορτίο LNG
- ✚ Μεταφορά καυσίμου με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας  $1000$  κυβικών μέτρων
- ✚ Ανεφοδιασμός καυσίμου στο λιμάνι του Πειραιά

Διάγραμμα ροής



Διάγραμμα 52 Διάγραμμα ροής προμήθειας με πλοίο ανεφοδιασμού 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά



Διάγραμμα 53 Συνεισφορά των διεργασιών προμήθειας με πλοίο ανεφοδιασμού 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά ανά κατηγορία επιπτώσεων (Impact 2002/Weighting Profile)

Πίνακας 125 Επιπτώσεις διεργασιών προμήθειας με πλοίο ανεφοδιασμού 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά ανά κατηγορία επιπτώσεων

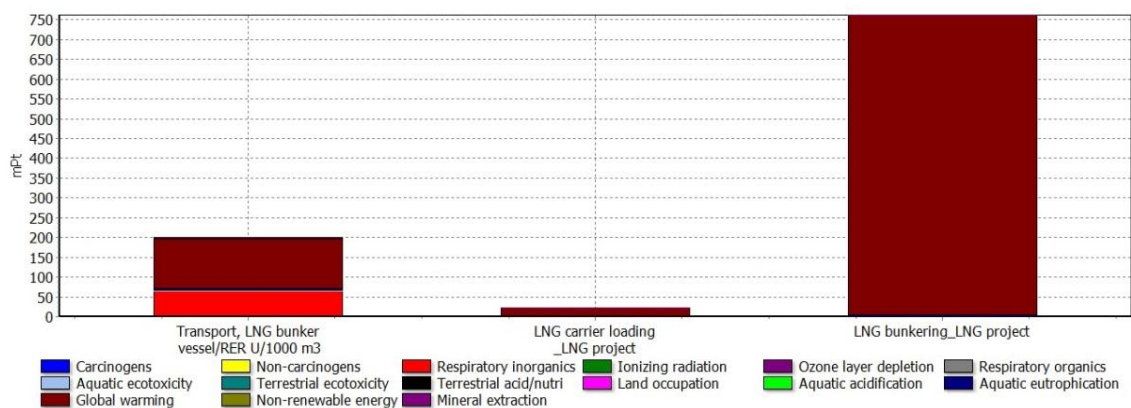
Κατηγορία Επιπτώσεων	Μονάδα	Συνολική Επίπτωση	Μεταφορά LNG με πλοίο	Πλήρωση πλοίου με LNG	Ανεφοδιασμός LNG
----------------------	--------	-------------------	-----------------------	-----------------------	------------------



			1000 m <sup>3</sup>		
Επίδραση καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	0,81	0,81	0	0
Επίδραση μη καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	0,73	0,73	0	0
Επίδραση ανόργανων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων.	kg PM <sub>2.5</sub> eq	0,66	0,66	0	0
Ιονίζουσα ακτινοβολία	Bq C – 14 eq	1792	1792	0	0
Μείωση του στρώματος του όζοντος	kg CFC – 11 eq	2,34E-06	2,34E-06	0	0
Επίδραση οργανικών σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	6,33	0,21	0,17	5,95
Τοξικότητα υδάτινου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>water</sub>	2.296	2.296	0	0
Τοξικότητα χερσαίου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>soil</sub>	640	640	0	0
Οξύνιση του εδάφους	kg SO <sub>2</sub> eq	27,3	27,3	0	0
Χρήση γης	m <sup>2</sup> <sub>org.arable</sub>	0,87	0,87	0	0
Οξύνιση βυθού	kg SO <sub>2</sub> eq	3,6	3,6	0	0
Ευτροφισμός υδάτινου οικοσυστήματος	kg PO <sub>4</sub> P-lim	0,01	0,01	0	0
Φαινόμενο του θερμοκηπίου	kg CO <sub>2</sub> eq	9.005	1.259	222	7.524
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	MJ <sub>primary</sub>	645	645	0	0
Εξαγωγή πρώτων υλών από το ορυχείο	MJ <sub>surplus</sub>	1,72	1,72	0	0

Οι δύο κύριες κατηγορίες όσον αφορά στην περιβαλλοντική επιβάρυνση είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου και ο κίνδυνος στην ανθρώπινη υγεία από ανόργανες ουσίες μικρής διαμέτρου που εισέρχονται στο αναπνευστικό σύστημα. Στην κατηγορία του κινδύνου της υγείας επιδρά αποκλειστικά το πλοίο, ενώ στην κατηγορία του φαινομένου του θερμοκηπίου τον κυριότερο ρόλο παίζουν η πλήρωση των δεξαμενών και ο ανεφοδιασμός. Το αποτέλεσμα στην μικρή ποσότητα μεθανίου, το οποίο αποτελεί αέριο θερμοκηπίου με είκοσι πέντε φορές μεγαλύτερη επίδραση από εκείνη του διοξειδίου του άνθρακα, που απελευθερώνεται κατά το γέμισμα και τον ανεφοδιασμό. Κατά την καύση του καυσίμου στον κινητήρα του πλοίου το μεθάνιο αντιδρά με τον αέρα της ατμόσφαιρας και σχηματίζει διοξείδιο του άνθρακα, γι' αυτό και η συνεισφορά της μεταφοράς στην κατηγορία αυτή είναι μειωμένη σε σχέση με τον ανεφοδιασμό, κατά τον οποίο ένα μέρος του καυσίμου διαφεύγει στο περιβάλλον. Η συμβολή της πλήρωσης είναι εμφανώς μικρότερη εξαιτίας του συστήματος δέσμευσης διαφυγόντων αερίων. Το φυσικό αέριο ως καύσιμο δεν περιέχει μέταλλα και άλλες ανόργανες ουσίες, οπότε η πλειοψηφία των ανόργανων ουσιών οφείλονται στην κατασκευή του πλοίου εξαιτίας της εξόρυξης των υλικών του και της λειτουργίας των εγκαταστάσεων κατασκευής.

Από τον Πίνακα 125 γίνεται αντιληπτό ότι στις περισσότερες κατηγορίες το αποτύπωμα προέρχεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από την κατασκευή και τη λειτουργία του πλοίου ανεφοδιασμού. Ωστόσο, οι περισσότερες από αυτές έχουν μηδαμινή συνεισφορά στο τελικό αποτέλεσμα. Η επίπτωση της λειτουργίας του πλοίου στην πλειοψηφία των κατηγοριών οφείλεται στην κατασκευή του εξαιτίας της εξόρυξης των υλικών του και της λειτουργίας των εγκαταστάσεων κατασκευής, οι οποίες χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο καύσιμο μαζούτ.

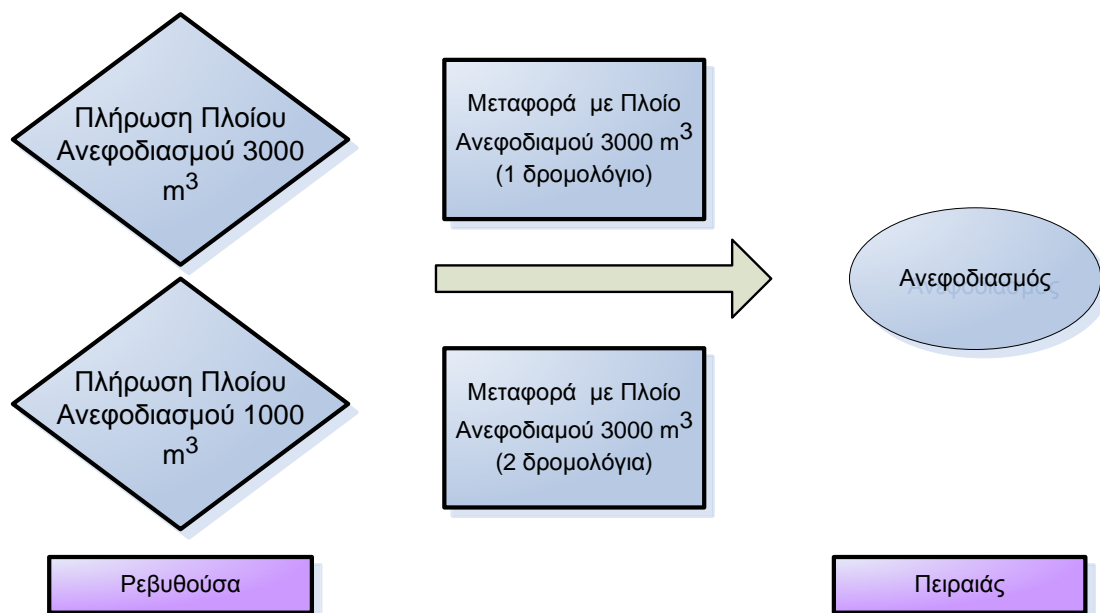


**Διάγραμμα 54** Συνολική συνεισφορά κάθε διεργασίας προμήθειας με πλοίο ανεφοδιασμού 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά (Impact 2002/Single Score)

Από το Διάγραμμα 54 προκύπτει ότι η διαδικασία ανεφοδιασμού έχει τη μεγαλύτερη βαρύτητα απ’ όλες τις υπόλοιπες, ακόμα και από τη λειτουργία του πλοίου. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στο μεθάνιο που απελευθερώνεται άκαυστο στην ατμόσφαιρα, χωρίς κάποια άλλη μέθοδο μείωσης του αποτυπώματος, όπως η καύση. Το μεθάνιο είναι αέριο του θερμοκηπίου εικοσιπέντε φορές ισχυρότερο του διοξειδίου του άνθρακα.

### Περίπτωση 2

Μεταφορά και ανεφοδιασμός 5000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 m<sup>3</sup> και 3000 m<sup>3</sup>

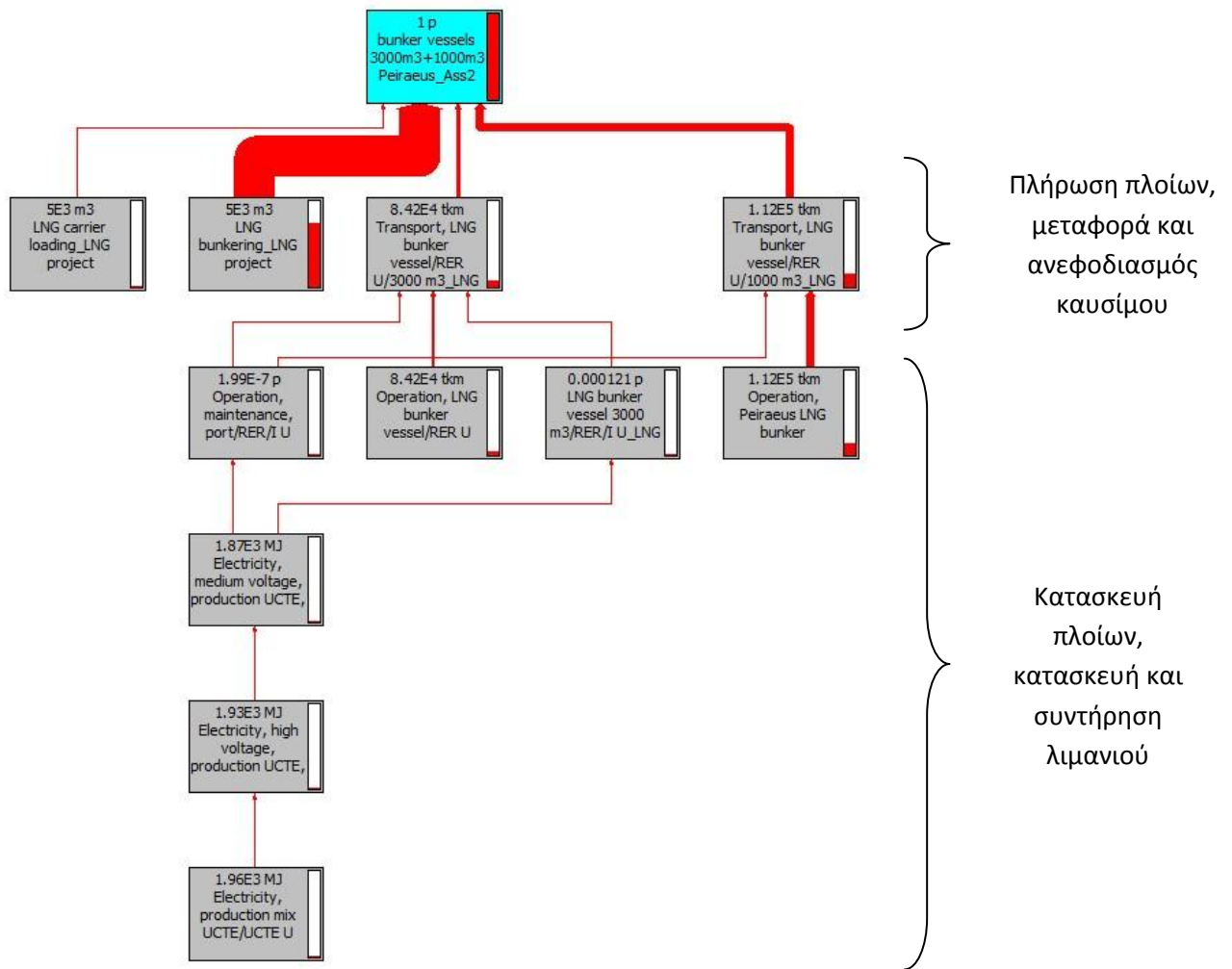


**Εικόνα 12** Μεταφορά και ανεφοδιασμός 5000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 m<sup>3</sup> και 3000 m<sup>3</sup>

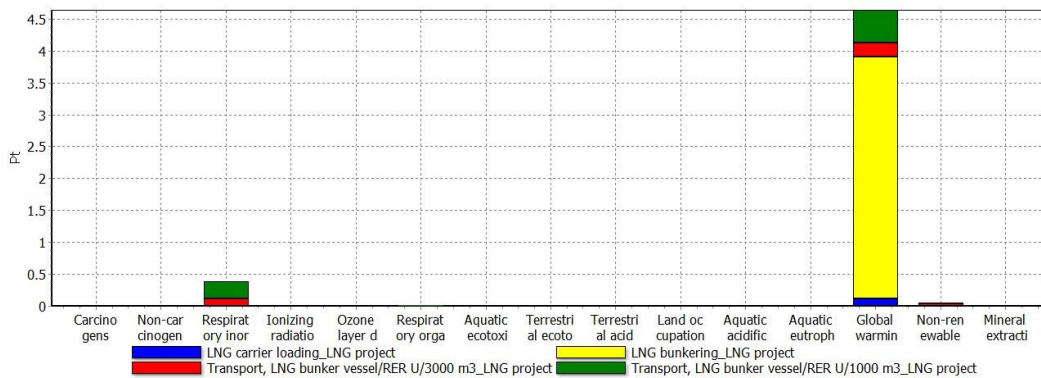
Αποτελείται από τις παρακάτω διεργασίες:

- ✚ Πλήρωση πλοίων ανεφοδιασμού με φορτίο
- ✚ Μεταφορά καυσίμου με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 κυβικών μέτρων και 3000 κυβικών μέτρων
- ✚ Ανεφοδιασμός πλοίου στο λιμάνι του Πειραιά

*Διάγραμμα ροής*



Διάγραμμα 55 Διάγραμμα ροής προμήθειας καυσίμου 5000 m<sup>3</sup> με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup> και 1000 m<sup>3</sup>



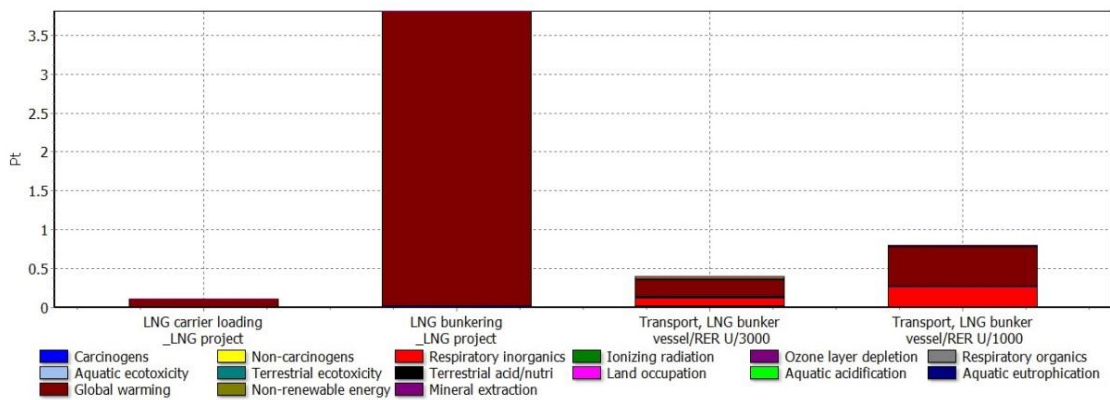
Διάγραμμα 56 Συνεισφορά των διεργασιών προμήθειας με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup> και 1000 m<sup>3</sup> ανά κατηγορία επιπτώσεων (Impact 2002/Weighting Profile)

**Πίνακας 126 Επιπτώσεις διεργασιών προμήθειας με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup> και 1000 m<sup>3</sup> ανά κατηγορία επιπτώσεων**

Κατηγορία Επιπτώσεων	Μονάδα	Συνολική Επίπτωση	Πλήρωση Πλοίου με LNG	Ανεφοδιασμός LNG	Μεταφορά LNG με πλοίο 3000 m <sup>3</sup>	Μεταφορά LNG με πλοίο 1000 m <sup>3</sup>
Επίδραση καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	11,37	0	0	8,15	3,23
Επίδραση μη καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	10,26	0	0	7,35	2,92
Επίδραση ανόργανων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων.	kg PM <sub>2.5</sub> eq	3,86	0	0	1,23	2,63
Ιονίζουσα ακτινοβολία	Bq C – 14 eq	23.597	0	0	16.429	7.169
Μείωση του στρώματος του όζοντος	kg CFC – 11 eq	3,33E-05	0	0	2,39E-05	9,36E-06
Επίδραση οργανικών σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	32,89	0,87	29,75	1,45	0,82
Τοξικότητα υδάτινου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>water</sub>	31.476	0	0	22.294	9.182
Τοξικότητα χερσαίου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>soil</sub>	8.966	0	0	6.405	2.562
Οξύνιση του εδάφους	kg SO <sub>2</sub> eq	154	0	0	44,99	109
Χρήση γης	m <sup>2</sup> <sub>org,arable</sub>	11,41	0	0	7,94	3,4
Οξύνιση βυθού	kg SO <sub>2</sub> eq	21,11	0	0	6,72	14,39
Ευτροφισμός υδάτινου οικοσυστήματος	kg PO <sub>4</sub> P-lim	0,15	0	0	0,11	0,05
Φαινόμενο του θερμοκηπίου	kg CO <sub>2</sub> eq	45.933	1111	37.620	2.165	5.038
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	MJ <sub>primary</sub>	8.785	0	0	6.203	2.581
Εξαγωγή πρώτων υλών από το ορυχείο	MJ <sub>surplus</sub>	27,95	0	0	21,08	6,86

Το Διάγραμμα 56 δείχνει, ότι οι επιπτώσεις της προμήθειας αφορούν τέσσερις κατηγορίες, δύο στις οποίες η επιβάρυνση είναι μεγάλη και δύο στις οποίες η επιβάρυνση είναι αρκετά μικρότερη. Η κατηγορία που επηρεάζεται περισσότερο είναι εκείνη του φαινομένου του θερμοκηπίου, στην οποία επιδρούν όλα τα τμήματα, με κυριότερη συνεισφορά της πλήρωσης και του ανεφοδιασμού, όπως είναι λογικό, επειδή το μεθάνιο είναι πολύ ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου. Οι υπόλοιπες κατηγορίες επηρεάζονται από τη μεταφορά του καυσίμου μέσω των δύο πλοίων ανεφοδιασμού. Η συμβολή της μεταφοράς του μικρότερου πλοίου ανεφοδιασμού αποτυπώνεται υψηλότερη λόγω των διπλάσιων δρομολογίων, τα οποία συνεπάγονται μεγαλύτερες εκπομπές καύσης.

Στον Πίνακα 126 παρουσιάζεται ότι η κατασκευή και η συντήρηση των πλοίων επιδρούν σημαντικά σε όλες τις κατηγορίες εκτός από τις δύο κύριες, αλλά η ένταση των επιπτώσεων είναι μικρή. Όπως είναι λογικό, η κατασκευή και η λειτουργία του μεγαλύτερου πλοίου ανεφοδιασμού επιβαρύνει περισσότερο το περιβάλλον.

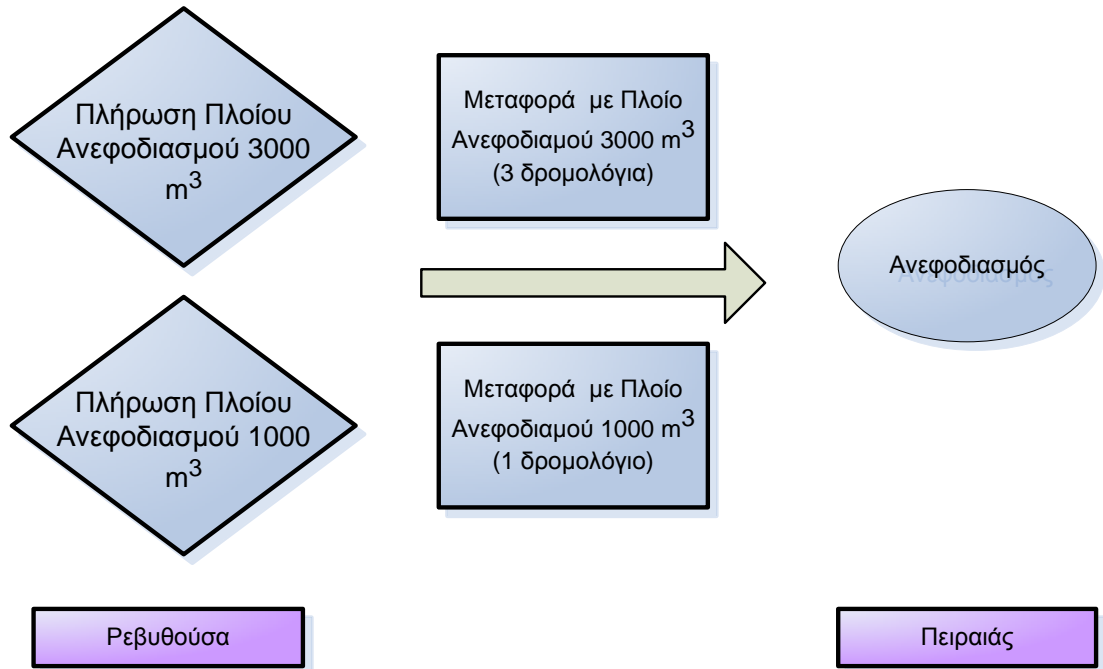


Διάγραμμα 57 Συνολική συνεισφορά κάθε διεργασίας προμήθειας με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup> και 1000 m<sup>3</sup> ανά κατηγορία επιπτώσεων(Impact 2002/Single Score)

Χαρακτηριστική είναι η χαμηλότερη συμβολή της μεταφοράς των πλοίων σε σχέση με τη διαδικασία ανεφοδιασμού (Διάγραμμα 57). Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να αποδοθεί στη μικρή απόσταση και στα λίγα δρομολόγια που εκτελούνται. Τα αποτελέσματα του ανεφοδιασμού και της πλήρωσης καυσίμου είναι ανάλογα με παραπάνω.

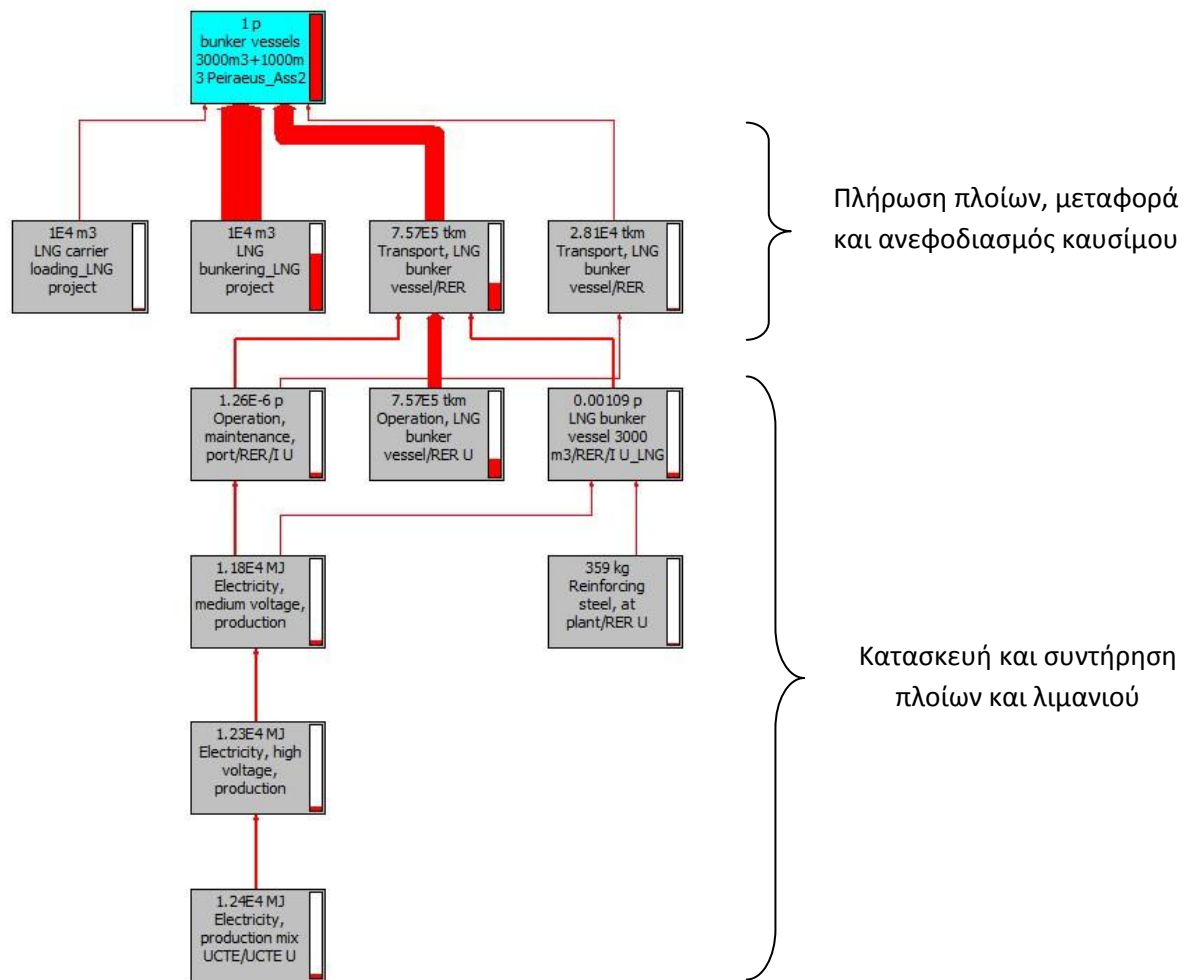
Περίπτωση 3

Μεταφορά και ανεφοδιασμός 10.000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1.000 m<sup>3</sup> και 3.000 m<sup>3</sup>

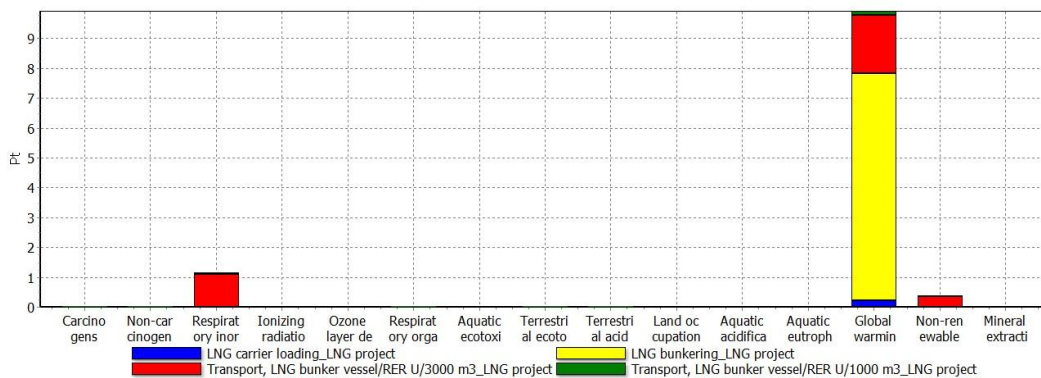


Εικόνα 13 Μεταφορά και ανεφοδιασμός 10.000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 και 3000 m<sup>3</sup>

### Διάγραμμα Ροής



Διάγραμμα 58 Διάγραμμα ροής προμήθειας καυσίμου 10000 m<sup>3</sup> με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup> και 1000 m<sup>3</sup>



Διάγραμμα 59 Συνεισφορά διεργασιών προμήθειας καυσίμου 10000 m<sup>3</sup> με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup> και 1000 m<sup>3</sup> (Impact 2002/Weighting Profile)

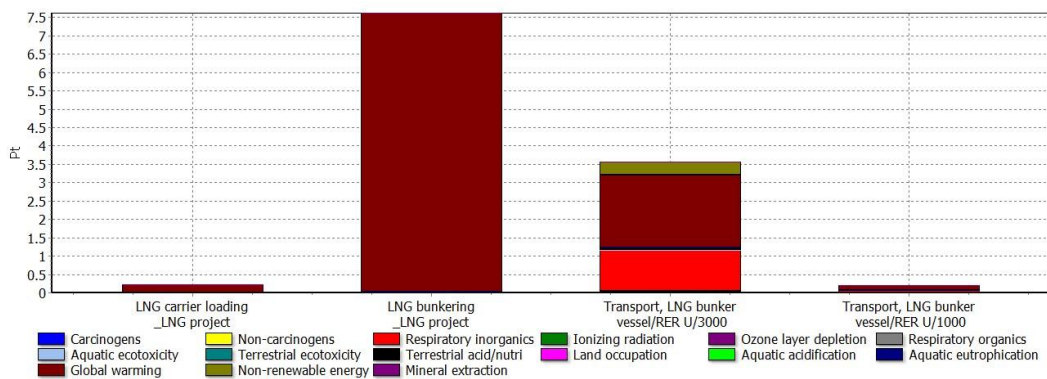
**Πίνακας 127 Επιπτώσεις διεργασιών προμήθειας καυσίμου 10000 m<sup>3</sup> με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup> και 1000 m<sup>3</sup>**

Κατηγορία Επιπτώσεων	Μονάδα	Συνολική Επίπτωση	Πλήρωση πλοίου με LNG	Ανεφοδιασμός LNG	Μεταφορά LNG με πλοίο 3000 m <sup>3</sup>	Μεταφορά LNG με πλοίο 1000 m <sup>3</sup>
Επίδραση καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	74,17	0	0	73,36	0,81
Επίδραση μη καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	66,88	0	0	66,15	0,73
Επίδραση ανόργανων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων.	kg PM <sub>2.5</sub> eq	11,76	0	0	11,1	0,66
Ιονίζουσα ακτινοβολία	Bq C – 14 eq	149654	0	0	147862	1792
Μείωση του στρώματος του όζοντος	kg CFC – 11 eq	2,2E-03	0	0	2,2E-03	2,34E-06
Επίδραση οργανικών σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	74,46	1,76	59,49	13	0,21
Τοξικότητα υδάτινου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>water</sub>	202.945	0	0	200.649	2.296
Τοξικότητα χερσαίου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>soil</sub>	58.285	0	0	57.645	640
Οξύνιση του εδάφους	kg SO <sub>2</sub> eq	432	0	0	404	27,37
Χρήση γης	m <sup>2</sup> <sub>org,arable</sub>	72,35	0	0	71,48	0,87
Οξύνιση βυθού	kg SO <sub>2</sub> eq	64,12	0	0	60,52	3,6
Ευτροφισμός υδάτινου οικοσυστήματος	kg PO <sub>4</sub> P-lim	0,97	0	0	0,96	0,01
Φαινόμενο του θερμοκηπίου	kg CO <sub>2</sub> eq	98.203	2.223	75.240	19.482	1.259
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	MJ <sub>primary</sub>	56.476	0	0	55.831	645,3
Εξαγωγή πρώτων υλών από το ορυχείο	MJ <sub>surplus</sub>	191,5	0	0	189	1,72

Στο Διάγραμμα 59 αποτυπώνεται η αυξημένη συνεισφορά του μεγάλου πλοίου ανεφοδιασμού σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση, εξαιτίας των περισσότερων δρομολογίων που εκτελεί. Οι διεργασίες που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ίδιες με την προηγούμενη περίπτωση. Αυξημένη είναι η συμβολή του ανεφοδιασμού λόγω της πολλαπλάσιας ποσότητας διαφυγόντων αερίων μεθανίου στην ατμόσφαιρα και εκείνη του πλοίου ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3.000 κυβικών μέτρων, η οποία προέρχεται από τις τριπλάσιες εκπομπές καύσης κατά την μεταφορά του καυσίμου.

Στο Πίνακα 127 αποτυπώνονται οι ποσοστιαίες συνεισφορές όλων των διεργασιών σε κάθε κατηγορία. Παρατηρείται η συμμετοχή των πλοίων ανεφοδιασμού σε όλες τις κατηγορίες, η οποία προκύπτει από την κατασκευή, τη συντήρηση και τη λειτουργία τους. Η ποσοστιαία συμβολή του πλοίου χωρητικότητας 3000 κυβικών μέτρων είναι εμφανώς μεγαλύτερη λόγω των αυξημένων δρομολογίων που εκτελεί.



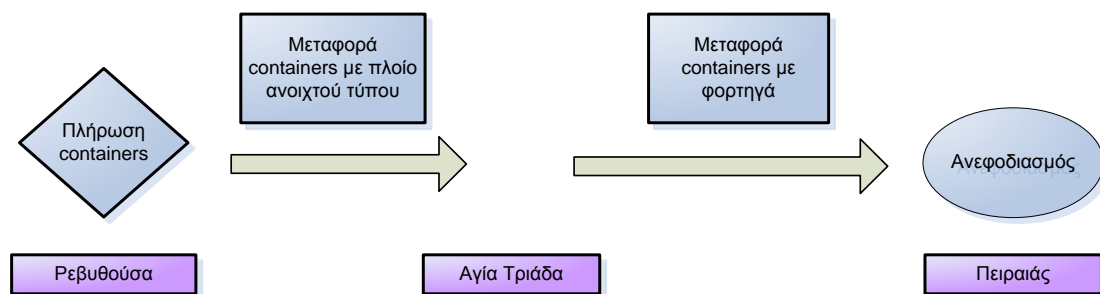


Διάγραμμα 60 Συνολική συνεισφορά κάθε διεργασίας προμήθειας καυσίμου 10000 m<sup>3</sup> με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup> και 1000 m<sup>3</sup> (Impact 2002/Single Score)

Στην περίπτωση του αυξημένου φορτίου τα αποτελέσματα του Διάγραμμα 60 είναι παρόμοια, με τη διαφορά ότι σε αυτή την περίπτωση συνεισφέρει περισσότερο στις επιπτώσεις το μεγαλύτερο πλοίο ανεφοδιασμού εξαιτίας της αυξημένης χρήσης του.

#### Περίπτωση 4

Μεταφορά και ανεφοδιασμός 1000 m<sup>3</sup> καυσίμου στο λιμάνι του Πειραιά με πλοίο ανοιχτού τύπου και φορτηγά

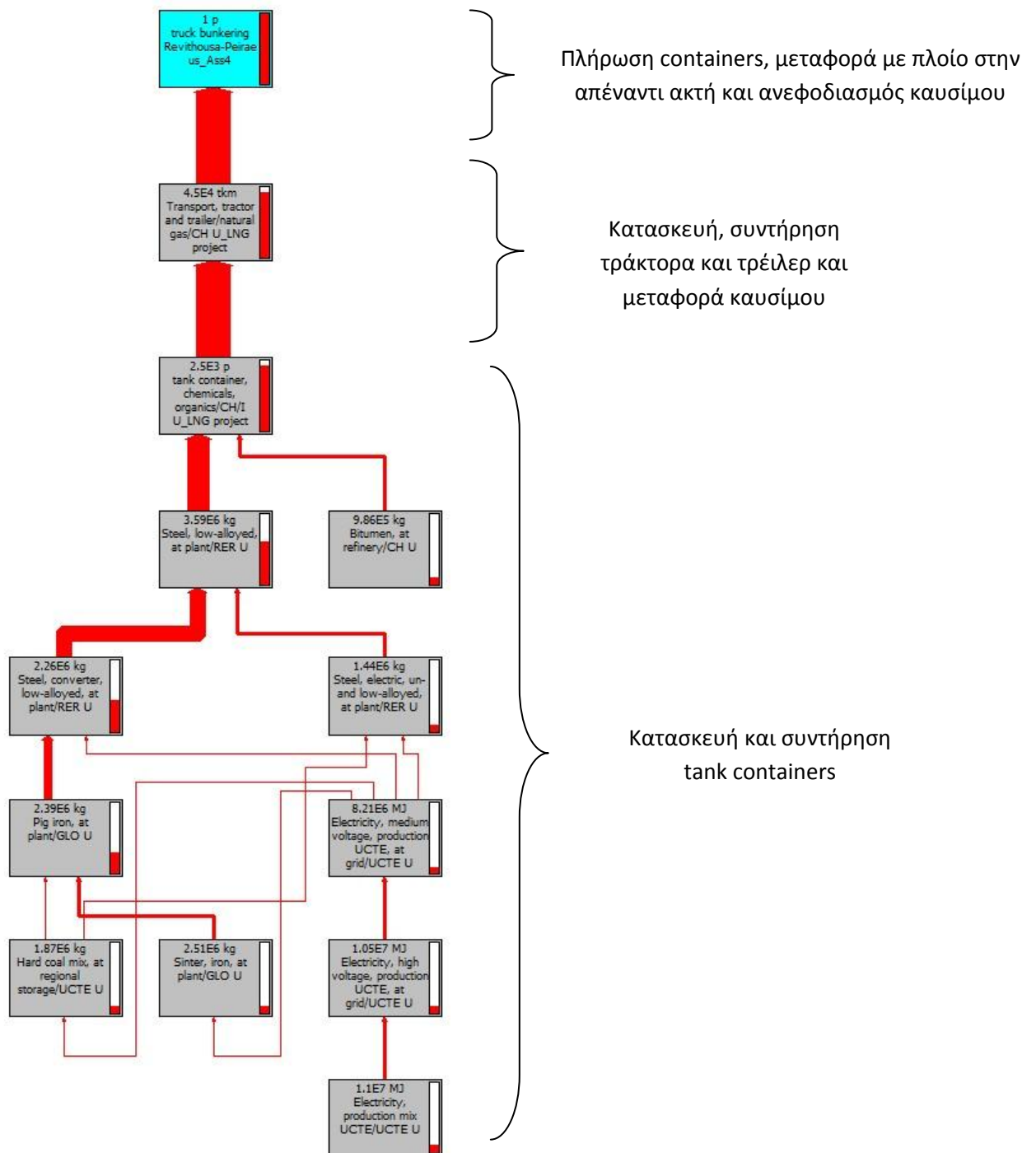


Εικόνα 14 Μεταφορά και ανεφοδιασμός 1000 m<sup>3</sup> καυσίμου στο λιμάνι του Πειραιά με πλοίο ανοιχτού τύπου και φορτηγά

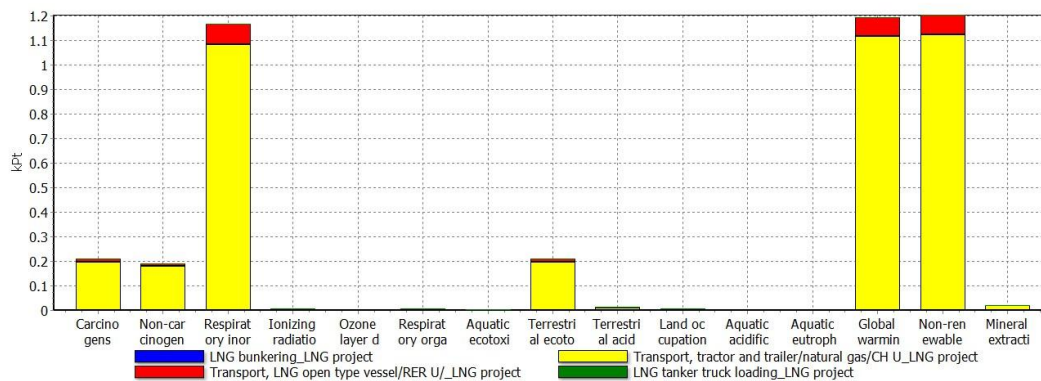
Αποτελείται από τις παρακάτω διεργασίες:

- ✚ Πλήρωση containers με LNG
- ✚ Μεταφορά LNG containers με πλοίο ανοιχτού τύπου στην απέναντι ακτή του σταθμού εισαγωγής LNG
- ✚ Μεταφορά LNG containers με φορτηγά στον Πειραιά
- ✚ Ανεφοδιασμός πλοίου στο λιμάνι του Πειραιά

Διάγραμμα ροής



Διάγραμμα 61 Διάγραμμα ροής προμήθειας καυσίμου 1000 m<sup>3</sup> με φορτηγά



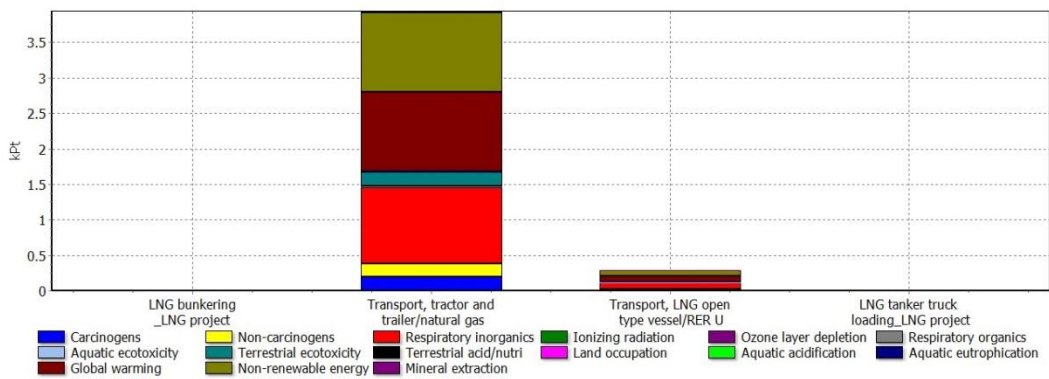
**Διάγραμμα 62 Συνεισφορά των διεργασιών προμήθειας καυσίμου 1000 m<sup>3</sup> με φορτηγά (Impact 2002/Weighting Profile)**

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 62 η μεταφορά του καυσίμου επιδρά σε αρκετές κατηγορίες επίσης αρκετές κατηγορίες είτε σε μεγάλο είτε σε μικρότερο βαθμό. Οι κύριες κατηγορίες επιπτώσεων είναι τα ανόργανα σωματίδια, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στις κατηγορίες αυτές πέρα από τη χερσαία μεταφορά συμβάλλει και η θαλάσσια μεταφορά. Η ένταση της επίπτωσης στο περιβάλλον της τελευταίας είναι μικρή εξαιτίας της πολύ μικρής απόστασης που διανύει το πλοίο ανοιχτού τύπου. Σημαντική επίδραση αποτυπώνεται και στις κατηγορίες επίγεια οικοτοξικότητα, οργανικές και ανόργανες ουσίες, ενώ σημαντικά μειωμένη αποτυπώνεται και στις κατηγορίες επίγεια οξόνισης και εξόρυξης ορυκτών. Στις κατηγορίες ιονίζουσα ακτινοβολία, οργανικά σωματίδια που εισέρχονται στο αναπνευστικό και κατοχή γης η επίδραση μόλις που φαίνεται. Οι εμφανείς επιπτώσεις στις κατηγορίες που σχετίζονται με τη γη, οφείλονται στη χερσαία μεταφορά του καυσίμου που λαμβάνει χώρα σε αυτή την περίπτωση. Οι κατηγορίες που αφορούν καρκινογόνα ή μη σωματίδια, οργανικές ουσίες και την εξαγωγή πρώτων υλών συνδέονται με την κατασκευή πρωτίστως των φορτηγών (τράκτορα, τρέιλερ και containers) και δευτερευόντως του πλοίου.

Πίνακας 128 Επιπτώσεις διεργασιών προμήθειας καυσίμου 1000 m<sup>3</sup> με φορτηγά

Κατηγορία Επιπτώσεων	Μονάδα	Συνολική Επίπτωση	Ανεφοδιασμός LNG	Μεταφορά LNG με φορτηγά	Μεταφορά LNG με πλοίο ανοιχτού τύπου	Πλήρωση φορτηγών με LNG
Επίδραση καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	535.708	0	499.409	36.300	0
Επίδραση μη καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	484.331	0	452.985	31.347	0
Επίδραση ανόργανων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων.	kg PM <sub>2.5</sub> eq	11.821	0	10.964	857	0
Ιονίζουσα ακτινοβολία	Bq C – 14 <sub>eq</sub>	1,7E+08	0	157.663.677	12.595.773	0
Μείωση του στρώματος του όζοντος	kg CFC – 11 <sub>eq</sub>	1,152	0	1,09	0,06	0
Επίδραση οργανικών σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	19.365	5,95	18.564	794	1
Τοξικότητα υδάτινου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>water</sub>	8,84E+08	0	814.878.297	69.585.130	0
Τοξικότητα χερσαίου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>soil</sub>	3,62E+08	0	339.257.820	22.510.913	0
Οξύνιση του εδάφους	kg SO <sub>2</sub> eq	162.869	0	151	11.624	0
Χρήση γης	m <sup>2</sup> <sub>org.arable</sub>	88.883	0	84.595	4.287	0
Οξύνιση βυθού	kg SO <sub>2</sub> eq	41.228	0	37.105	4.122	0
Ευτροφισμός υδάτινου οικοσυστήματος	kg PO <sub>4</sub> P-lim	2.081	0	1.814	266	0
Φαινόμενο του θερμοκηπίου	kg CO <sub>2</sub> eq	11.819.659	7.524	11.042.037	76.883	1.265
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	MJ <sub>primary</sub>	1,83E+08	0	17.0428.007	12.353.283	0
Εξαγωγή πρώτων υλών από το ορυχείο	MJ <sub>surplus</sub>	3.276.532	0	3.196.212	80.321	0

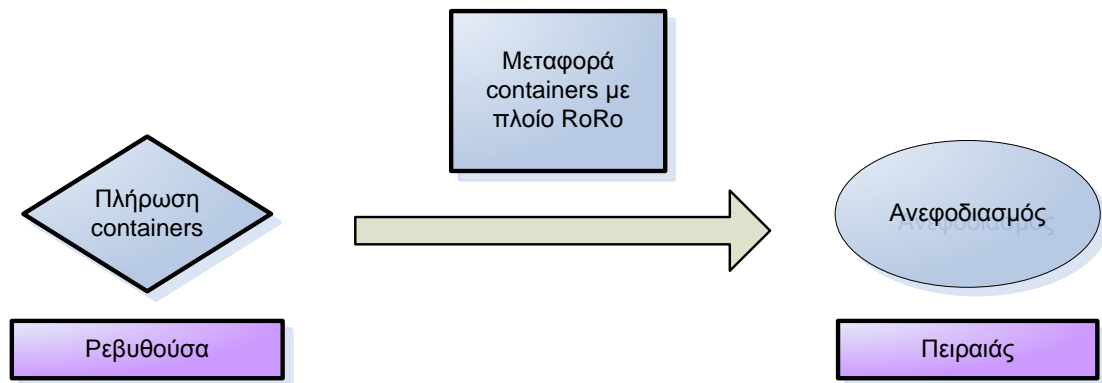
Ο κύριος ρυπαντής σε αυτή την περίπτωση είναι η διαδικασία της χερσαίας μεταφοράς (Διάγραμμα 63). Το αποτέλεσμα αυτό προκύπτει τόσο από τις εκπομπές για την κατασκευή και συντήρηση του εξοπλισμού (containers και φορτηγά) όσο και από τις εκπομπές της καύσης στους κινητήρες των οχημάτων κατά την μεταφορά, που αποτελεί άλλωστε τον κύριο παράγοντα ρύπανσης στη διαδικασία της μεταφοράς (Πίνακας 128). Η συμμετοχή των διεργασιών πλήρωσης και ανεφοδιασμού είναι οριακά εμφανής στο ποσοστιαίο διάγραμμα και παρατηρείται μόνο στις κατηγορίες του φαινομένου του θερμοκηπίου και των οργανικών ουσιών (Πίνακας 128). Η θαλάσσια μεταφορά επηρεάζει όλες της κατηγορίες, αλλά λιγότερο εξαιτίας της μικρής διανυόμενης απόστασης του πλοίου.



Διάγραμμα 63 Συνολική συνεισφορά κάθε διεργασίας προμήθειας καυσίμων 1000 m<sup>3</sup> με φορτηγά (Impact 2002/Single Score)

### Περίπτωση 5

Μεταφορά και ανεφοδιασμός στο λιμάνι του Πειραιά 1000 m<sup>3</sup> με οχηματαγωγό πλοίο και containers

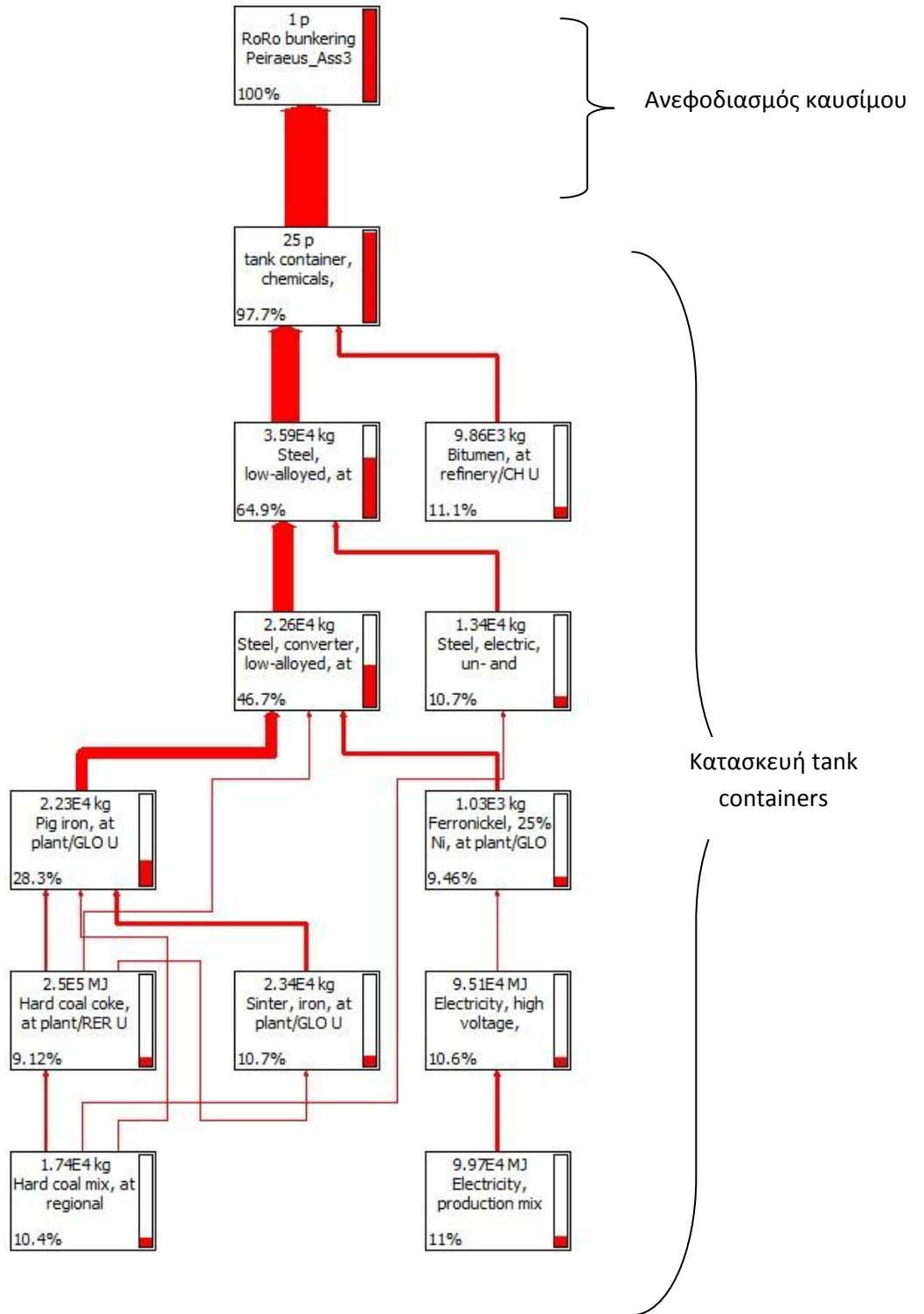


Εικόνα 15 Μεταφορά και ανεφοδιασμός στο λιμάνι του Πειραιά 1000 m<sup>3</sup> με οχηματαγωγό πλοίο και containers

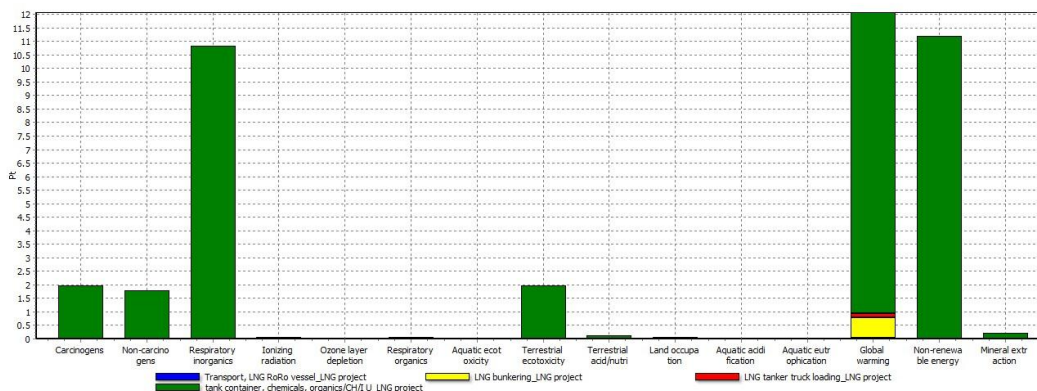
Αποτελείται από τις παρακάτω διεργασίες:

- ✚ Πλήρωση containers με LNG
- ✚ Μεταφορά containers με οχηματαγωγό πλοίο
- ✚ Ανεφοδιασμός πλοίου στο λιμάνι του Πειραιά

Διάγραμμα ροής



Διάγραμμα 64 Διάγραμμα ροής προμήθειας 1000 m<sup>3</sup> με πλοίο RoRo



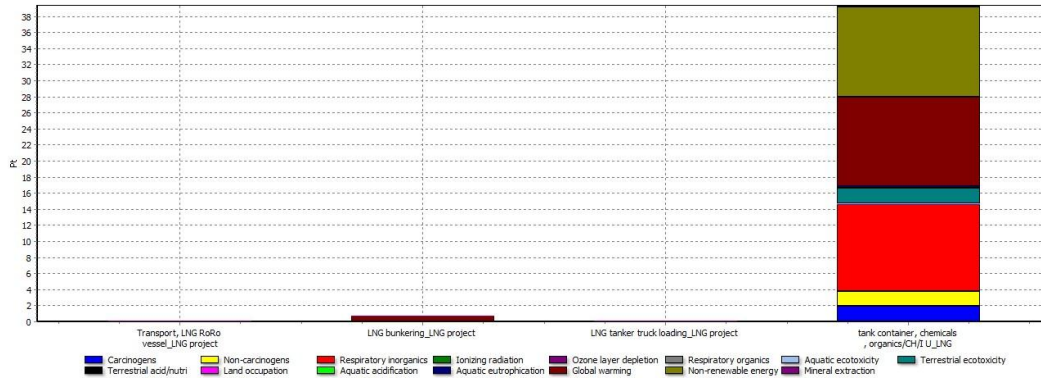
**Διάγραμμα 65 Συνεισφορά διεργασιών προμήθειας 1000 m<sup>3</sup> με πλοίο RoRo ανά κατηγορία επιπτώσεων (Impact 2002/Weighting Profile)**

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 65 οι κατηγορίες επιβάρυνσης συνδέονται με την κατασκευή του εξοπλισμού. Ο κύριος παράγοντας ρύπανσης του περιβάλλοντος, που επηρεάζει τόσο τις κατηγορίες που σχετίζονται με την υγεία όσο και το φαινόμενο του θερμοκηπίου, είναι η κατασκευή των containers. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου επηρεάζεται σε μικρότερο βαθμό από την πλήρωση και τον ανεφοδιασμό δεδομένου του μεθανίου που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, ενώ η μεταφορά έχει πολύ μικρή επίπτωση, αποτέλεσμα που αποδίδεται στη μικρή διανυόμενη απόσταση.

**Πίνακας 129 Επιπτώσεις διεργασιών προμήθειας 1000 m<sup>3</sup> με πλοίο RoRo ανά κατηγορία επιπτώσεων**

Κατηγορία Επιπτώσεων	Μονάδα	Συνολική Επίπτωση	Μεταφορά LNG με πλοίο RoRo	Ανεφοδιασμός LNG	Πλήρωση containers με LNG	LNG tank containers
Επίδραση καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	4.990	3,33E-07	0	0	4.990
Επίδραση μη καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	4.525	3,55E-06	0	0	4.525
Επίδραση ανόργανων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων.	kg PM <sub>2,5</sub> eq	109	0,11	0	0	109
Ιονίζουσα ακτινοβολία	Bq C – 14 eq	1.571.277	0	0	0	1.571.277
Μείωση του στρώματος του όζοντος	kg CFC – 11 eq	0,01	0	0	0	0,01
Επίδραση οργανικών σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	192	0,14	5,95	1	185
Τοξικότητα υδάτινου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>water</sub>	8.136.929	1,52E-04	0	0	8.136.929
Τοξικότητα χερσαίου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>soil</sub>	3.388.897	5E-03	0	0	3.388.897
Οξύνιση του εδάφους	kg SO <sub>2</sub> eq	1.514	3,92	0	0	1.511
Χρήση γης	m <sup>2</sup> <sub>org.arable</sub>	845	0	0	0	845
Οξύνιση βυθού	kg SO <sub>2</sub> eq	371	0,51	0	0	370
Ευτροφισμός υδάτινου οικοσυστήματος	kg PO <sub>4</sub> P-lim	18,11	0	0	0	18,11
Φαινόμενο του θερμοκηπίου	kg CO <sub>2</sub> eq	119.483	405	7524	1265	110.287
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	MJ <sub>primary</sub>	1.701.939	0	0	0	1.701.939
Εξαγωγή πρώτων υλών από το ορυχείο	MJ <sub>surplus</sub>	31.937	0	0	0	31.937

Ο Πίνακας 129 δείχνει ότι τα containers είναι η κύρια αιτία ρύπανσης σε όλες τις κατηγορίες. Οι διαδικασίες της πλήρωσης και του ανεφοδιασμού συμμετέχουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, για λόγους που έχουν εξηγηθεί παραπάνω. Συμμετέχουν επίσης στην κατηγορία των οργανικών ουσιών λόγω του φθορίου, του χλωρίου και της αμμωνίας που περιλαμβάνονται στη σύσταση του καυσίμου.

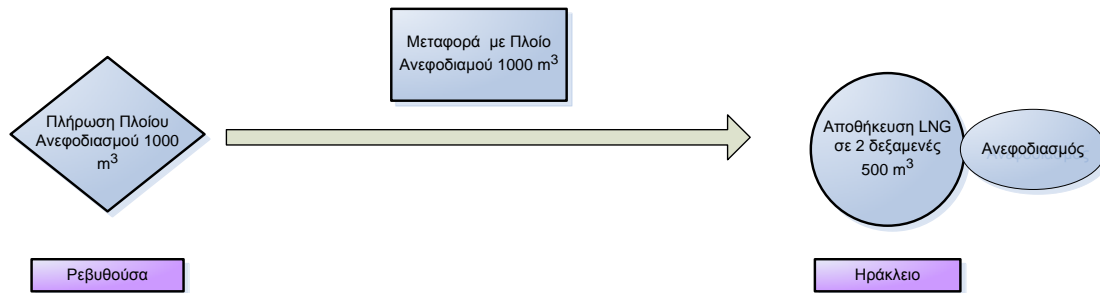


**Διάγραμμα 66 Συνολική συνεισφορά κάθε διεργασίας προμήθειας 1000 m<sup>3</sup> με πλοίο RoRo ανά κατηγορία επιπτώσεων (Impact 2002/Single Score)**

Η ένταση της συνεισφοράς της κατασκευής των containers φαίνεται και στο Διάγραμμα 66. Παρατηρείται ότι η συμμετοχή του ανεφοδιασμού, επιβαρύνει αισθητά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα για λόγους που έχουν εξηγηθεί παραπάνω.

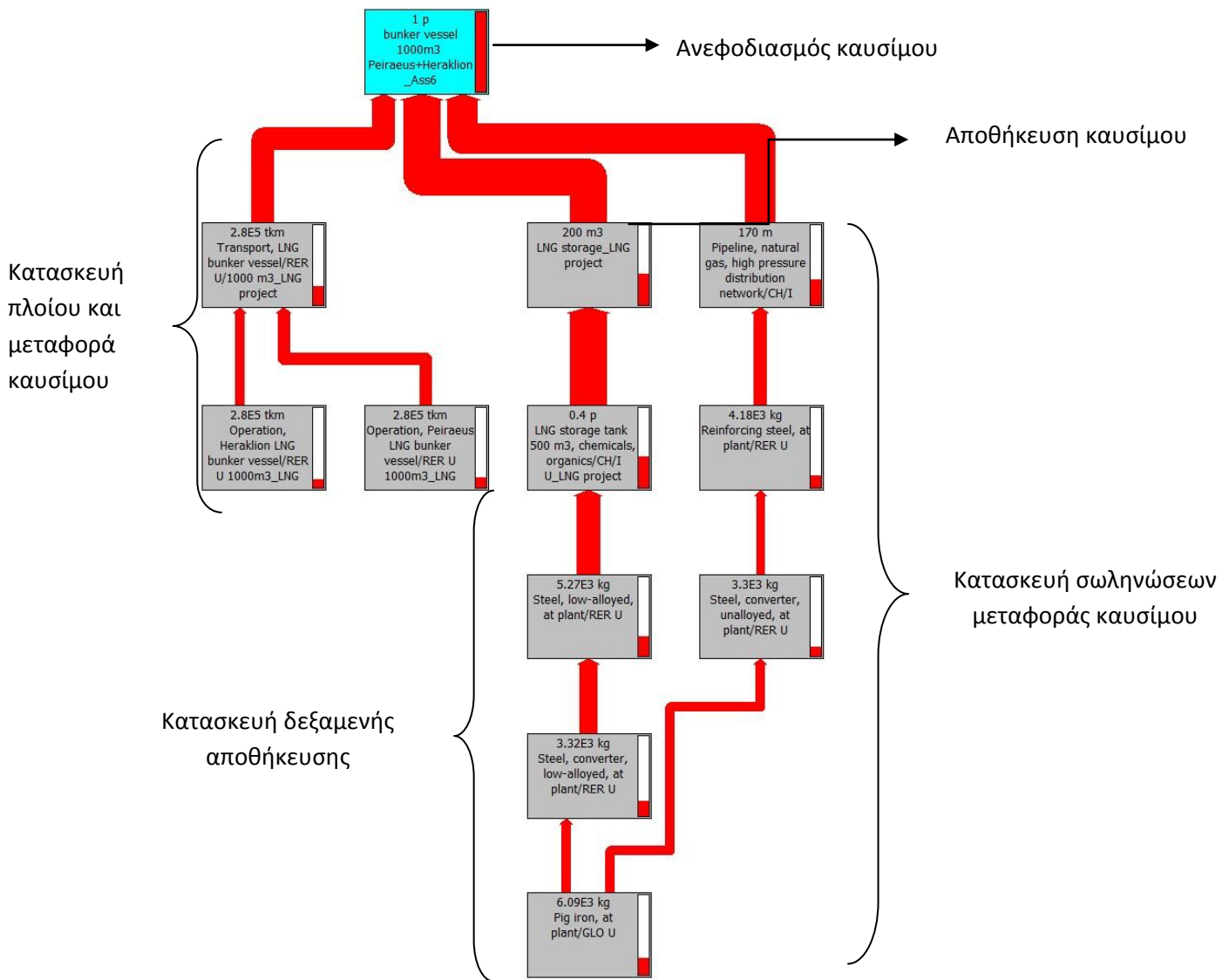
### Περίπτωση 6

Μεταφορά και ανεφοδιασμός 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 m<sup>3</sup>

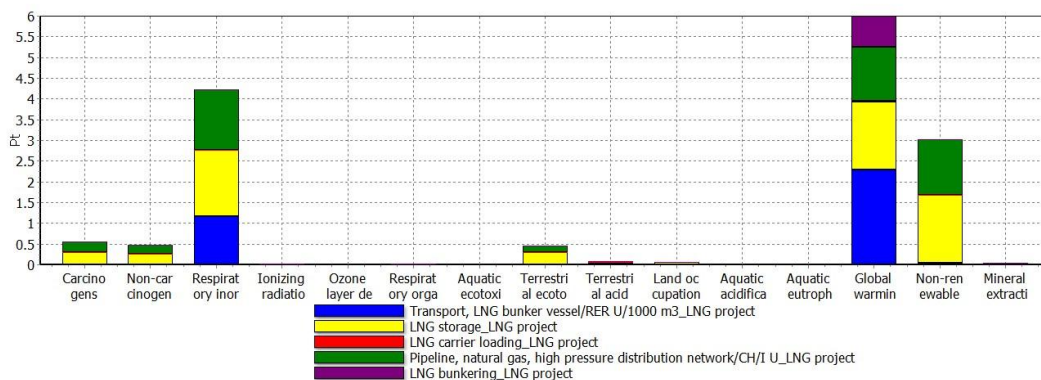


**Εικόνα 16 Μεταφορά και ανεφοδιασμός 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 m<sup>3</sup>**





Διάγραμμα 67 Διάγραμμα ροής προμήθειας 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 m<sup>3</sup>



Διάγραμμα 68 Συνεισφορά διεργασιών προμήθειας 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 m<sup>3</sup> (Impact 2002/Weighting Profile)

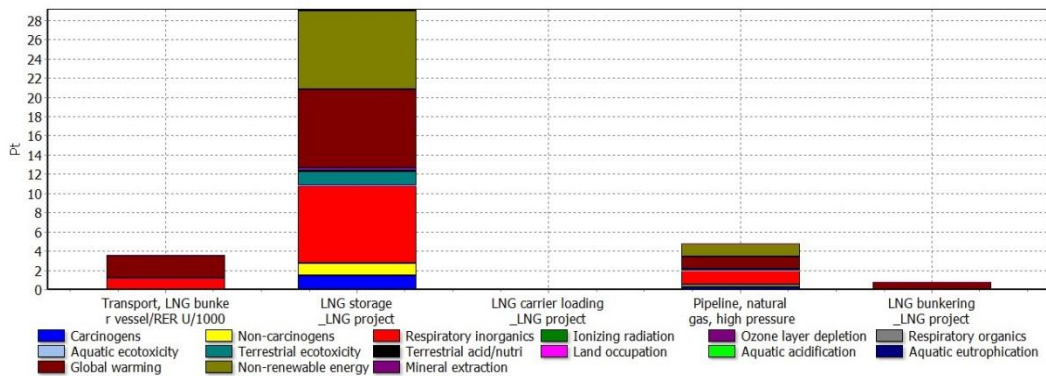
Στο Διάγραμμα 68 παρουσιάζονται οι κατηγορίες στις οποίες επιδρούν οι διεργασίες του ανεφοδιασμού. Ο φαινόμενο του θερμοκηπίου, οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και οι ανόργανες ουσίες συνιστούν τις τρεις κυριότερες κατηγορίες επιπτώσεων. Σημαντική επίπτωση παρουσιάζεται και στις κατηγορίες των καρκινογόνων και μη ουσιών και στη χερσαία οικοτοξικότητα. Παρατηρείται ότι η κατασκευή του εξοπλισμού της δεξαμενής συνεισφέρει περισσότερο από κάθε άλλη διεργασία στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας. Η διαδικασία ανεφοδιασμού συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, όπως έχει εξηγηθεί παραπάνω. Εμφανής παρουσιάζεται η επίδραση της θαλάσσιας μεταφοράς του καυσίμου στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και των οργανικών ουσιών, η οποία οφείλεται κυρίως στην καύση κατά τη μετακίνηση και στις οργανικές ουσίες που απελευθερώνονται άκαυστες στο περιβάλλον.

Ο Πίνακας 130 καταδεικνύει τη σημαντική επίπτωση που έχει σε όλες τις κατηγορίες η κατασκευή του εξοπλισμού αποθήκευσης του καυσίμου. Παρότι η μεταφορά συμβάλει σε αρκετές κατηγορίες, ο κύριος παράγοντας ρύπανσης είναι οι δεξαμενές. Η διαδικασία του ανεφοδιασμού έχει αρκετά μικρότερες επιπτώσεις σε περιορισμένες κατηγορίες, ενώ πλήρωση έχει αμελητέα επίδραση στο τελικό αποτέλεσμα.

**Πίνακας 130 Επιπτώσεις διεργασιών προμήθειας 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 m<sup>3</sup> ανά κατηγορία επιπτώσεων**

Κατηγορία Επίπτωσης	Μονάδα	Συνολική Επίπτωση	Μεταφορά LNG με πλοίο 1000 m <sup>3</sup>	Αποθήκευση LNG	Πλήρωση πλοίου με LNG	Μεταφορά LNG με σωληνώσεις	Ανεφοδιασμός LNG
Επίδραση καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	4.302	8,05	3.634	0	660	0
Επίδραση μη καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	3.856	7,28	3.294	0	554	0
Επίδραση ανόργανων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων.	kg PM <sub>2.5</sub> eq	107	11,75	81,25	0	14,74	0
Ιονίζουσα ακτινοβολία	Bq C – 14 eq	1.373.104	17.891	1.146.382	0	208.831	0
Μείωση του στρώματος του όζοντος	kg CFC – 11 eq	9E-03	2,34E-05	8E-03	0	8,8E-04	0
Επίδραση οργανικών σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	150	2,54	135	0,17	6,36	5,95
Τοξικότητα υδάτινου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>water</sub>	7.125.801	22.917	5.944.009	0	1.158.875	0
Τοξικότητα χερσαίου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>soil</sub>	2.778.500	6.393	2.474.996	0	297.110	0
Οξύνιση του εδάφους	kg SO <sub>2</sub> eq	1.912	495	1.127	0	290	0
Χρήση γης	m <sup>2</sup> <sub>org.arable</sub>	3.436	8,65	3.277	0	150	0
Οξύνιση βυθού	kg SO <sub>2</sub> eq	398	64,22	273	0	60,26	0
Ευτροφισμός υδάτινου	kg PO <sub>4</sub> P-lim	16,66	0,11	13,22	0	3,33	0

οικοσυστήματος							
Φαινόμενο του θερμοκηπίου	kg CO <sub>2</sub> eq	124188	22694	80962	222	12785	7524
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	MJ <sub>primary</sub>	1457929	6442	1248547	0	202939	0
Εξαγωγή πρώτων υλών από το ορυχείο	MJ <sub>surplus</sub>	24090	17,13	23231	0	842,3	0

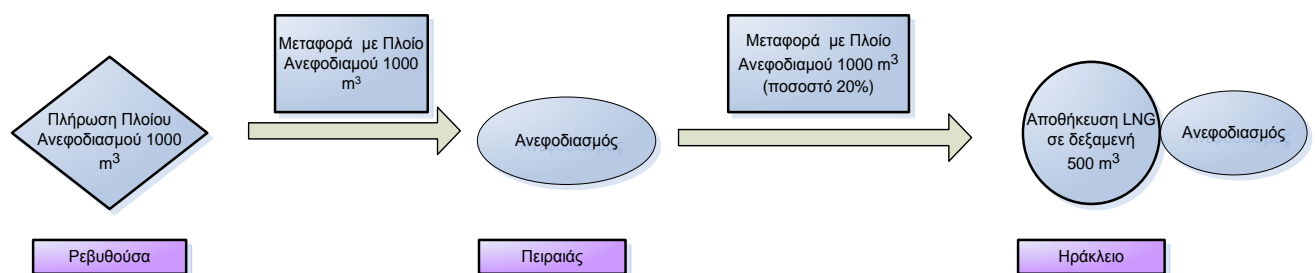


Διάγραμμα 69 Συνολική συνεισφορά κάθε διεργασίας προμήθειας 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 m<sup>3</sup> (Impact 2002/Single Score)

Από τις κατηγορίες που επηρεάζει η αποθήκευση του καυσίμου, στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στις οργανικές ουσίες πέρα από τη δεξαμενή συμβάλλει και το διαφυγόν αέριο μεθανίου κατά την αποθήκευση.

### Περίπτωση 7

Μεταφορά και ανεφοδιασμός 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 κυβικών μέτρων



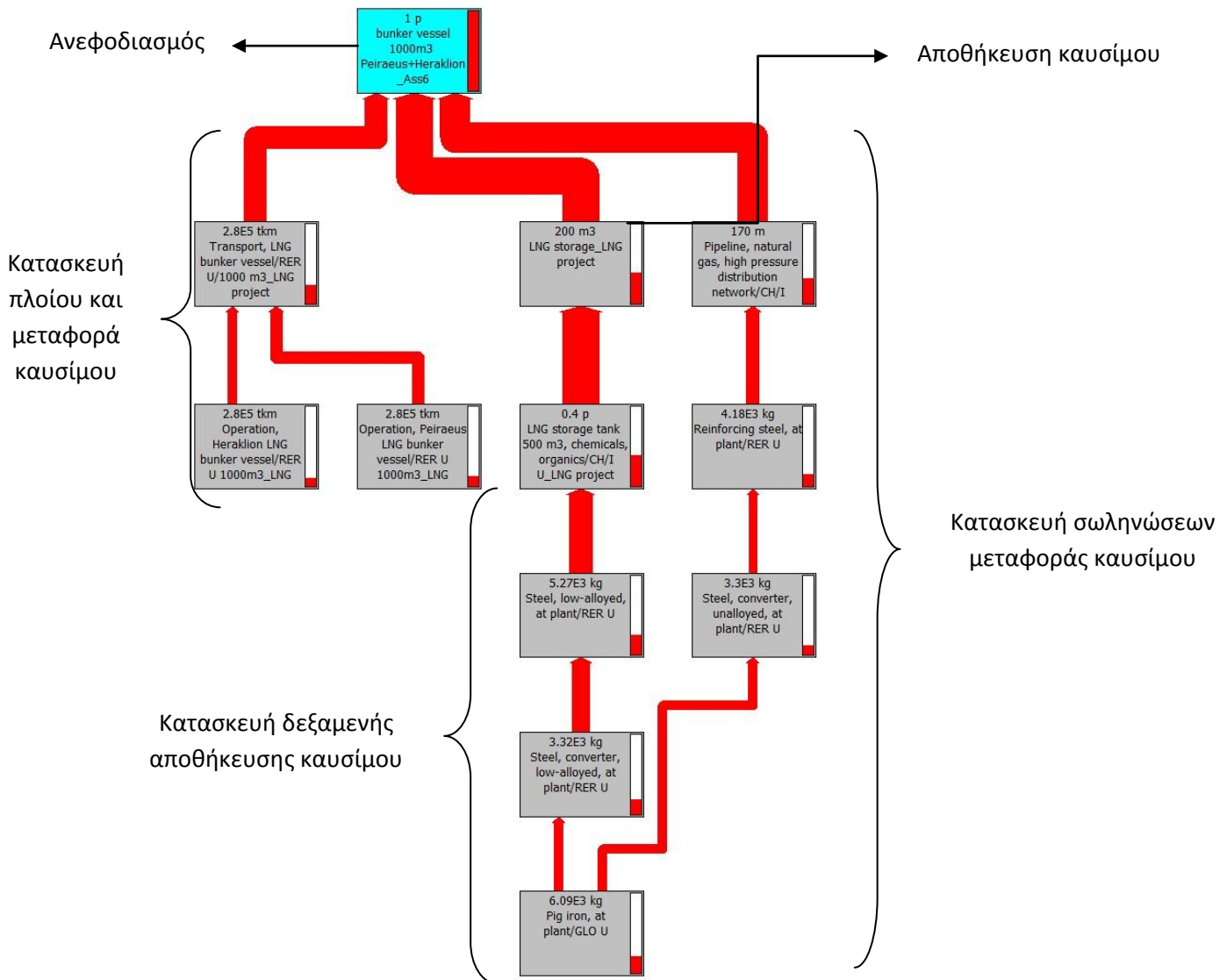
Εικόνα 17 Μεταφορά και ανεφοδιασμός 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 m<sup>3</sup>

Αποτελείται από τις παρακάτω διεργασίες:

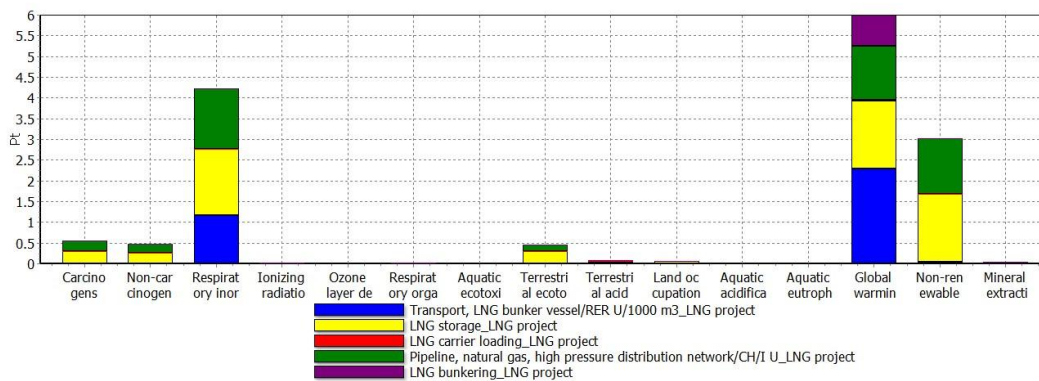
- ✚ Πλήρωση πλοίου ανεφοδιασμού με φορτίο
- ✚ Μεταφορά καυσίμου με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 κυβικών μέτρων
- ✚ Ανεφοδιασμός πλοίου στο λιμάνι του Πειραιά
- ✚ Αποθήκευση καυσίμου στο λιμάνι του Ηρακλείου

Ανεφοδιασμός πλοίου στο λιμάνι του Ηρακλείου

Διάγραμμα ροής



Διάγραμμα 70 Διάγραμμα ροής προμήθειας καυσίμου 1000 m³ με πλοίο ανεφοδιασμού στα λιμάνια του Πειραιά και του Ηρακλείου



**Διάγραμμα 71 Συνεισφορά διεργασιών προμήθειας καυσίμων 1000 m<sup>3</sup> με πλοίο ανεφοδιασμού στα λιμάνια του Πειραιά και του Ηρακλείου ανά κατηγορία επιπτώσεων (Impact 2002/Weighting Profile)**

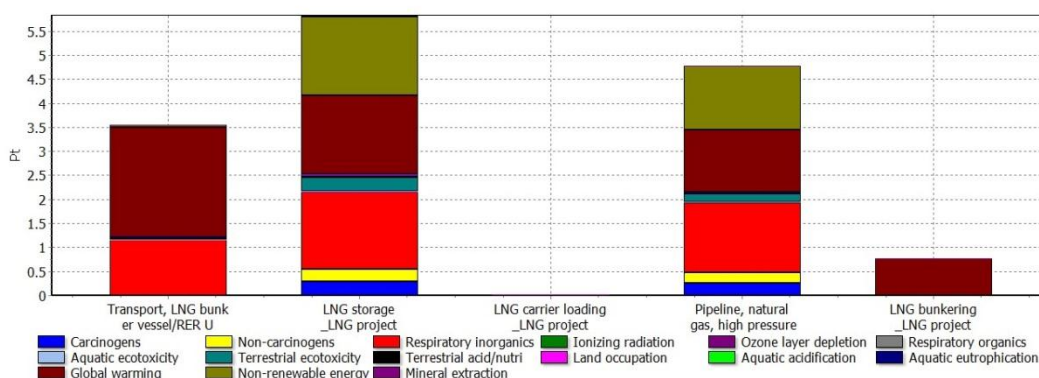
Από το Διάγραμμα 71 παρατηρούμε ότι και σε αυτή την περίπτωση η περιβαλλοντική επιβάρυνση από τη μεταφορά επηρεάζει αρκετές κατηγορίες. Η επιβάρυνση φαίνεται να έχει μεγαλύτερη επίδραση στις κατηγορίες των ανόργανων σωματιδίων που εισέρχονται στο αναπνευστικό, στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σημαντικά μικρότερη επιβάρυνση παρουσιάζεται να έχουν οι κατηγορίες των καρκινογόνων και μη καρκινογόνων, όπως και η επίγεια οικοτοξικότητα. Τέλος, πολύ μικρή είναι η επίδραση στην επίγεια οξύνιση και στην κατοχή της γης. Οι κατηγορίες επιπτώσεων καταδεικνύουν ότι η κύρια αιτία της επίπτωσης είναι η κατασκευή του απαιτούμενου εξοπλισμού προμήθειας. Ωστόσο οι εκπομπές κατά τον ανεφοδιασμό συνεισφέρουν σημαντικά το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

**Πίνακας 131 Επιπτώσεις διεργασιών προμήθειας καυσίμων 1000 m<sup>3</sup> με πλοίο ανεφοδιασμού στα λιμάνια του Πειραιά και του Ηρακλείου ανά κατηγορία επιπτώσεων**

Κατηγορία Επιπτώσεων	Μονάδα	Συνολική Επίπτωση	Μεταφορά LNG με πλοίο 1000 m <sup>3</sup>	Αποθήκευση LNG	Πλήρωση πλοίου με LNG	Μεταφορά με σωληνώσεις	Ανεφοδιασμός LNG
Επίδραση καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	1.395	8,05	726	0	660	0
Επίδραση μη καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	1.221	7,28	658	0	554	0
Επίδραση ανόργανων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων.	kg PM <sub>2.5 eq</sub>	42,74	11,75	16,25	0	14,74	0
Ιονίζουσα ακτινοβολία	Bq C – 14 <sub>eq</sub>	455.998	17.891	229.276	0	208.831	0
Μείωση του στρώματος του όζοντος	kg CFC – 11 <sub>eq</sub>	0,003	2,34E-05	2E-03	0	8,8E-04	0
Επίδραση οργανικών σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων	kg C <sub>2</sub> H <sub>4 eq</sub>	42,16	2,54	27,14	0,17	6,36	5,95

Τοξικότητα υδάτινου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>water</sub>	2.370.594	22.917	1.188.802	0	1.158.875	0
Τοξικότητα χερσαίου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>soil</sub>	798.503	6.393	494.999	0	297.110	0
Οξίνιση του εδάφους	kg SO <sub>2</sub> eq	1.011	495	225	0	290	0
Χρήση γης	m <sup>2</sup> <sub>org.arable</sub>	814	8,65	655	0	150	0
Οξίνιση βυθού	kg SO <sub>2</sub> eq	179	64,22	54,72	0	60,26	0
Ευτροφισμός υδάτινου οικοσυστήματος	kg PO <sub>4</sub> P-lim	6,09	0,11	2,65	0	3,33	0
Φαινόμενο του θερμοκηπίου	kg CO <sub>2</sub> eq	59.418	22.694	16.192	222,3	12.785	7.524
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	MJ <sub>primary</sub>	459.091	6.442	249.709	0	202.940	0
Εξαγωγή πρώτων υλών από το ορυχείο	MJ <sub>surplus</sub>	5.506	17,13	4.646	0	842	0

Το προφίλ των ποσοστιαίων συνεισφορών (Πίνακας 131) είναι παρόμοιο με την προηγούμενη περίπτωση, ωστόσο η συμβολή της αποθήκευση είναι μικρότερη. Αυτό οφείλεται στο μικρότερο όγκο καυσίμου που αποθηκεύεται στο λιμάνι, επομένως και στις μικρότερες εκπομπές των διαδικασιών κατασκευής της δεξαμενής και στο μικρότερο όγκο διαφυγόντων αερίων κατά την αποθήκευση.

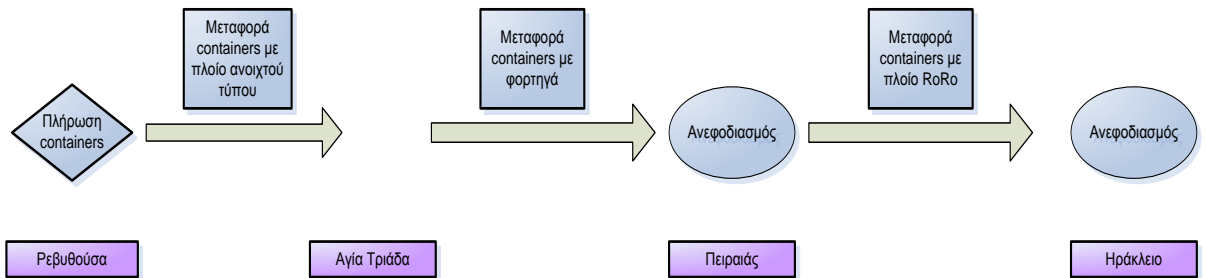


**Διάγραμμα 72 Συνολική συνεισφορά κάθε διαδικασίας προμήθειας καυσίμου 1000 m<sup>3</sup> με πλοίο ανεφοδιασμού στα λιμάνια του Πειραιά και του Ηρακλείου ανά κατηγορία επιπτώσεων (Impact 2002/Single Score)**

Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι η συνεισφορά της μεταφοράς του καυσίμου δεν είναι η κυριότερη. Για την ακρίβεια είναι πολύ μικρή αν συγκριθεί με τη συμβολή της αποθήκευσης του καυσίμου στο λιμάνι, εξαιτίας της κατασκευής του εξοπλισμού που απαιτείται. Στο τελικό αποτύπωμα αξιοσημείωτη είναι η συνεισφορά της ενέργειας από μη ανανεώσιμες πηγές, που απαιτήθηκε για την κατασκευή του εξοπλισμού αποθήκευσης. Τέλος είναι σημαντική η συμβολή κάθε τμήματος της περίπτωσης στην όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

## Περίπτωση 8

Μεταφορά και ανεφοδιασμός  $1000\text{ m}^3$  στο λιμάνι του Πειραιά με πλοίο ανοιχτού τύπου και φορηγά και στη συνέχεια με οχηματαγωγό πλοίο στο λιμάνι του Ηρακλείου

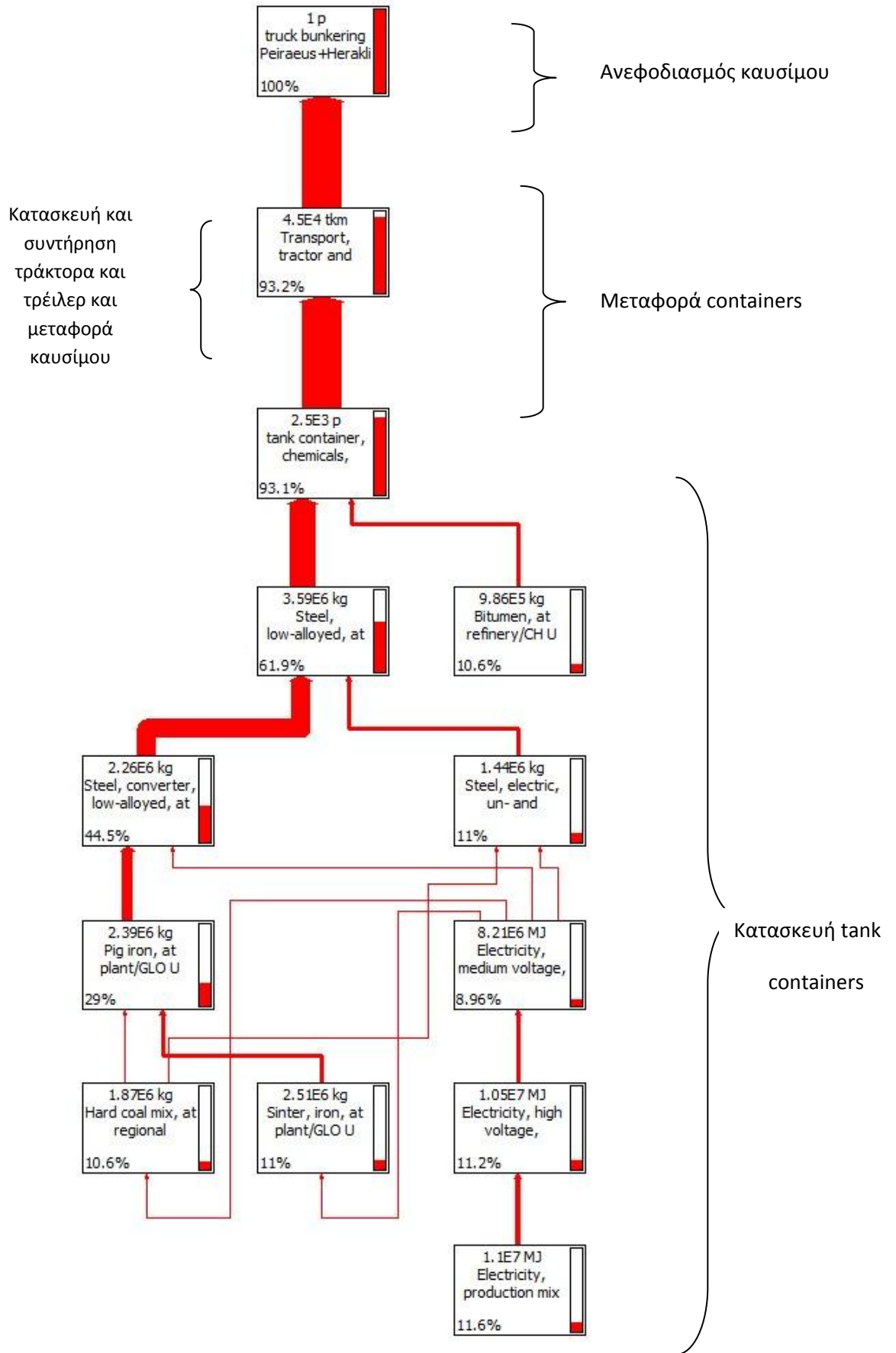


Εικόνα 18 Μεταφορά και ανεφοδιασμός  $1000\text{ m}^3$  στο λιμάνι του Πειραιά με πλοίο ανοιχτού τύπου και φορηγά και στη συνέχεια με οχηματαγωγό πλοίο στο λιμάνι του Ηρακλείου

Αποτελείται από τις παρακάτω διεργασίες:

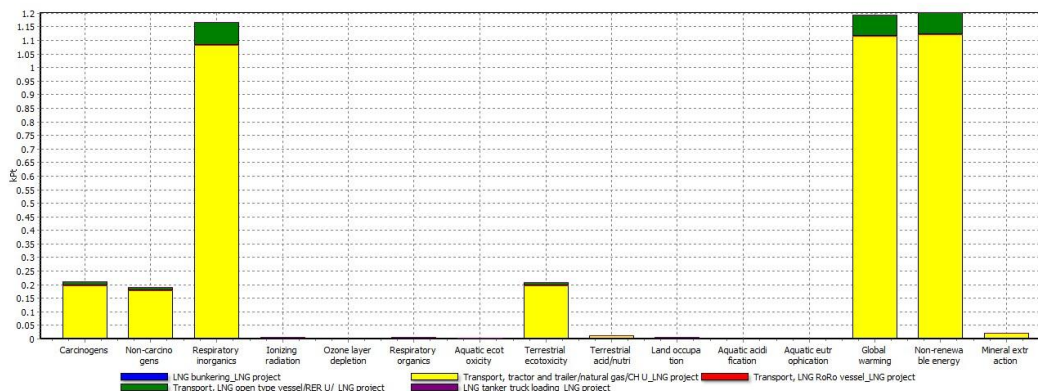
- ✚ Πλήρωση φορηγών με LNG
- ✚ Μεταφορά LNG containers με πλοίο ανοιχτού τύπου στην απέναντι ακτή του σταθμού εισαγωγής LNG
- ✚ Μεταφορά LNG containers με φορηγά στ λιμάνι του Πειραιά
- ✚ Ανεφοδιασμός στο λιμάνι του Πειραιά
- ✚ Μεταφορά containers με οχηματαγωγό πλοίο στο λιμάνι του Ηρακλείου
- ✚ Αποθήκευση καυσίμου στο λιμάνι του Ηρακλείου
- ✚ Ανεφοδιασμός στο λιμάνι του Ηρακλείου

*Διάγραμμα ροής*



Διάγραμμα 73 Διάγραμμα ροής προμήθειας καυσίμων 1000 m<sup>3</sup> με φορητά και οχηματοαγωγό πλοίο





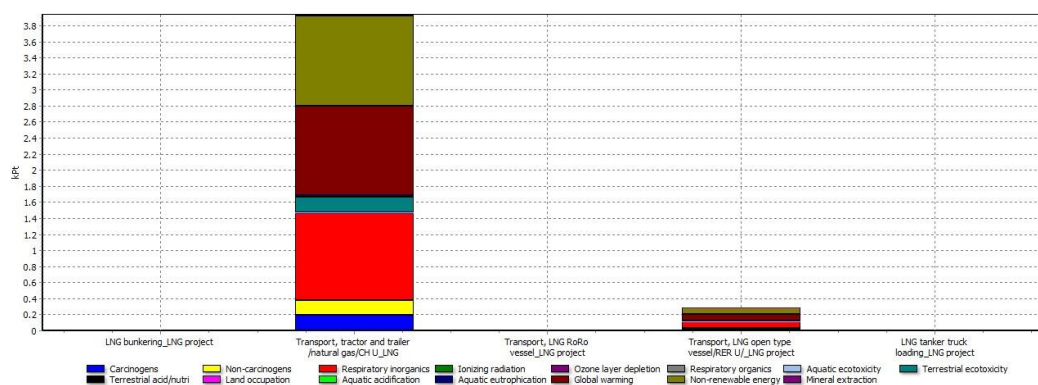
Διάγραμμα 74 Συνεισφορά των διεργασιών προμήθειας καυσίμου 1000 m<sup>3</sup> με φορτηγά και οχηματαγωγό πλοίο ανά κατηγορία επιπτώσεων (Impact 2002/Weighting Profile)

Πίνακας 132 Επιπτώσεις διεργασιών προμήθειας καυσίμου 1000 m<sup>3</sup> με φορτηγά και οχηματαγωγό πλοίο ανά κατηγορία επιπτώσεων

Κατηγορία Επιπτώσεων	Μονάδα	Συνολική Επίπτωση	Ανεφοδιασμός LNG	Μεταφορά με φορτηγά	Μεταφορά LNG με πλοίο RoRo	Μεταφορά LNG με πλοίο ανοιχτού τύπου	Πλήρωση φορτηγού με LNG
Επίδραση καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	535.708	0	499.408	5,98E-07	36.300	0
Επίδραση μη καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	484.331	0	452.985	6,37E-06	31.346	0
Επίδραση ανόργανων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων.	kg PM <sub>2.5</sub> eq	11.821	0	10.964	0,19	857	0
Ιονίζουσα ακτινοβολία	Bq C – 14 eq	1,7E+08	0	1,58E+08	0	12.595.773	0
Μείωση του στρώματος του όζοντος	kg CFC – 11 eq	1,15	0	1,09	0	0,06	0
Επίδραση οργανικών σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	19.366	5,95	18.564	0,24	794	1
Τοξικότητα υδάτινου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>water</sub>	8,84E+08	0	8,15E+08	2,73E-03	69.585.131	0
Τοξικότητα χερσαίου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>soil</sub>	3,62E+08	0	3,39E+08	9E-03	22.510.913	0
Οξύνιση του εδάφους	kg SO <sub>2</sub> eq	162.875	0	151.244	7,05	11.624	0
Χρήση γης	m <sup>2</sup> <sub>org.arable</sub>	88.882	0	84.595	0	4.287	0
Οξύνιση βυθού	kg SO <sub>2</sub> eq	41.228	0	37.105	0,91	4.122	0
Ευτροφισμός υδάτινου οικοσυστήματος	kg PO <sub>4</sub> P-lim	2.080	0	1.814	0	266	0
Φαινόμενο του θερμοκηπίου	kg CO <sub>2</sub> eq	11.820.388	7.524	11.042.037	728	768.832	1.265

Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	MJ <sub>primary</sub>	1,83E+08	0	1,7E+08	0	12.353.284	0
Εξαγωγή πρώτων υλών από το ορυχείο	MJ <sub>surplus</sub>	3.276.532	0	3.196.212	0	80.320	0

Ο Πίνακας 132 αποτυπώνει τις συνεισφορές όλων των διεργασιών. Κύριος παράγοντας του συνολικού αποτυπώματος είναι κάθε είδους μεταφορά του καυσίμου (κυρίως η χερσαία), ενώ η πλήρωση και ο ανεφοδιασμός έχουν μηδαμινή συνεισφορά. Οι κατηγορίες που επηρεάζονται περισσότερο είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, οι ανόργανες ουσίες και οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι δύο πρώτες κατηγορίες συνδέονται με τη μεταφορά του καυσίμου και η τρίτη με την κατασκευή του εξοπλισμού. Οι κατηγορίες που επηρεάζονται μεν σημαντικά σε μικρότερο βαθμό δε από τις προαναφερθείσες είναι τα καρκινογόνα και μη καρκινογόνα σωματίδια στο αναπνευστικό, η εξόρυξη πρώτων υλών και η τοξικότητα του χερσαίου οικοσυστήματος. Όλες αυτές οι κατηγορίες συνδέονται με την κατασκευή του εξοπλισμού.

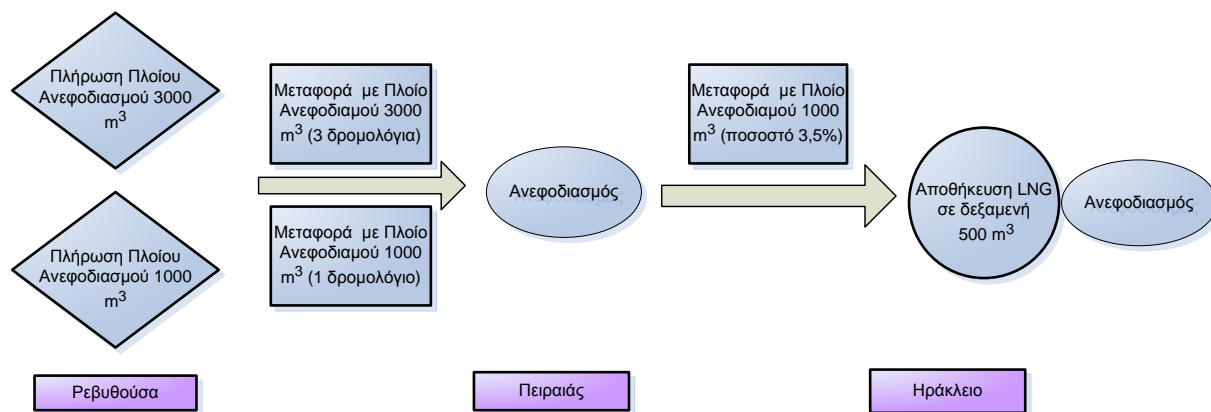


**Διάγραμμα 75 Συνολική συνεισφορά κάθε διεργασίας προμήθειας καυσίμου 1000 m<sup>3</sup> με φορτηγά και οχηματαγωγό πλοίο (Impact 2002/Single Score)**

Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις προμήθειας, στις οποίες χρησιμοποιούνται τα φορτηγά, η ένταση και οι κατηγορίες της ρύπανσης οφείλονται στο μεγαλύτερο βαθμό στην κατασκευή του εξοπλισμού (τράκτορες και containers). Αμέσως μικρότερη ένταση επίπτωσης έχει η μεταφορά με πλοία και σχεδόν μηδαμινή η πλήρωση και ο ανεφοδιασμός. Εντύπωση προκαλεί η μικροτερη συνεισφορά του οχηματαγωγού πλοίου σε σχέση με εκείνη του πλοίου ανοιχτού τύπου. Ωστόσο το αποτέλεσμα μπορεί να ερμηνευτεί δεδομένου του μικρότερου φορτίου LNG που μεταφέρει.

### Περίπτωση 9

Μεταφορά και ανεφοδιασμός 5000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια του Ηρακλείου με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 m<sup>3</sup> και 3000 m<sup>3</sup>

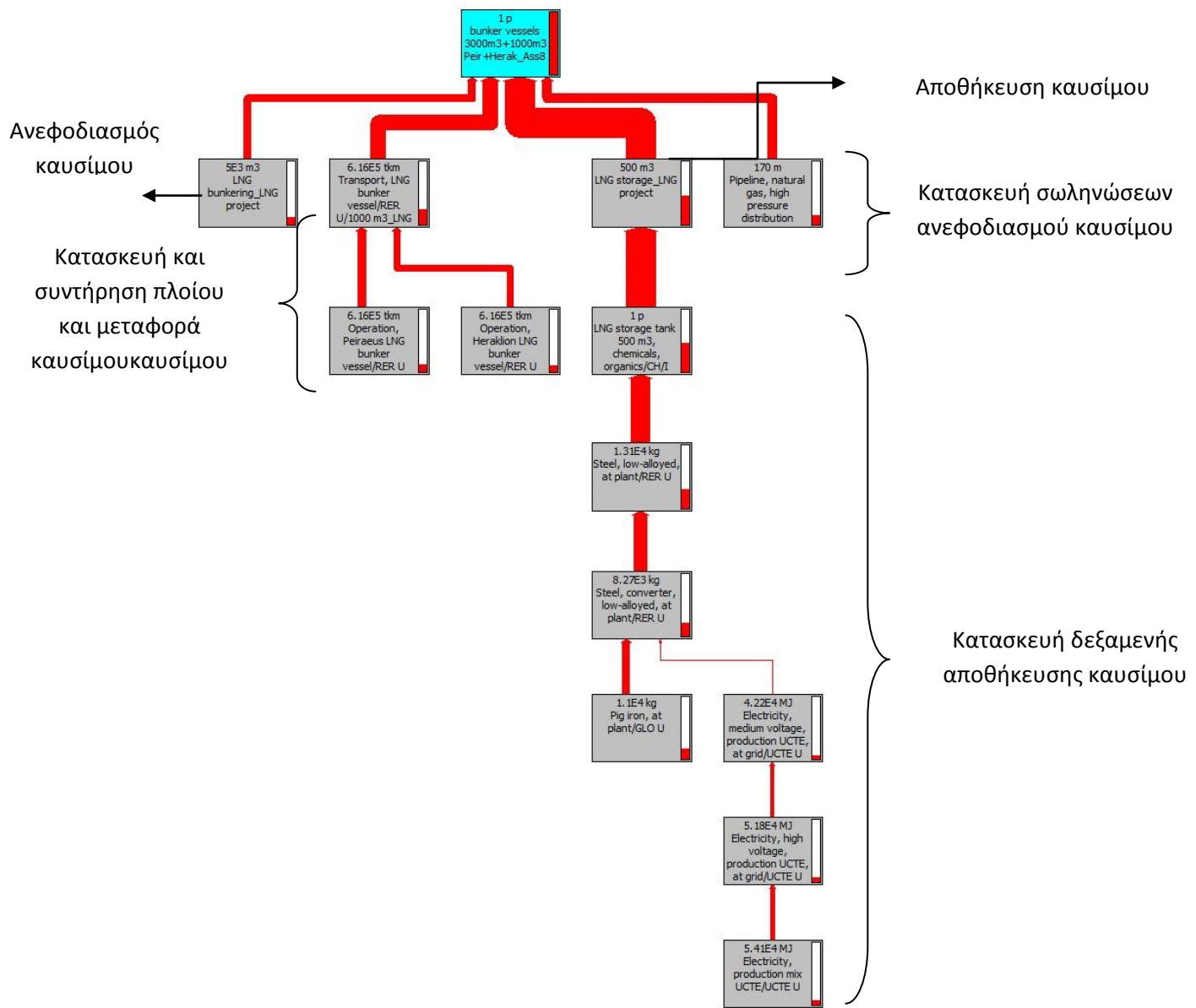


Εικόνα 19 Μεταφορά και ανεφοδιασμός 5000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια του Ηρακλείου με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 και 3000 m<sup>3</sup>

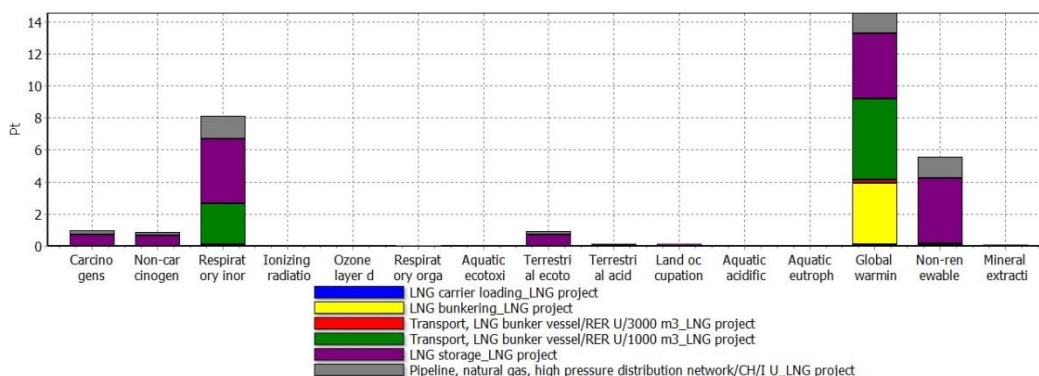
Αποτελείται από τις παρακάτω διεργασίες:

- ✚ Πλήρωση πλοίων ανεφοδιασμού
- ✚ Μεταφορά καυσίμου στο λιμάνι του Πειραιά με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 και 3000 κυβικών μέτρων
- ✚ Ανεφοδιασμός στο λιμάνι του Πειραιά
- ✚ Μεταφορά καυσίμου στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοίο ανεφοδιασμού 1000 κυβικών μέτρων
- ✚ Αποθήκευση καυσίμου σε δεξαμενή στο λιμάνι του Ηρακλείου
- ✚ Ανεφοδιασμός στο λιμάνι του Ηρακλείου

### Διάγραμμα Ροής



Διάγραμμα 76 Διάγραμμα ροής προμήθειας καυσίμου 5000 m<sup>3</sup> με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup> και 1000 m<sup>3</sup> στα λιμάνια του Πειραιά και του Ηρακλείου



**Διάγραμμα 77 Συνεισφορά των διεργασιών προμήθειας καυσίμου 5000 m<sup>3</sup> με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup> και 1000 m<sup>3</sup> στα λιμάνια του Πειραιά και του Ηρακλείου ανά κατηγορία (Impact 2002/Weighting Profile)**

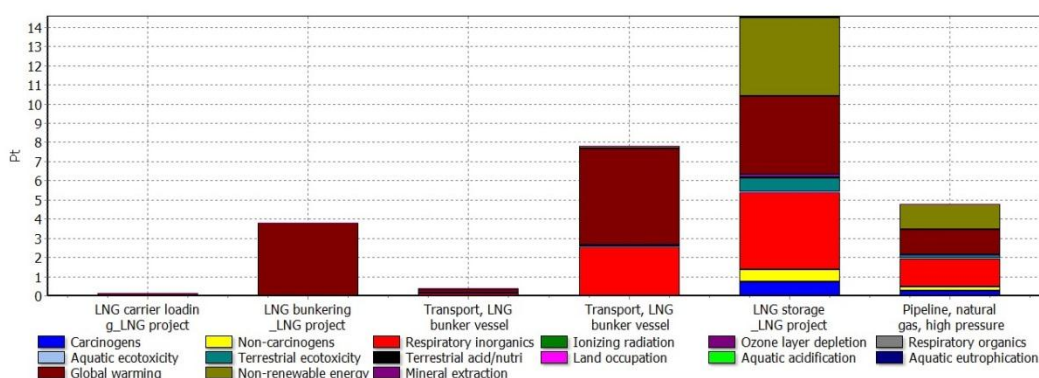
Στο Διάγραμμα 77 αποτυπώνεται, ότι οι κύριες κατηγορίες επιπτώσεων είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και οι ανόργανες ουσίες. Επιπτώσεις παρουσιάζονται επίσης στις κατηγορίες καρκινογόνων ουσιών, μη καρκινογόνων ουσιών και επίγεια οικοτοξικότητα.

**Πίνακας 133 Επιπτώσεις των διεργασιών προμήθειας καυσίμου 5000 m<sup>3</sup> με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup> και 1000 m<sup>3</sup> στα λιμάνια του Πειραιά και του Ηρακλείου ανά κατηγορία**

Κατηγορία Επιπτώσεων	Μονάδα	Συνολική Επίπτωση	Πλήρωση πλοίου με LNG	Ανεφοδιασμός LNG	Μεταφορά LNG με πλοίο 3000 m <sup>3</sup>	Μεταφορά LNG με πλοίο 1000 m <sup>3</sup>	Αποθήκευση LNG	Μεταφορά με σωληνώσεις
Επίδραση καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	2.503	0	0	8,15	17,7	1.817	660
Επίδραση μη καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	2.225	0	0	7,35	16	1.647	555
Επίδραση ανόργανων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων.	kg PM <sub>2.5</sub> eq	82,42	0	0	1,23	25,82	40,63	14,74
Ιονίζουσα ακτινοβολία	Bq C – 14 eq	837.777	0	0	16.429	39.326	573.191	208.831
Μείωση του στρώματος του όζοντος	kg CFC – 11 eq	5E-03	0	0	2,39E-05	5,14E-05	4E-03	8,8E-04
Επίδραση οργανικών σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	111	0,88	29,75	1,45	5,58	67,84	6,36
Τοξικότητα υδάτινου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>water</sub>	4.203.547	0	0	22.294	50.373	2.972.004	1.158.875
Τοξικότητα χερσαίου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>soil</sub>	1.555.066	0	0	6.405	14.053	1.237.498	297.110
Οξύνιση του εδάφους	kg SO <sub>2</sub> eq	1.987	0	0	44,99	1.089	563	290

Χρήση γης	m <sup>2</sup> <sub>org.arable</sub>	1.816	0	0	7,94	19,01	1.638	150
Οξίνιση βυθού	kg SO <sub>2</sub> eq	345	0	0	6,72	141	136	60,26
Ευτροφισμός υδάτινου οικοσυστήματος	kg PO <sub>4</sub> P-lim	10,3	0	0	0,11	0,25	6,61	3,33
Φαινόμενο του θερμοκηπίου	kg CO <sub>2</sub> eq	144.045	1.112	37.620	2.165	49.883	40.481	12.785
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	MJ <sub>primary</sub>	847.577	0	0	6.203	14.161	624.274	202.940
Εξαγωγή πρώτων υλών από το ορυχείο	MJ <sub>surplus</sub>	12.516	0	0	21,08	37,64	11.615	842

Από τον Πίνακα 133 φαίνεται ότι στις περισσότερες κατηγορίες επιπτώσεων συμμετέχει ο εξοπλισμός. Οι κατηγορίες καρκινογόνες ουσίες, μη καρκινογόνες ουσίες, επίγεια οικοτοξικότητα και μη ανανεώσιμες πηγές συνδέονται με την κατασκευή του εξοπλισμού αποθήκευσης. Οι επιπτώσεις στην κατηγορία των οργανικών ενώσεων οφείλονται τόσο στον εξοπλισμό, όσο και στη μεταφορά και στον ανεφοδιασμό, εξαιτίας των οργανικών ουσιών που περιέχει το καύσιμο. Οι επιπτώσεις στην κατηγορία του φαινομένου του θερμοκηπίου προέρχονται από όλες τις διεργασίες για ίδιους λόγους με τις παραπάνω περιπτώσεις.

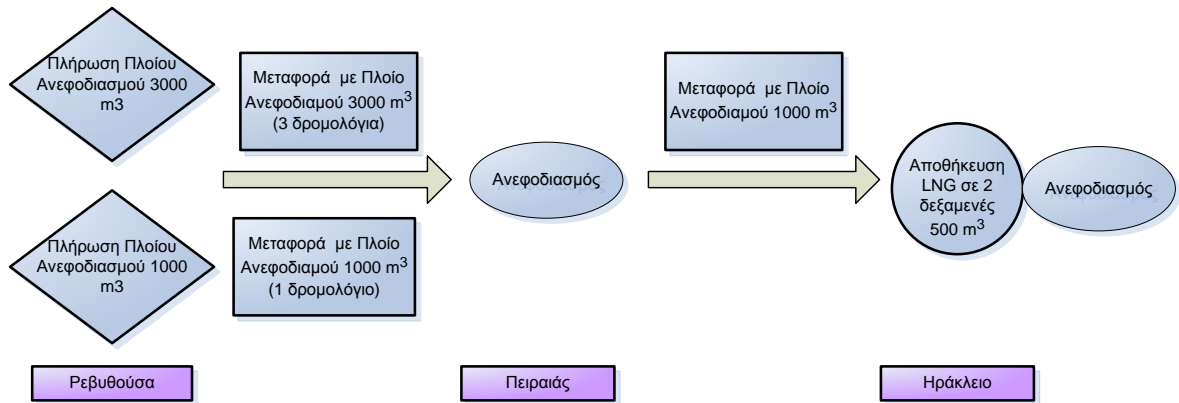


**Διάγραμμα 78 Συνολική συνεισφορά κάθε διεργασίας προμήθειας καυσίμου 5000 m<sup>3</sup> με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup> και 1000 m<sup>3</sup> στα λιμάνια του Πειραιά και του Ηρακλείου (Impact 2002/Single Score)**

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 78 η συνολική επίπτωση του πλοίου ανεφοδιασμού συνολικής χωρητικότητας 3000 κυβικών μέτρων είναι πολύ μικρότερη εκείνης του πλοίου ανεφοδιασμού 1000 κυβικών μέτρων. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στα περισσότερα δρομολόγια και τη μεγαλύτερη απόσταση που διανύει το πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 κυβικών μέτρων.

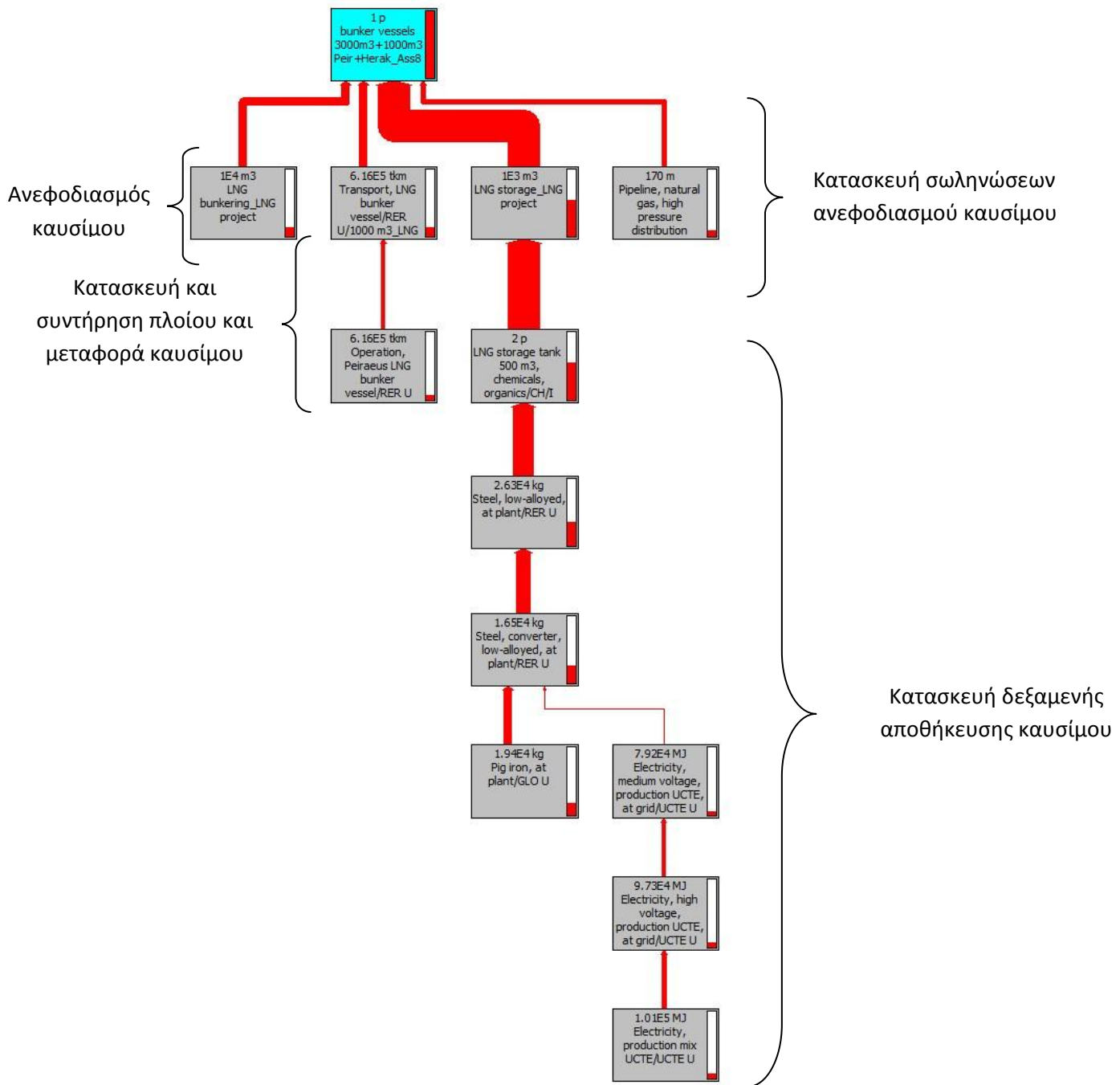
### Περίπτωση 10

Μεταφορά και ανεφοδιασμός 10000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια 10000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 και 3000 m<sup>3</sup>



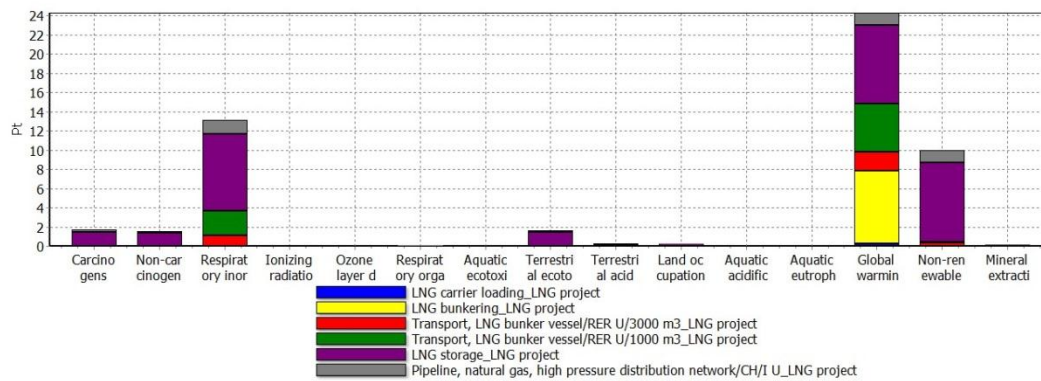
Εικόνα 20 Μεταφορά και ανεφοδιασμός 10000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια 10000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 και 3000 m<sup>3</sup>

Διάγραμμα Ροής



Διάγραμμα 79 Διάγραμμα ροής προμήθειας καυσίμου 10000 m<sup>3</sup> με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup> και 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά και 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Ηρακλείου



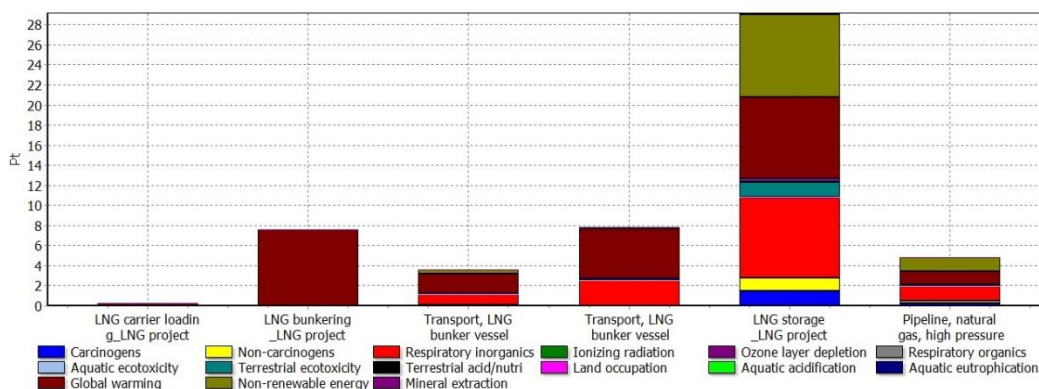


**Διάγραμμα 80 Συνεισφορά των διεργασιών προμήθειας καυσίμου 10000 m<sup>3</sup> με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup> και 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά και 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Ηρακλείου ανά κατηγορία (Impact 2002/Weighting Profile)**

**Πίνακας 134 Επιπτώσεις διεργασιών προμήθειας καυσίμου 10000 m<sup>3</sup> με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup> και 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά και 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Ηρακλείου ανά κατηγορία**

Κατηγορία Επιπτώσεων	Μονάδα	Συνολική Επίπτωση	Πλήρωση Πλοίου με LNG	Ανεφοδιασμός LNG	Μεταφορά LNG με πλοίο 3000 m <sup>3</sup>	Μεταφορά LNG με πλοίο 1000 m <sup>3</sup>	Αποθήκευση LNG	Μεταφορά με σωληνώσεις
Επίδραση καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	4.385	0	0	73,36	17,7	3.634	660
Επίδραση μη καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	3.931	0	0	66,15	16	3.294	554
Επίδραση ανόργανων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων.	kg PM <sub>2.5</sub> eq	132	0	0	11,1	25,82	81,25	14,74
Ιονίζουσα ακτινοβολία	Bq C – 14 eq	1.542.401	0	0	147.862	39.326	1.146.382	208.831
Μείωση του στρώματος του όζοντος	kg CFC – 11 eq	9,2E-03	0	0	2,15E-04	5,14E-05	8E-03	8,8E-04
Επίδραση οργανικών σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	221	1,76	59,49	13	5,58	135	6,36
Τοξικότητα υδάτινου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>water</sub>	7.353.906	0	0	200.650	50.373	5.944.009	1.158.875
Τοξικότητα χερσαίου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>soil</sub>	2.843.804	0	0	57.645	14.053	2.474.996	297.110
Οξίνιση του εδάφους	kg SO <sub>2</sub> eq	2.910	0	0	404	1.089	1.127	290
Χρήση γης	m <sup>2</sup> <sub>org.arable</sub>	3.517	0	0	71,48	19	3.277	150
Οξίνιση βυθού	kg SO <sub>2</sub> eq	535	0	0	60,52	141	273	60,26
Ευτροφισμός υδάτινου οικοσυστήματος	kg PO <sub>4</sub> P-lim	17,76	0	0	0,957	0,25	13,22	3,33
Φαινόμενο του	kg CO <sub>2</sub> eq	240.575	2.223	75.240	19.482	49.883	80.962	12.785

θερμοκηπίου								
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	MJ <sub>primary</sub>	1.521.478	0	0	55.831	14.161	1.248.547	202.940
Εξαγωγή πρώτων υλών από το ορυχείο	MJ <sub>surplus</sub>	24.300	0	0	189	37,64	23.231	842



**Διάγραμμα 81 Συνολική συνεισφορά κάθε διεργασίας προμήθειας καυσίμου 10000 m<sup>3</sup> με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 3000 m<sup>3</sup> και 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά και 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Ηρακλείου (Impact 2002/Single Score)**

Τα συμπεράσματα είναι ανάλογα με την προηγούμενη περίπτωση.

### Παρατηρήσεις

Από τα αποτελέσματα των περιπτώσεων εξάγεται το συμπέρασμα ότι η μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση προκύπτει από τα φορτηγά, στα οποία έχει ληφθεί υπ' όψη τόσο η κατασκευή των τρέιλερς και των containers όσο και η λειτουργία τους. Η συμβολή της πλήρωσης των μέσων μεταφοράς του φορτίου είναι μικρή σε σχέση τόσο με τη μεταφορά όσο και με τον ανεφοδιασμό. Μικρή επίπτωση στο περιβάλλον παρατηρείται και στη διαδικασία του ανεφοδιασμού, ωστόσο μεγαλύτερη από αυτή της πλήρωσης του καυσίμου. Αυτό δικαιολογείται από την απουσία μέσων δέσμευσης των διαφυγόντων αερίων. Σημαντικός είναι ο αντίκτυπος της αποθήκευσης του καυσίμου σε δεξαμενή. Ο αντίκτυπος της αποθήκευσης δεν περιορίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου λόγω των αερίων διαφυγής, αλλά εξαιτίας του απαιτούμενου εξοπλισμού εμφανίζεται και σε άλλες κατηγορίες. Η μεταφορά με πλοίο ανεφοδιασμού προκαλεί πολύ μικρή επιβάρυνση ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις. Η μεταφορά με πλοίο ανοιχτού τύπου έχει πολύ μικρή συνεισφορά, εξαιτίας κυρίως της πολύ μικρής διανυόμενης απόστασης, αλλά και της μικρής ισχύος λειτουργίας του. Η μεταφορά με οχηματαγωγό πλοίο έχει περιβαλλοντικό αποτύπωμα μεγαλύτερο του πλοίου ανεφοδιασμού, αλλά μικρότερο των φορτηγών. Αυτό οφείλεται στον σχετικά μεγάλο αριθμό των containers που απαιτείται για τη μεταφορά του LNG (ο αριθμός έχει παρουσιαστεί στην οικονομοτεχνική μελέτη).

Η κατασκευή του εξοπλισμού επηρεάζει έντονα τις κατηγορίες που συνδέονται με την ανθρώπινη υγεία (καρκινογόνα και μη καρκινογόνα σωματίδια) και την εξαγωγή πρώτων υλών. Ο ανεφοδιασμός και η πλήρωση του καυσίμου επιδρούν κυρίως στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στις οργανικές ουσίες εξαιτίας των ουσιών που περιλαμβάνονται στο

καύσιμο. Η χερσαία μεταφορά επιβαρύνει το περιβάλλον σημαντικά σε περισσότερες κατηγορίες, οι οποίες αφορούν κυρίως τις ανάγκες σε γη, όπως άλλωστε ήταν αναμενόμενο.

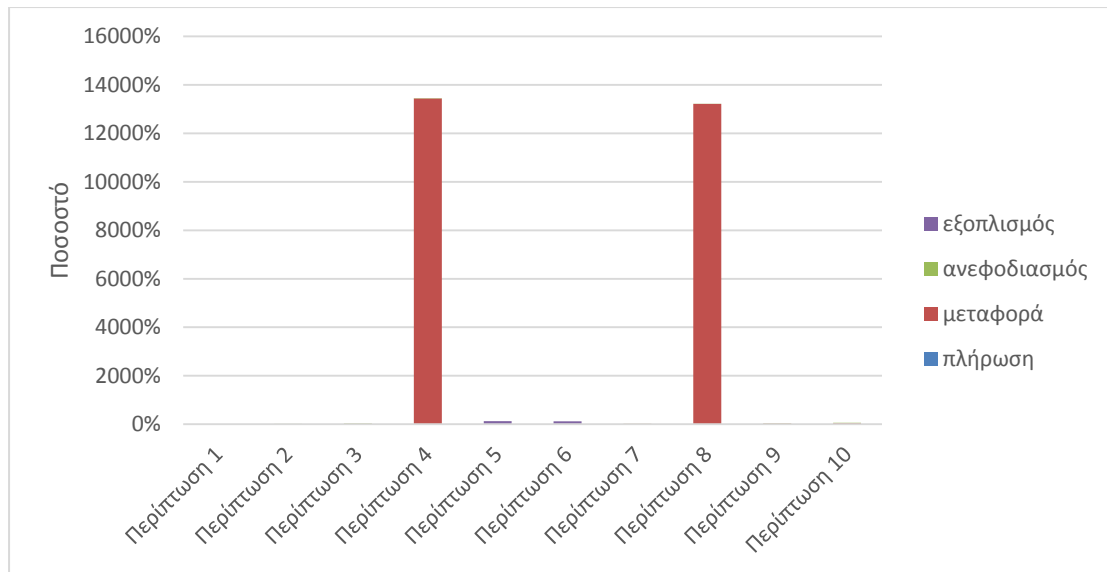
Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι για μικρές ισχύεις λειτουργίας η θαλάσσια μεταφορά είναι προτιμότερη της χερσαίας, όσον αφορά στις περιβαλλοντικές επιδόσεις. Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον προέρχονται κατά κύριο λόγο από την κατασκευή του εξοπλισμού. Επομένως πρέπει να δοθεί έμφαση σε φιλικότερες μεθόδους κατασκευής του εξοπλισμού. Όσον αφορά στον ανεφοδιασμό, ένας τρόπος να γίνει φιλικότερος προς το περιβάλλον είναι η καύση των διαφυγόντων αερίων, προκειμένου να μην εκπέμπεται μεθάνιο στην ατμόσφαιρα.

## Συγκριτική Παρουσίαση Περιπτώσεων

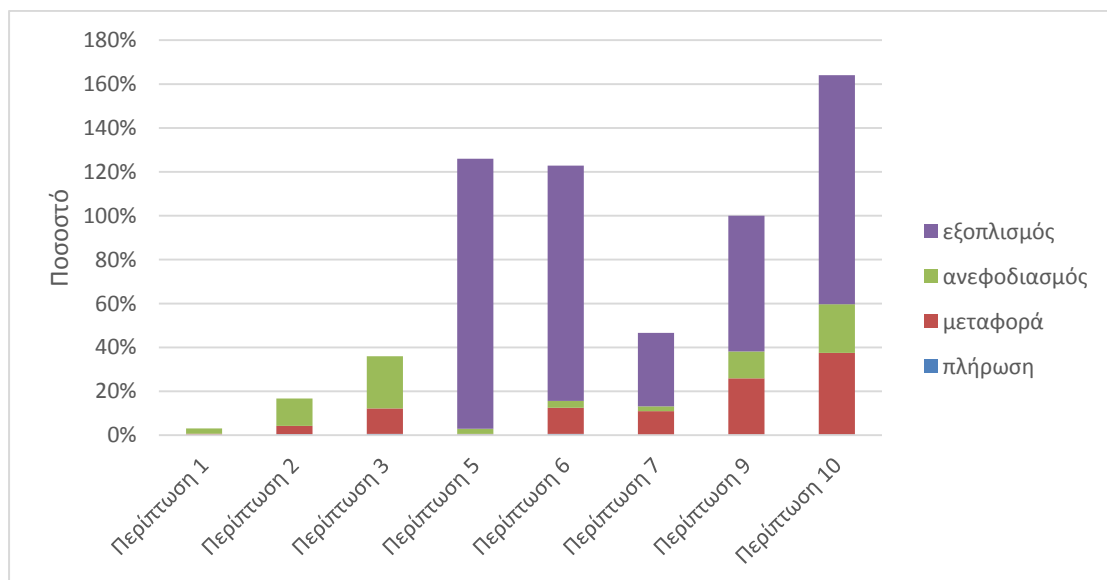
Προκειμένου να γίνει καλύτερα αντιληπτή η διαφορά στο μέγεθος των επιπτώσεων που προκαλούν οι περιπτώσεις προμήθειας που θεωρήθηκαν παραπάνω, στα διαγράμματα παρουσιάζονται οι επιπτώσεις σε ποσοστά. Πιο συγκεκριμένα θεωρήθηκε ότι η περίπτωση 9 προκαλεί το 100% των επιπτώσεων και τα ποσοστά των υπόλοιπων περιπτώσεων υπολογίστηκαν σε σχέση με την περίπτωση 9. Τα ποσοστά δείχνουν δηλαδή πόσο μεγαλύτερη ή μικρότερη είναι η επίπτωση στο περιβάλλον κάθε περίπτωσης ως προς την 9. Στον πίνακα συνοψίζονται οι περιπτώσεις μεταφοράς.

**Πίνακας 135 Περιπτώσεις Ανεφοδιασμού**

<b>Περίπτωση 1</b>	Μεταφορά και ανεφοδιασμός στο λιμάνι του Πειραιά 1000 $m^3$ με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 $m^3$
<b>Περίπτωση 2</b>	Μεταφορά και ανεφοδιασμός 5000 $m^3$ στο λιμάνι του Πειραιά με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 $m^3$ και 3000 $m^3$
<b>Περίπτωση 3</b>	Μεταφορά και ανεφοδιασμός 10.000 $m^3$ στο λιμάνι του Πειραιά με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1.000 $m^3$ και 3.000 $m^3$
<b>Περίπτωση 4</b>	Μεταφορά και ανεφοδιασμός 1000 $m^3$ καυσίμου στο λιμάνι του Πειραιά με πλοίο ανοιχτού τύπου και φορτηγά
<b>Περίπτωση 5</b>	Μεταφορά και ανεφοδιασμός στο λιμάνι του Πειραιά 1000 $m^3$ με οχηματαγωγό πλοίο και containers
<b>Περίπτωση 6</b>	Μεταφορά και ανεφοδιασμός 1000 $m^3$ στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 $m^3$
<b>Περίπτωση 7</b>	Μεταφορά και ανεφοδιασμός 1000 $m^3$ στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 κυβικών μέτρων
<b>Περίπτωση 8</b>	Μεταφορά και ανεφοδιασμός 1000 $m^3$ στο λιμάνι του Πειραιά με πλοίο ανοιχτού τύπου και φορτηγά και στη συνέχεια με οχηματαγωγό πλοίο στο λιμάνι του Ηρακλείου
<b>Περίπτωση 9</b>	Μεταφορά και ανεφοδιασμός 5000 $m^3$ στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια του Ηρακλείου με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 $m^3$ και 3000 $m^3$
<b>Περίπτωση 10</b>	Μεταφορά και ανεφοδιασμός 10000 $m^3$ στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια 10000 $m^3$ στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 και 3000 $m^3$



Διάγραμμα 82 Συγκριτική Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Περιπτώσεων σε Μορφή Ποσοστού



Διάγραμμα 83 Συγκριτική Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Περιπτώσεων πλην της 4 σε Μορφή Ποσοστού

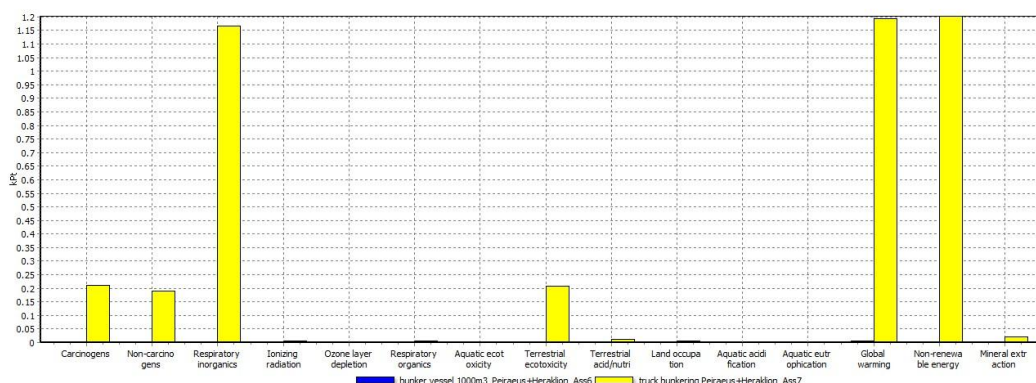
## 5.2.2 Σύγκριση Τρόπων Μεταφοράς

Για μεγαλύτερη ευκρίνεια στην εξαγωγή συμπερασμάτων έγινε απευθείας σύγκριση των περιπτώσεων

- 1, 4 και 5,
- 7 και 8.

### Σύγκριση τρόπων μεταφοράς 1000 κυβικών μέτρων καυσίμου στα λιμάνια του Πειραιά και του Ηρακλείου

Παρακάτω πραγματοποιείται σύγκριση της προμήθειας 1000 κυβικών μέτρων καυσίμου στα λιμάνια του Πειραιά και του Ηρακλείου με πλοίο ανεφοδιασμού 1000 κυβικών μέτρων και με φορτηγά και οχηματαγωγό πλοίο. Το Ηράκλειο προμηθεύεται με το 20% του συνολικού καυσίμου.

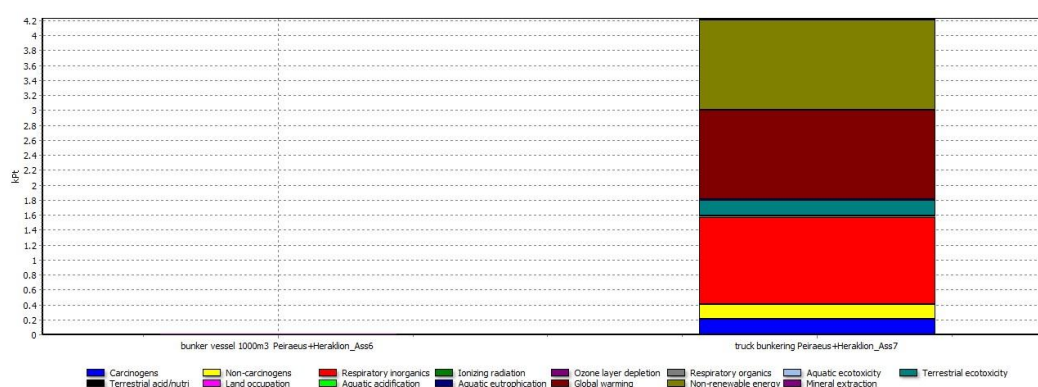


**Διάγραμμα 84 Συγκριτική συνεισφορά των διεργασιών προμήθειας με πλοίου ανεφοδιασμού 1000 m<sup>3</sup> και με φορτηγά και οχηματαγωγό πλοίο ανά κατηγορία επιπτώσεων(Impact 2002/Weighting Profile)**

**Πίνακας 136 Αποτελέσματα ανά κατηγορία επιπτώσεων για προμήθεια με πλοίου ανεφοδιασμού 1000 m<sup>3</sup> και με φορτηγά και οχηματαγωγό πλοίο**

Κατηγορία Επιπτώσεων	Μονάδα	Προμήθεια με πλοίο 1000 m <sup>3</sup>	Προμήθεια με φορτηγά και οχηματαγωγό πλοίο
Επίδραση καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	1.394	535.708
Επίδραση μη καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	1.220	484.331
Επίδραση ανόργανων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων.	kg PM <sub>2.5</sub> eq	42,73	11.821
Ιονίζουσα ακτινοβολία	Bq C - 14 eq	455.987	1,7E+08
Μείωση του στρώματος του όζοντος	kg CFC - 11 eq	2,51E-03	1,15
Επίδραση οργανικών σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	42,23	19.366

Τοξικότητα υδάτινου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>water</sub>	2.370.580	8,84E+08
Τοξικότητα χερσαίου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>soil</sub>	798.498	3,62E+08
Οξύνιση του εδάφους	kg SO <sub>2</sub> eq	1.010	162.875
Χρήση γης	m <sup>2</sup> <sub>org.arable</sub>	814	88.882
Οξύνιση βυθού	kg SO <sub>2</sub> eq	179	41.228
Ευτροφισμός υδάτινου οικοσυστήματος	kg PO <sub>4</sub> P-lim	6,08	2.080
Φαινόμενο του θερμοκηπίου	kg CO <sub>2</sub> eq	59.507	11.820.388
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	MJ <sub>primary</sub>	459.087	1,83E+08
Εξαγωγή πρώτων υλών από το ορυχείο	MJ <sub>surplus</sub>	5.505	3.276.532

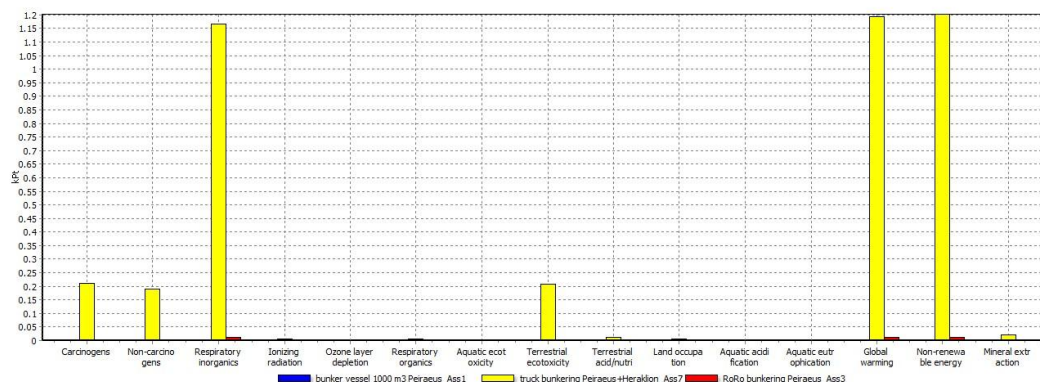


**Διάγραμμα 85 Συγκριτική συνολική συνεισφορά των διεργασιών προμήθειας με πλοίου ανεφοδιασμού 1000 m<sup>3</sup> και με φορτηγά και οχηματαγωγό πλοίο ανά κατηγορία επιπτώσεων (Impact 2002/Single Score)**

Στον Πίνακα 136 αποτυπώνεται ότι η μεγαλύτερη επιβάρυνση στο περιβάλλον προκύπτει κατά τη συνδυαστική μεταφορά μέσω χερσαίας (φορτηγά) και θαλάσσιας (οχηματαγωγό) οδού στο λιμάνι του Ηρακλείου. Ο φιλικότερος προς το περιβάλλον τρόπος μεταφοράς του καυσίμου είναι μέσω πλοίου ανεφοδιασμού, δηλαδή εξ' αρχής μέσω θαλάσσης με πλοίο ειδικά σχεδιασμένο για τη μεταφορά LNG. Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνει την αντίληψη, ότι οι μεταφορές μέσω θάλασσας είναι πιο αποδοτικές. Οι κατηγορίες που επηρεάζονται περισσότερο είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, οι ανόργανες ουσίες και οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι δύο πρώτες κατηγορίες συνδέονται με τη μεταφορά του καυσίμου και η τρίτη με την κατασκευή του εξοπλισμού. Οι κατηγορίες που επηρεάζονται σημαντικά μεν σε μικρότερο βαθμό δε από τις προαναφερθείσες, είναι τα καρκινογόνα και μη καρκινογόνα σωματίδια στο αναπνευστικό, η εξόρυξη πρώτων υλών και η τοξικότητα του χερσαίου οικοσυστήματος. Όλες αυτές οι κατηγορίες συνδέονται με την κατασκευή του εξοπλισμού.

## Σύγκριση τρόπων μεταφοράς 1000 κυβικών μέτρων καυσίμου στο λιμάνι του Πειραιά

Παρακάτω συγκρίνεται η προμήθεια 1000 κυβικών μέτρων καυσίμου στο λιμάνι του Πειραιά με πλοίου ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 κυβικών μέτρων, με οχηματαγωγό πλοίο και με πλοίο ανοιχτού τύπου και φορτηγά.

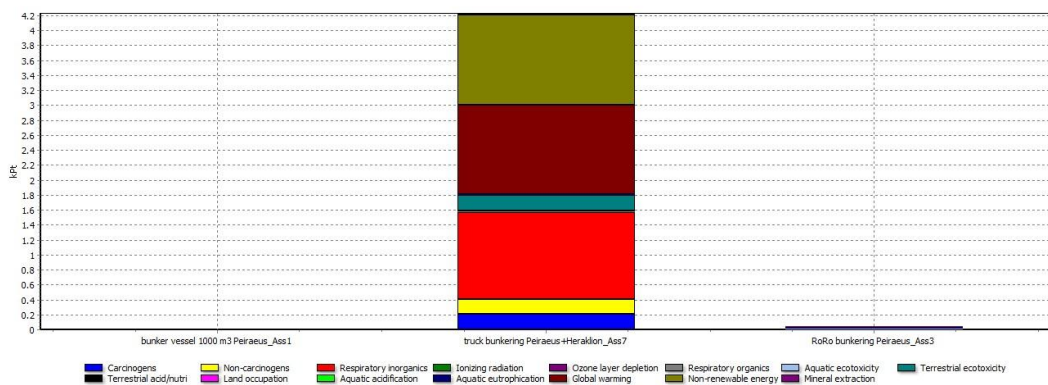


Διάγραμμα 86 Συγκριτική συνεισφορά των διεργασιών προμήθειας 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά με πλοίο ανεφοδιασμού, με οχηματαγωγό και με φορτηγά ανά κατηγορία επιπτώσεων (Impact 2002/Weighting Profile)

Πίνακας 137 Συγκριτικά αποτελέσματα ανά κατηγορία επιπτώσεων για προμήθεια 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά με πλοίο ανεφοδιασμού, με οχηματαγωγό και με φορτηγά

Κατηγορία Επιπτώσεων	Μονάδα	Προμήθεια με πλοίο ανεφοδιασμού 1000 m <sup>3</sup>	Προμήθεια με φορτηγά και πλοίο ανοιχτού τύπου	Προμήθεια με οχηματαγωγό πλοίο
Επίδραση καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	0,8	535.708	4.990
Επίδραση μη καρκινογόνων ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>eq</sub>	0,72	484.331	4.525
Επίδραση ανόργανων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων.	kg PM <sub>2.5</sub> eq	0,65	11.821	109
Ιονίζουσα ακτινοβολία	Bq C - 14 eq	1.792	1,7E+08	1.571.277
Μείωση του στρώματος του όζοντος	kg CFC - 11 eq	2,34E-06	1,15	0,01
Επίδραση οργανικών σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	6,33	19.366	192
Τοξικότητα υδάτινου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>water</sub>	2.295	8,84E+08	8.136.929
Τοξικότητα χερσαίου οικοσυστήματος	kg TEG <sub>soil</sub>	640	3,62E+08	3.388.897

Οξύνιση του εδάφους	kg SO <sub>2</sub> eq	27,37	162.875	1.514
Χρήση γης	m <sup>2</sup> <sub>org,arable</sub>	0,86	88.882	845
Οξύνιση βυθού	kg SO <sub>2</sub> eq	3,59	41.228	371
Ευτροφισμός υδάτινου οικοσυστήματος	kg PO <sub>4</sub> P-lim	1,13E-03	2.080	18,1
Φαινόμενο του θερμοκηπίου	kg CO <sub>2</sub> eq	9.005	11.820.388	119.483
Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	MJ <sub>primary</sub>	645	1,83E+08	1.701.939
Εξαγωγή πρώτων υλών από το ορυχείο	MJ <sub>surplus</sub>	1,72	3.276.532	31.937



**Διάγραμμα 87 Συγκριτική συνολική συνεισφορά των διεργασιών προμήθειας 1000 m<sup>3</sup> στο λιμάνι του Πειραιά με πλοίο ανεφοδιασμού, με οχηματαγωγό και με φορτηγά ανά κατηγορία επιπτώσεων (Impact 2002/Single Score)**

Στην περίπτωση μεταφοράς LNG στο λιμάνι του Πειραιά, η μεταφορά με φορτηγά αποδεικνύεται ξανά η πιο επιζήμια περιβαλλοντικά (Διάγραμμα 87). Ο δεύτερος σε ένταση επιπτώσεων τρόπος προμήθειας είναι η προμήθεια με πλοίο RoRo, ενώ η προμήθεια με πλοίο ανεφοδιασμού, προέκυψε πάλι με μεγάλη διαφορά η φιλικότερη προς το περιβάλλον, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 86. Η ένταση της επίπτωσης οφείλεται κυρίως στον αριθμό των φορτηγών που απαιτούνται για τη μεταφορά του καυσίμου και στον αριθμό των containers. Οι κατηγορίες που επηρεάζονται είναι ίδιες με την προηγούμενη σύγκριση, το ίδιο και τα συμπεράσματα.

### Παρατηρήσεις

Από τις παραπάνω συγκρίσεις μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα βασικά συμπεράσματα. Ο τρόπος μεταφοράς με φορτηγά αποδεικνύεται πάντα ο πιο επιζήμιος, έχοντας επιπτώσεις μίας τάξης μεγέθους παραπάνω από τους δύο άλλους τρόπους προμήθειας, οι οποίοι βασίζονται στη θαλάσσια μεταφορά. Ο δεύτερος σε ένταση επιπτώσεων τρόπος μεταφοράς είναι η προμήθεια με οχηματαγωγό πλοίο. Το συμπέρασμα αυτό πιθανόν να διαφοροποιείται ανάλογα με το πλοίο αναφοράς, καθώς βασικό στοιχείο του πλοίου που αυξάνει το αποτύπωμά του είναι η μεγάλη ισχύς του. Σε όλες τις περιπτώσεις εμφανίζεται η κατηγορία των σωματιδίων που εισέρχονται στο αναπνευστικό, καθιστώντας την υγεία των ανθρώπων



τον βασικό τομέα που πλήττεται από τη μεταφορά του LNG, καθώς και εκείνη του φαινομένου του θερμοκηπίου.

### 5.2.3 Ανάλυση Ευαισθησίας

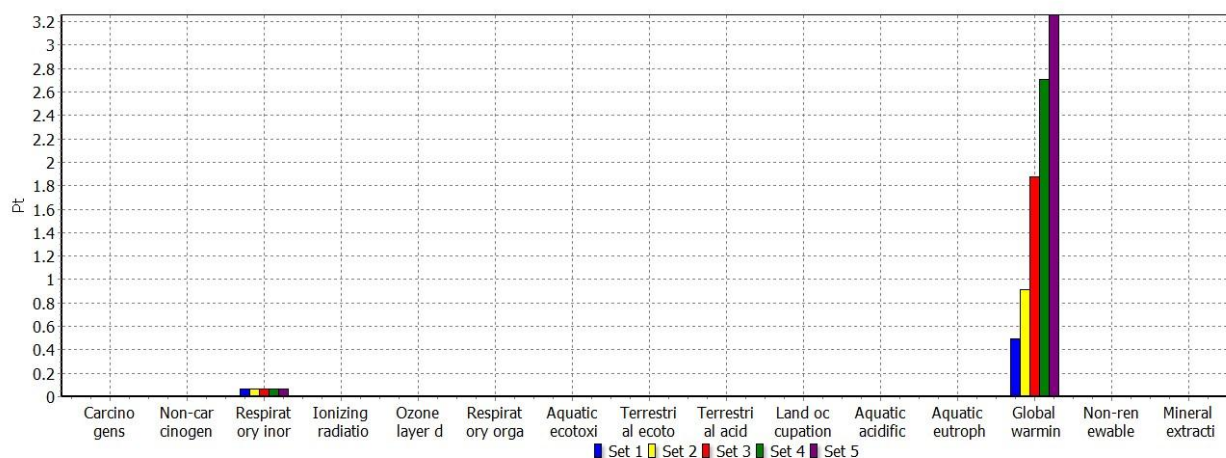
Οι σημαντικότερες παράμετροι, που βρέθηκαν να επηρεάζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι το διαφυγόν αέριο κατά την πλήρωση, η διανυόμενη απόσταση, η ενεργειακή κατανάλωση της μηχανής, το διαφυγόν αέριο κατά τον ανεφοδιασμό, ο βαθμός ανάκτησης διαφυγόντων αερίων και οι ημέρες αποθήκευσης του καυσίμου.

#### Περίπτωση 1

Μεταφορά και ανεφοδιασμός 1000 κυβικών μέτρων στο λιμάνι του Πειραιά με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 κυβικών μέτρων

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η περιβαλλοντική επιβάρυνση της μεθόδου μεταφοράς είναι σχετικά μικρή. Εντούτοις πολλές παράμετροι επιδρούν στην περιβαλλοντική επίδοση, άλλες περισσότερο και άλλες λιγότερο. Παρακάτω παρουσιάζονται οι παράμετροι που επηρεάζουν την τελική επίπτωση στο περιβάλλον.

#### *Διαφυγόν αέριο κατά τον ανεφοδιασμό*



**Διάγραμμα 88 Ανάλυση ευαισθησίας διαφυγόντος αερίου κατά τον ανεφοδιασμό για την περίπτωση 1 (Impact 2002/Weighting Profile)**

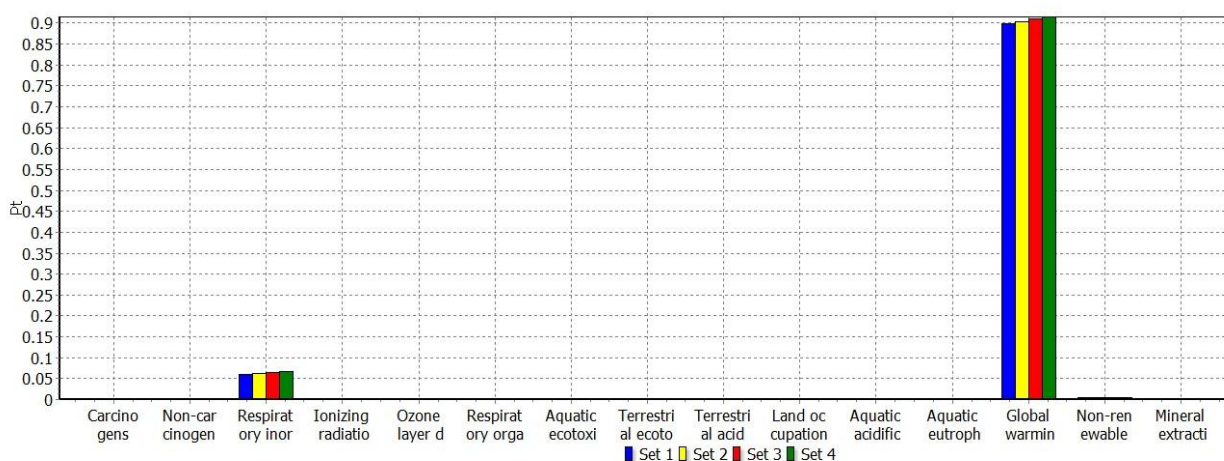
Στις περιπτώσεις μεταφοράς του καυσίμου με σωληνώσεις που αφορούν τις εξεταζόμενες μεθόδους, η απώλεια λόγω διαφυγόντων αερίων κυμαίνεται μεταξύ 0,13%-0,74%. Στην περίπτωση αποθήκευσης του καυσίμου τα διαφυγόντα αέρια συνιστούν το 0,1%-0,25% του συνολικού όγκου. Για το λόγο αυτό στην ανάλυση ευαισθησίας επιλέχθηκαν τιμές που να βρίσκονται εντός αυτού του εύρους αντιπροσωπεύοντας τις υπάρχουσες δυνατότητες περιορισμού των αερίων, αλλά και την πιθανότητα διαφυγής μεγαλύτερου όγκου αερίου εξαιτίας κακής σύνδεσης των συνδέσμων. Στον ανεφοδιασμό ποσοστό των διαφυγόντων αερίων ανέρχεται σε 0,22%.

Πίνακας 138 Ανάλυση ευαισθησίας διαφυγόντος αερίου κατά τον ανεφοδιασμό για την περίπτωση 1

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5
Ποσοστό διαφυγής	0,1%	<b>0,22%</b>	0,5%	0,74%	0,9%
Φαινόμενο του θερμοκηπίου (Pt)	0,5	0,91	1,82	2,47	3,21
Ποσοστιαία μεταβολή ποσοστού διαφυγής	-55%	0%	51%	236%	309%
Ποσοστιαία μεταβολή επίπτωσης	-45%	0%	100%	171%	252%

Παρατηρείται ότι η περιβαλλοντική επίδοση στη συγκεκριμένη περίπτωση επηρεάζεται σημαντικά από το ποσοστό των διαφυγόντων αερίων μεθανίου στην ατμόσφαιρα κατά τον ανεφοδιασμό. Η μόνη κατηγορία που επηρεάζεται είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, εφόσον πρόκειται για διαρροή αερίου του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Μεγαλύτερη μεταβολή τιμών στο ποσοστό του αερίου οδηγεί σε μικρότερη μεταβολή στην επίπτωση, γιατί στο φαινόμενο του θερμοκηπίου συμβάλλει κατά ένα σημαντικό μέρος η κατασκευή του εξοπλισμού της προμήθειας. Ωστόσο οι μεταβολές είναι σημαντικές, γεγονός που δικαιολογείται από την έλλειψη μεθόδων δέσμευσης του διαφυγόντος αερίου.

#### Φορτίο Μηχανής Πλοίου



Διάγραμμα 89 Ανάλυση ευαισθησίας ενεργειακής κατανάλωσης πλοίου κατά τον ανεφοδιασμό για την περίπτωση 1 (Impact 2002/Weighting Profile)

Οι διαφορετικές κιλοβατώρες λειτουργίας για συγκεκριμένο φορτίο μεταφοράς (κυβικά LNG) προκύπτουν από τη λειτουργία της μηχανής σε διαφορετικό φορτίο (ποσοστό ισχύος).

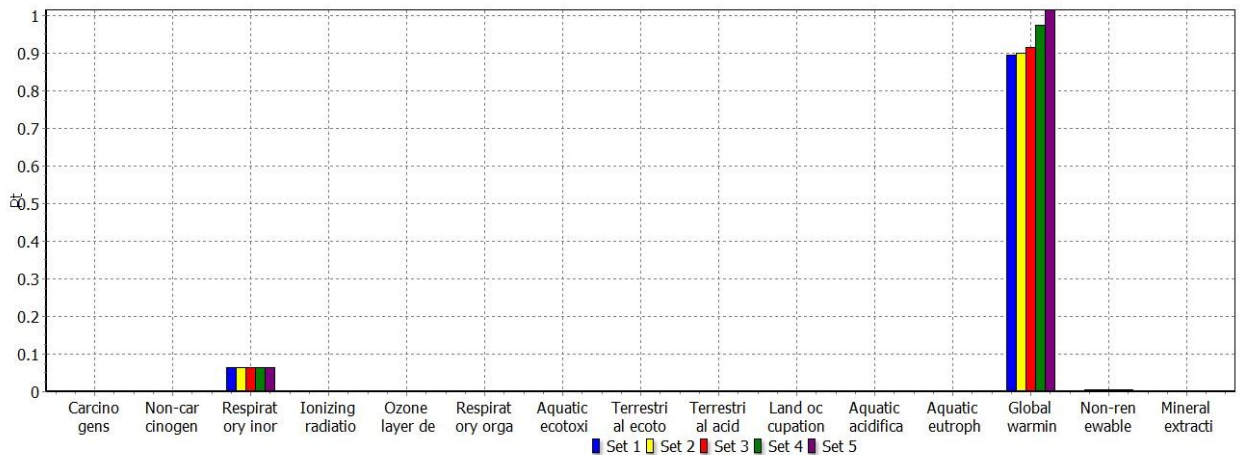
Το φορτίο της μηχανής κυμαίνεται ανάλογα με την ταχύτητα και το μεταφερόμενο φορτίο. Η επιλογή της ισχύος έγινε κατά κύριο λόγο με γνώμονα την αλλαγή του φορτίου. Στο βασικό σενάριο θεωρείται ισχύς 85%, όταν το πλοίο μεταφέρει φορτίο.

**Πίνακας 139 Ανάλυση ευαισθησίας ενεργειακής κατανάλωσης πλοίου κατά τον ανεφοδιασμό για την περίπτωση 1**

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
Φορτίο Μηχανής	75%	80%	<b>85%</b>	90%
Ανόργανες Ουσίες (Pt)	0,052	0,057	0,061	0,069
Φαινόμενο του θερμοκηπίου (Pt)	0,89	0,9	0,91	0,92
Ποσοστιαία αλλαγή φορτίου μηχανής	-13%	-5,9%	0%	5,9%
Ποσοστιαία αλλαγή επίπτωσης στις οργανικές ουσίες	-15%	-7%	0%	5,9%
Ποσοστιαία αλλαγή επίπτωσης στο φαινόμενο του θερμοκηπίου	-2%	-1%	0%	1%

Παρατηρείται ότι η λειτουργία της μηχανής σε μεγαλύτερο φορτίο επηρεάζει περισσότερο την κατηγορία των σωματιδίων απ' ότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το αποτέλεσμα αυτό οφείλεται στις ανόργανες ουσίες του καυσίμου που απομακρύνονται από τη μηχανή μαζί με τους ρύπους και στις συνθήκες καύσης όσο απομακρυνόμαστε από το σημείο σχεδιασμού. Το ποσοστό μεταβολής του φορτίου δε διαφέρει πολύ από τη μεταβολή των επιπτώσεων, εφόσον οι ρύποι συνδέονται άμεσα με το φορτίο της μηχανής.

### Διαφυγόν Αέριο κατά την Πλήρωση



Διάγραμμα 90 Ανάλυση ευαισθησίας διαφυγόντος αερίου κατά την πλήρωση του πλοίου ανεφοδιασμού με φορτίο για την περίπτωση 1 (Impact 2002/Weighting Profile)

Η επιλογή των τιμών της ανάλυσης ευαισθησίας κατά την πλήρωση έγινε όπως και στον ανεφοδιασμό.

Πίνακας 140 Ανάλυση ευαισθησίας διαφυγόντος αερίου κατά την πλήρωση του πλοίου ανεφοδιασμού με φορτίο για την περίπτωση 1

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5
Ποσοστό διαφυγόντος αερίου	0,1%	<b>0,13%</b>	0,2%	0,5%	0,74%
Ποσοστό ανάκτησης	98%	97%	96%	95%	95%
Φαινόμενο του θερμοκηπίου (Pt)	0,89	0,9	0,92	0,97	1,15
Ποσοστιαία Αλλαγή αερίου	-23%	0%	70%	285%	469%
Ποσοστιαία Αλλαγή Ανάκτησης	3%	2%	1%	0%	0%
Ποσοστιαία Αλλαγή Επίπτωσης	-1%	0%	2%	8%	28%

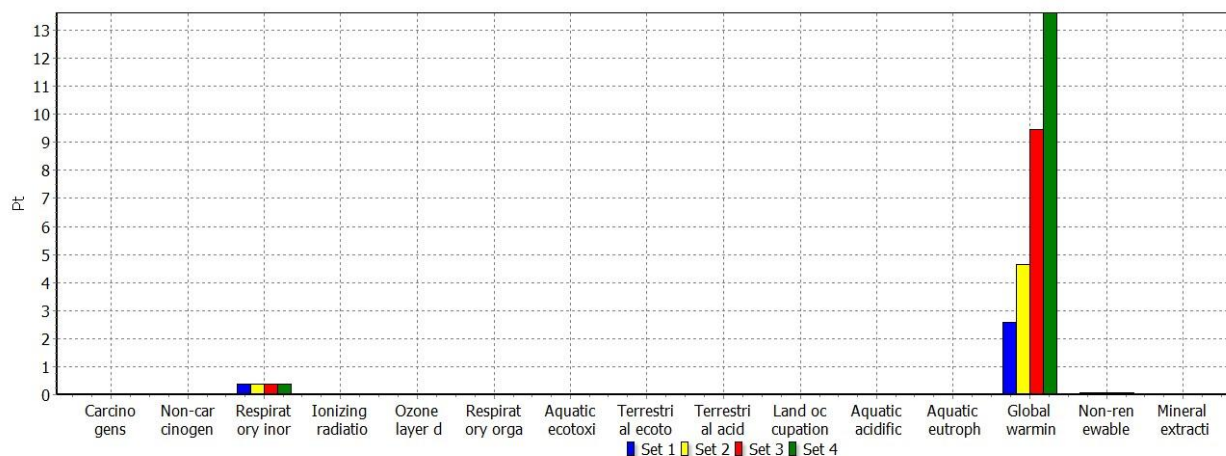
Η πλήρωση του καυσίμου στο πλοίο ανεφοδιασμού αποδεικνύεται παράμετρος που δεν επηρεάζει σημαντικά την περιβαλλοντική απόδοση, εφόσον χρησιμοποιείται σύστημα ανάκτησης αερίων. Ακόμα και τεράστιες ποσοστιαίες μεταβολές στο διαφυγόν αέριο, οδηγούν σε συγκριτικά πολύ μικρές ποσοστιαίες αλλαγές επιπτώσεων. Η μόνη κατηγορία

που επηρεάζεται είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, επειδή πραγματοποιείται αυξανόμενη διαρροή ενός ισχυρού αερίου του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

### Περίπτωση 2

Μεταφορά και ανεφοδιασμός 5000 κυβικών μέτρων στο λιμάνι του Πειραιά με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 και 3000 κυβικών μέτρων

#### Διαφυγόν αέριο κατά τον ανεφοδιασμό



Διάγραμμα 91 Ανάλυση ευαισθησίας διαφυγόντος αερίου κατά τον ανεφοδιασμό για την περίπτωση 2 (Impact 2002/Weighting Profile)

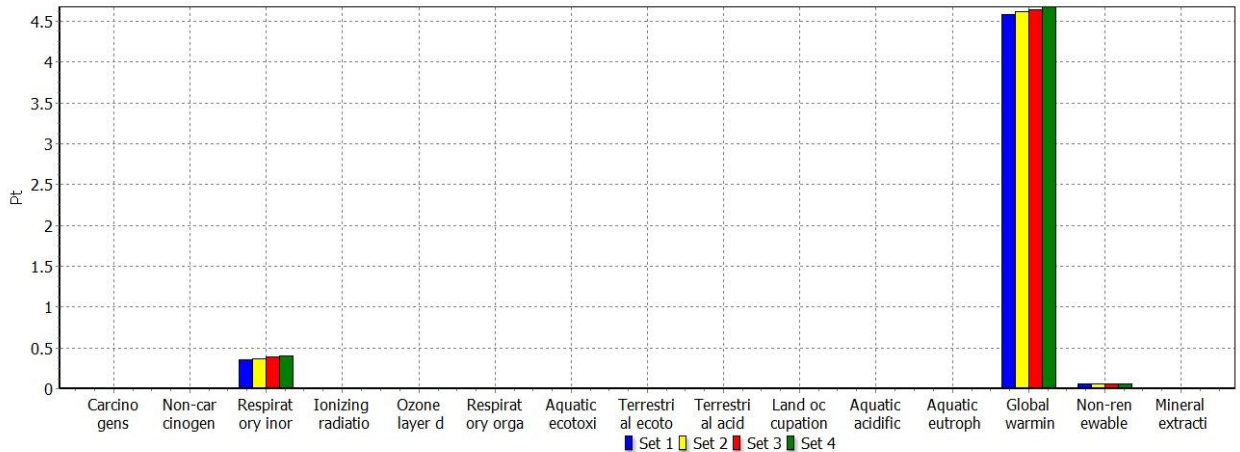
Οι τιμές επιλέχθηκαν όπως στην περίπτωση 1.

Πίνακας 141 Ανάλυση ευαισθησίας διαφυγόντος αερίου κατά τον ανεφοδιασμό για την περίπτωση 2

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
Ποσοστό διαφυγής	0,1%	<b>0,22%</b>	0,5%	0,74%
Φαινόμενο του θερμοκηπίου (Pt)	2,6	4,7	9,4	13,5
Ποσοστιαία Αλλαγή Διαφυγής	-55%	0%	51%	236%
Ποσοστιαία Αλλαγή Επίπτωσης	-45%	0%	100%	187%

Παρατηρούμε ότι η περιβαλλοντική επίδοση στη συγκεκριμένη περίπτωση επηρεάζεται σημαντικά από το ποσοστό των διαφυγόντων αερίων μεθανίου στην ατμόσφαιρα κατά τον ανεφοδιασμό. Η μόνη κατηγορία που επηρεάζεται είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, εφόσον πρόκειται για διαρροή αερίου με ισχυρή επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Τα αποτελέσματα είναι ανάλογα με την περίπτωση 1.

### Φορτίο Μηχανής Πλοίου



Διάγραμμα 92 Ανάλυση ευαισθησίας φορτίου μηχανής πλοίου κατά τον ανεφοδιασμό για την περίπτωση 2 (Impact 2002/Weighting Profile)

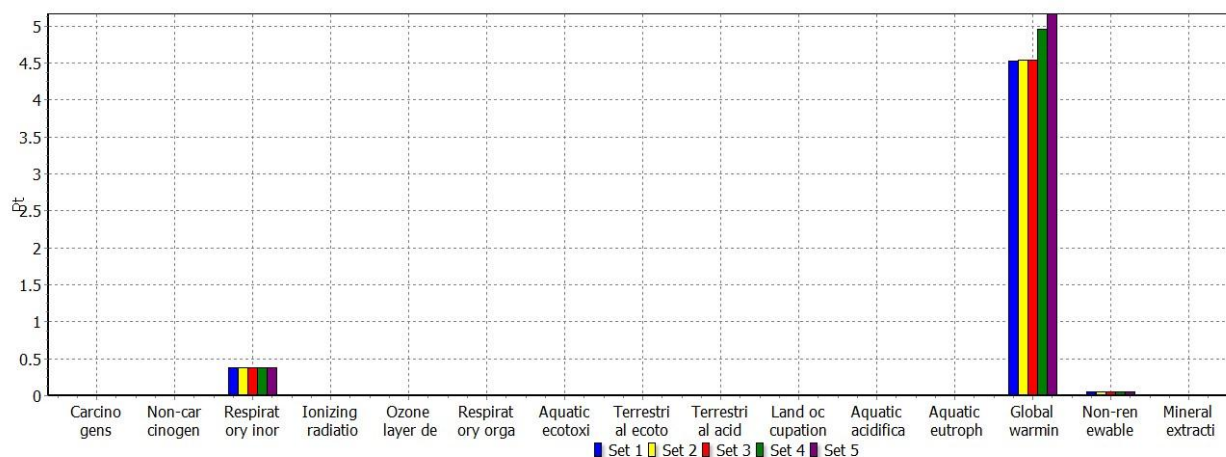
Οι διαφορετικές κιλοβατώρες λειτουργίας για συγκεκριμένο φορτίο μεταφοράς (κυβικά LNG) προκύπτουν από η λειτουργία της μηχανής σε διαφορετικό φορτίο (ποσοστό ισχύος). Τα ποσοστά ισχύος επιλέχθηκαν όπως στην περίπτωση 1.

Πίνακας 142 Ανάλυση ευαισθησίας φορτίου μηχανής πλοίου κατά τον ανεφοδιασμό για την περίπτωση 2

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
Φορτίο Μηχανής Πλοίου Ανεφοδιασμού 1000 m <sup>3</sup>	75%	80%	<b>85%</b>	90%
Φορτίο Μηχανής Πλοίου Ανεφοδιασμού 3000 m <sup>3</sup>	65%	70%	75%	80%
Ανόργανες ουσίες (Pt)	0,30	0,325	0,37	0,38
Φαινόμενο του θερμοκηπίου (Pt)	4,60	4,66	4,67	4,7
Ποσοστιαία Μεταβολή Φορτίου Μηχανής Πλοίου Ανεφοδιασμού 1000 m <sup>3</sup>	-13%	-5,9%	0%	5,9%
Ποσοστιαία Μεταβολή Φορτίου Μηχανής Πλοίου Ανεφοδιασμού 3000 m <sup>3</sup>	-7%	0%	7%	14%
Ποσοστιαία μεταβολή ανόργανων ουσιών	-19%	-14%	0%	3%
Ποσοστιαία μεταβολή φαινομένου του θερμοκηπίου	-1%	-0,2%	0%	0,6%

Τα αποτελέσματα είναι ανάλογα με την περίπτωση 1.

### Διαφυγόν Αέριο κατά την Πλήρωση



Διάγραμμα 93 Ανάλυση ευαισθησίας διαφυγόντος αερίου κατά την πλήρωση του πλοίου ανεφοδιασμού με φορτίο για την περίπτωση 2 (Impact 2002/Weighting Profile)

Η επιλογή των τιμών της ανάλυσης ευαισθησίας για το ποσοστό διαφυγόντων αερίων κατά την πλήρωση έγινε όπως και στον ανεφοδιασμό. Οι τιμές του ποσοστού ανάκτησης επιλέχθηκαν με βάση τις υπάρχουσες τεχνολογίες. Τα ζεύγη τιμών επιλέχθηκαν έτσι ώστε να δείχνουν την προοπτική της τεχνολογικής προόδου όσον αφορά στη δέσμευση των αερίων. Ποσοστά ανάκτησης 98% εφαρμόζονται στη μεταφορά του καυσίμου. Η τιμή της πλήρωσης που χρησιμοποιήθηκε στην κατάσταση των περιπτώσεων είναι 0,13%.

Πίνακας 143 Ανάλυση ευαισθησίας διαφυγόντος αερίου κατά την πλήρωση του πλοίου ανεφοδιασμού με φορτίο για την περίπτωση 2

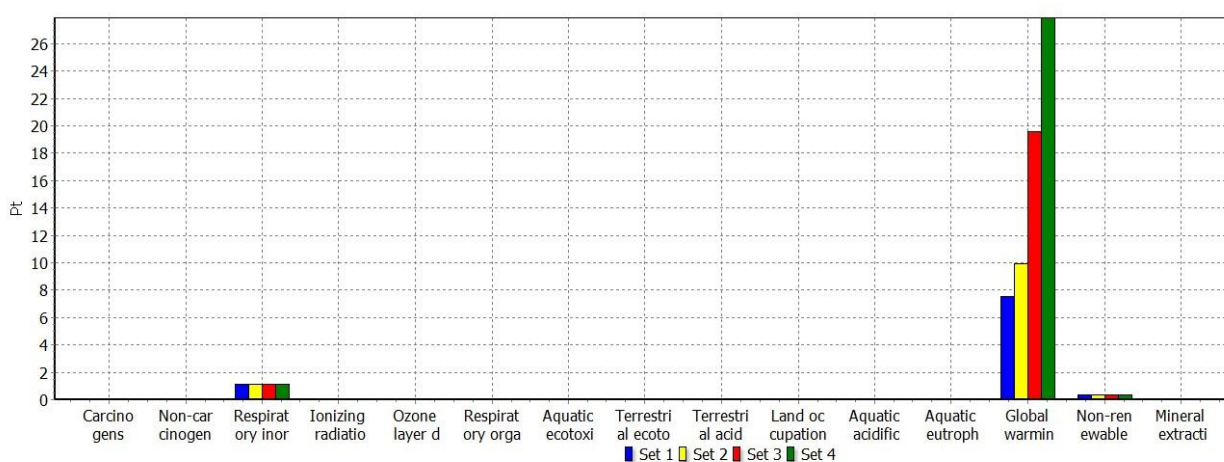
	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5
Ποσοστό διαφυγόντος αερίου	0,1%	<b>0,13%</b>	0,2%	0,5%	0,74%
Ποσοστό ανάκτησης	98%	97%	96%	95%	95%
Φαινόμενο του θερμοκηπίου (Pt)	4,49	4,51	4,5	4,9	5,2
Ποσοστιαία μεταβολή αερίου	-23%	0%	70%	285%	469%
Ποσοστιαία μεταβολή ανάκτησης	3%	2%	1%	0%	0%
Ποσοστιαία μεταβολή επίπτωσης	-0,4%	0%	-0,2%	8,65%	15,3%

Η μόνη κατηγορία που επηρεάζεται είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, επειδή αυτό που συμβαίνει είναι αυξανόμενη διαρροή ενός αερίου με μεγάλη επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Η μεταβολή των παραμέτρων επηρεάζει χαλαρά τη μεταβολή των επιπτώσεων. Αυτό συμβαίνει επειδή το μεγαλύτερο ποσοστό των αερίων ανακτάται.

### Περίπτωση 3

Μεταφορά και ανεφοδιασμός 10000 κυβικών μέτρων στο λιμάνι του Πειραιά με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 και 3000 κυβικών μέτρων

Διαφυγόν αέριο κατά τον ανεφοδιασμό



Διάγραμμα 94 Ανάλυση ευαισθησίας διαφυγόντος αερίου κατά τον ανεφοδιασμό για την περίπτωση 3 (Impact 2002/Weighting Profile)

Οι τιμές επιλέχθηκαν όπως στην περίπτωση 1.

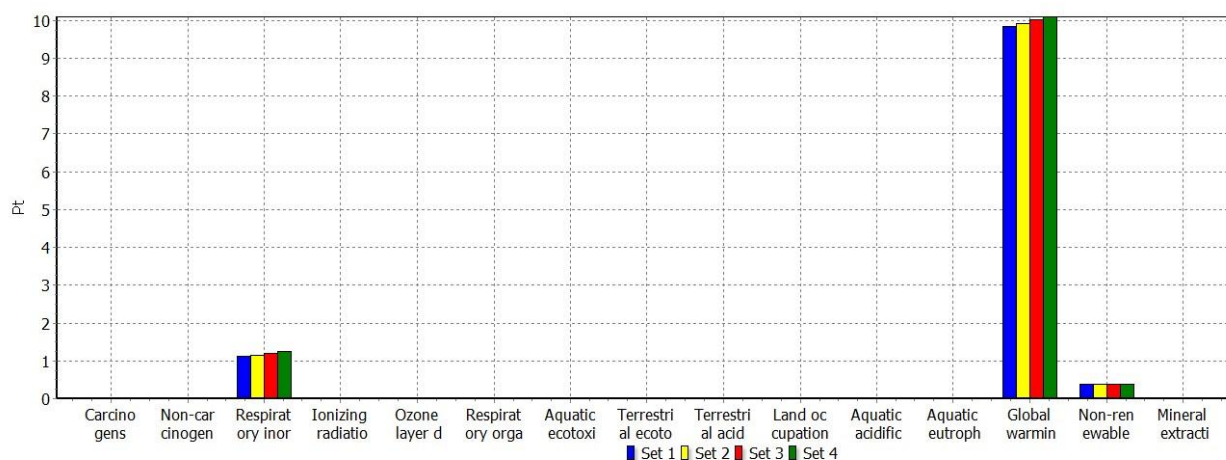
Πίνακας 144 Ανάλυση ευαισθησίας διαφυγόντος αερίου κατά τον ανεφοδιασμό για την περίπτωση 3

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
Ποσοστό διαφυγής	0,15%	0,22%	0,5%	0,74%
Φαινόμενο του θερμοκηπίου (Pt)	7,6	9,9	19,2	28
Ποσοστιαία μεταβολή διαφυγής	-31,8%	0%	51%	236%
Ποσοστιαία μεταβολή επίπτωσης	-23,2%	0%	93,9%	182,8%

Τα αποτελέσματα είναι ανάλογα με την περίπτωση 1.



### Φορτίο Μηχανής Πλοίου



Διάγραμμα 95 Ανάλυση ευαισθησίας ενεργειακής κατανάλωσης πλοίου κατά τον ανεφοδιασμό για την περίπτωση 3 (Impact 2002/Weighting Profile)

Η επιλογή των τιμών έγινε όπως στην περίπτωση 2.

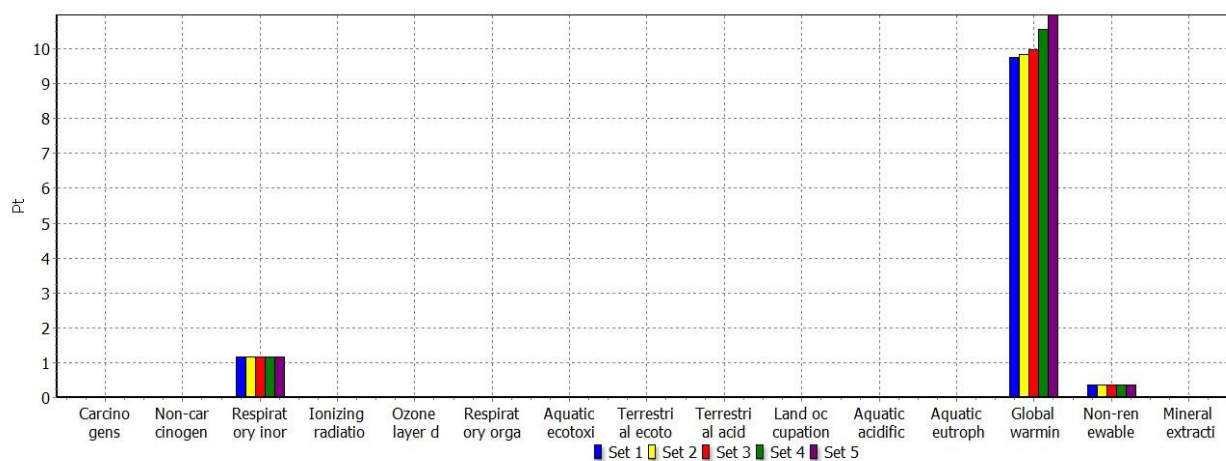
Πίνακας 145 Ανάλυση ευαισθησίας ενεργειακής κατανάλωσης πλοίου κατά τον ανεφοδιασμό για την περίπτωση 3

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
Φορτίο Μηχανής Πλοίου Ανεφοδιασμού 1000 m <sup>3</sup>	75%	80%	85%	90%
Φορτίο Μηχανής Πλοίου Ανεφοδιασμού 3000 m <sup>3</sup>	65%	70%	75%	80%
Ανόργανες ουσίες (Pt)	1,1	1,17	1,22	1,3
Φαινόμενο του θερμοκηπίου (Pt)	9,7	9,9	10	10,1
Ποσοστιαία Μεταβολή Φορτίου Μηχανής Πλοίου Ανεφοδιασμού 1000 m <sup>3</sup>	-13%	-5,9%	0%	5,9%

Ποσοστιαία Μεταβολή Φορτίου Μηχανής Πλοίου Ανεφοδιασμού 3000 m <sup>3</sup>	-7%	0%	7%	14%
Ποσοστιαία Μεταβολή Ανόργανων Ουσιών	-5,9%	0%	4,3%	11,1%
Ποσοστιαία Μεταβολή Φαινομένου του Θερμοκηπίου	-2%	0%	1%	2%

Παρατηρείται ότι η λειτουργία της μηχανής σε μεγαλύτερο φορτίο επηρεάζει περισσότερο την κατηγορία των σωματιδίων απ' ό,τι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα είναι ανάλογα με τις προηγούμενες περιπτώσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μεταβολή των επιπτώσεων ακολουθεί τη μεταβολή των τιμών του μεγαλύτερου πλοίου, εφόσον καταναλώνει τη μεγαλύτερη ισχύ, άρα εκπέμπει και τους περισσότερους ρύπους και σωματίδια.

#### Διαφυγόν Αέριο κατά την Πλήρωση



Διάγραμμα 96 Ανάλυση ευαισθησίας διαφυγόντος αερίου κατά την πλήρωση του πλοίου ανεφοδιασμού με φορτίο για την περίπτωση 3 (Impact 2002/Weighting Profile)

Η επιλογή των τιμών της ανάλυσης ευαισθησίας κατά την πλήρωση έγινε όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις.

Πίνακας 146 Ανάλυση ευαισθησίας διαφυγόντος αερίου κατά την πλήρωση του πλοίου ανεφοδιασμού με φορτίο για την περίπτωση 3

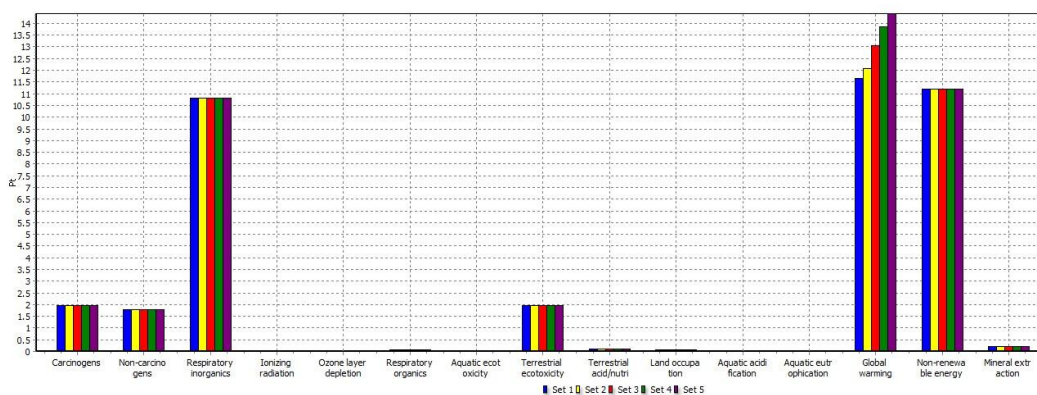
	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5
Ποσοστό διαφυγόντος αερίου	0,1%	0,13%	0,2%	0,5%	0,74%
Ποσοστό ανάκτησης	98%	97%	96%	95%	95%
Φαινόμενο του θερμοκηπίου (Pt)	8,7	8,8	8,98	10,6	11
Ποσοστιαία μεταβολή αερίου	-23%	0%	70%	285%	469%
Ποσοστιαία μεταβολή ανάκτησης	3%	2%	1%	0%	0%
Ποσοστιαία μεταβολή επίπτωσης	-1,1%	0%	2%	20,4%	25%

Τα αποτελέσματα είναι ανάλογα με τις προηγούμενες περιπτώσεις.

### Περίπτωση 5

Μεταφορά και ανεφοδιασμός 1000 κυβικών μέτρων στο λιμάνι του Πειραιά με οχηματαγωγό πλοίο

#### Διαφυγόν Αέριο κατά τον Ανεφοδιασμό



Πίνακας 147 Ανάλυση ευαισθησίας διαφυγόντος αερίου κατά τον ανεφοδιασμό για την περίπτωση 5

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5
Ποσοστό διαφυγόντος αερίου	0,1%	0,22%	0,5%	<b>0,74%</b>	0,9%
Φαινόμενο του Θερμοκηπίου (Pt)	11,65	12	13	13,86	14,41
Ποσοστιαία Μεταβολή ποσοστού διαφυγόντος αερίου	-86,5%	-70,3%	-32,4%	0%	21,6%
Ποσοστιαία Μεταβολή Επίπτωση	-15,9%	-13,4%	-6,2%	0%	3,9%

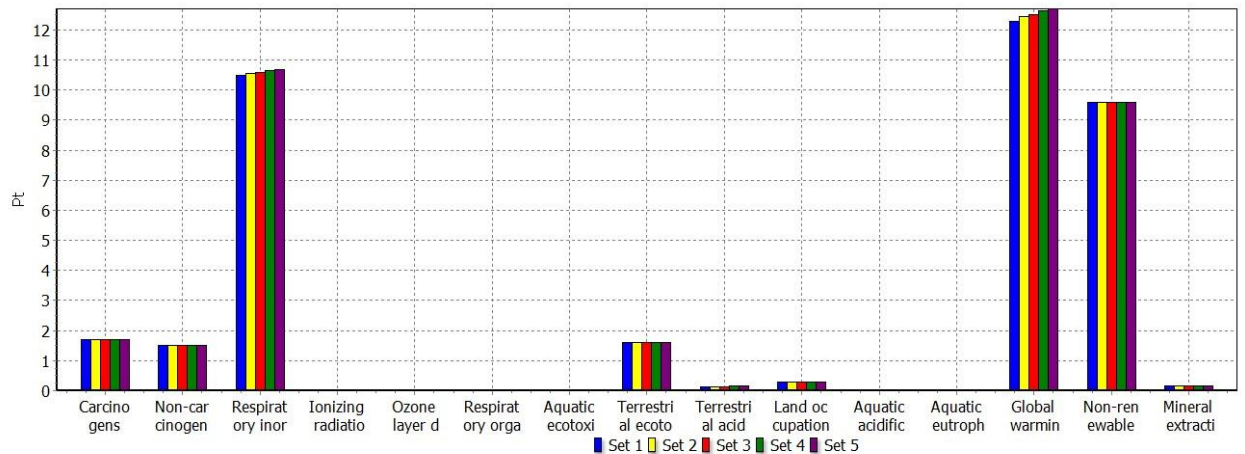
Στην περίπτωση 5 προέκυψε ο ανεφοδιασμός επηρεάζει τις επιπτώσεις στο περιβάλλον σε μικρότερο βαθμό απ' ότι στις προηγούμενες περιπτώσεις. Αυτό γίνεται αντιληπτό από τη μικρή ποσοστιαία αλλαγή των επιπτώσεων σε σχέση με την ποσοστιαία αλλαγή του διαφυγόντος αερίου. Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει ότι στο φαινόμενο του θερμοκηπίου συμβάλλουν σημαντικά η κατασκευή και η λειτουργία του πλοίου.

#### Περίπτωση 6

Μεταφορά και ανεφοδιασμός 1000 κυβικών μέτρων απευθείας στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοίο ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 κυβικών μέτρων

#### *Φορτίο Μηχανής*

Η επιλογή του φορτίου της μηχανής έγινε με βάση το μεταφερόμενο φορτίο. Η μικρότερη τιμή του πληρωμένου πλοίου δικαιολογείται με βάση την περίπτωση μεταφοράς μόλις 200 κυβικών μέτρων φορτίου. Η επιλογή των τιμών στην περίπτωση που είναι άδαιο, βασίστηκε στην οικονομική λειτουργία του πλοίου (55%).

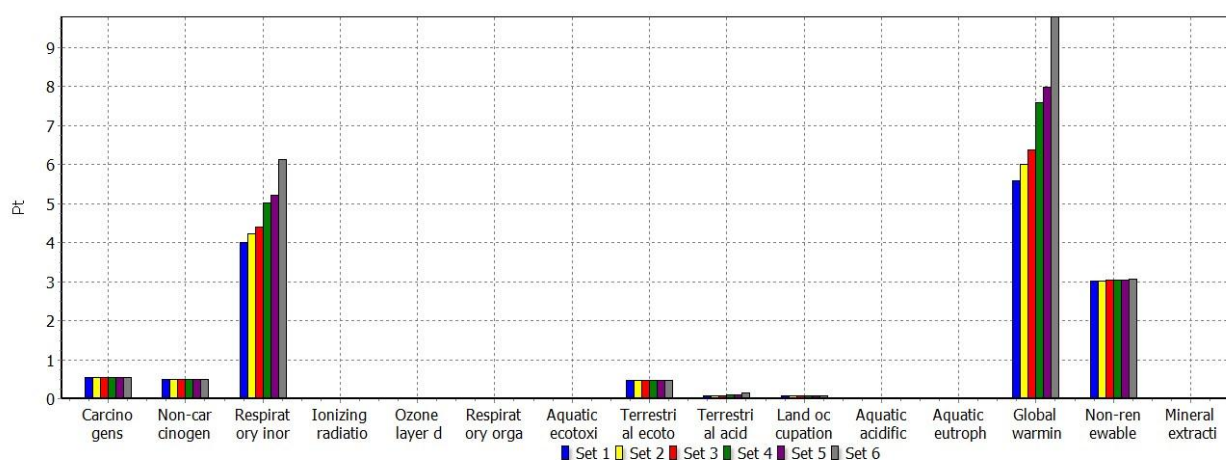


Διάγραμμα 97 Ανάλυση ευαισθησίας ενεργειακής κατανάλωσης πλοίου για την περίπτωση 6 (Impact 2002/Weighting Profile)

Πίνακας 148 Ανάλυση ευαισθησίας φορτίου μηχανής πλοίου για την περίπτωση 6

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5
Φορτίο γεμάτου πλοίου	55%	70%	75%	<b>85%</b>	90%
Φορτίο άδειου πλοίου	45%	50%	55%	60%	65%
Ανόργανες ουσίες	10,5	10,55	10,6	10,65	10,7
Φαινόμενο του θερμοκηπίου	12,2	12,5	12,6	12,78	12,8
Ποσοστιαία Μεταβολή Φορτίου γεμάτου πλοίου	-0,35%	-0,17%	-0,13%	0%	0,059%
Ποσοστιαία Μεταβολή Φορτίου άδειου πλοίου	-18%	-9,1%	0%	9,1%	18%
Ποσοστιαία Μεταβολή Επίπτωσης	-1,4%	-0,9%	-0,5%	0%	0,5%

### Διανυόμενη Απόσταση



Διάγραμμα 98 Ανάλυση ευαισθησίας διανυόμενης απόστασης για την περίπτωση 6 (Impact 2002/Weighting Profile)

Η επιλογή της διανυόμενης απόστασης βασίστηκε στο γεγονός ότι η Ελλάδα είναι νησιωτική χώρα. Κάθε απόσταση αντιπροσωπεύει ένα νησί. Τα νησιά επιλέχθηκαν σε διαφορετικά σημεία του Αιγαίου (Κυκλάδες, Βόρειο Αιγαίο, Ανατολικό Αιγαίο, Δωδεκάνησα), ενώ μία απόσταση είναι αντιπροσωπευτική του Ιονίου (480 km).

Πίνακας 149 Ανάλυση ευαισθησίας διανυόμενης απόστασης για την περίπτωση 6

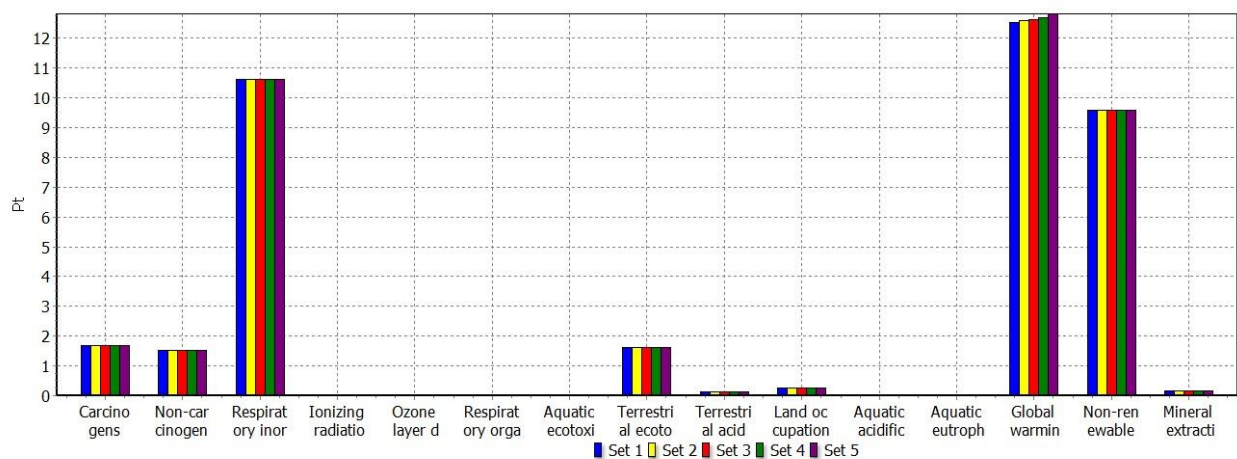
	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5	Σενάριο 6
Διανυόμενη απόσταση σε χιλιόμετρα	480	<b>520</b>	622	812	866	1092
Διανυόμενη απόσταση σε μίλια	149	<b>174</b>	193	252	269	340
Ανόργανες ουσίες (Pt)	4	4,25	4,4	5	5,2	6,2
Φαινόμενο του θερμοκηπίου (Pt)	5,6	6	6,4	7,6	8	10
Ποσοστιαία μεταβολή απόστασης	-7,7%	0%	19,6%	36%	66,5%	110%

Ποσοστιαία μεταβολή ανόργανων ουσιών	-5,9%	0%	3,5%	17,6%	22,45%	45,9%
Ποσοστιαία μεταβολή φαινομένου του θερμοκηπίου	-6,7%	0%	6,7%	26,7%	33,4%	66,7%

Άλλη μία παράμετρος που επηρεάζει την επιβάρυνση στο περιβάλλον από τη μεταφορά είναι η απόσταση. Σε περίπτωση που αυξηθεί η διανυόμενη απόσταση, τότε αυξάνεται η ρύπανση του περιβάλλοντος. Οι επιπτώσεις γίνονται εμφανείς στις κατηγορίες του φαινομένου του θερμοκηπίου και των ανόργανων ουσιών λόγω των αερίων που εκπέμπονται κατά την καύση και των ανόργανων ουσιών του καυσίμου. Η αυξανόμενη μόλυνση προκύπτει από τα αέρια που παράγονται κατά την καύση των κινητήρων πρόωσης κατά τη διάρκεια του ταξιδιού και τις αυξημένες ανάγκες συντήρησης του πλοίου. Οι μεταβολές στις τιμές των επιπτώσεων ακολουθεί τη μεταβολή των τιμών των μιλίων, η οποία είναι εντονότερη για μεγαλύτερη μεταβολή στα μίλια.

#### Αποθήκευση Καυσίμου

Η επιλογή των ημερών αποθήκευσης έγινε με βάση τα σενάρια ανεφοδιασμού του λιμανιού του Ηρακλείου. Οι τιμές του διαφυγόντος αερίου επιλέχθηκαν στα όρια της υπάρχουσας τεχνολογίας (0,1%-0,25% διαφυγόν αέριο ανά μέρα αποθήκευσης).



Διάγραμμα 99 Ανάλυση ευαισθησίας αποθήκευσης καυσίμου για την περίπτωση 6 (Impact 2002/Weighting Profile)

Πίνακας 150 Ανάλυση ευαισθησίας αποθήκευσης καυσίμου για την περίπτωση 6

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5
Ημέρες Αποθήκευσης	1	<b>3</b>	4	5	7
Ποσοστό Διαφυγόντος Αερίου	0,1%	<b>0,15%</b>	0,15%	0,2%	0,25%
Φαινόμενο του θερμοκηπίου (Pt)	12,6	12,7	12,73	12,85	13
Ποσοστιαία μεταβολή ημερών	-66,7%	0%	33,4%	66,7%	133,4%
Ποσοστιαία μεταβολή αερίου	33,4%	0%	0%	33,4%	66,7%
Ποσοστιαία μεταβολή επίπτωσης	-0,79%	0%	0,24%	1,2%	2,3%

Οι μεταβολές στις επιπτώσεις προέκυψαν πολύ μικρότερες των συνιστωσών της αποθήκευσης. Αυτό οφείλεται στο μικρό ποσοστό που διαφεύγει τελικά, εξαιτίας του συστήματος δέσμευσης του αερίου. Με το σύστημα δέσμευσης, επανυδροποιείται και επιστρέφει το 95% του διαφυγόντος αερίου.

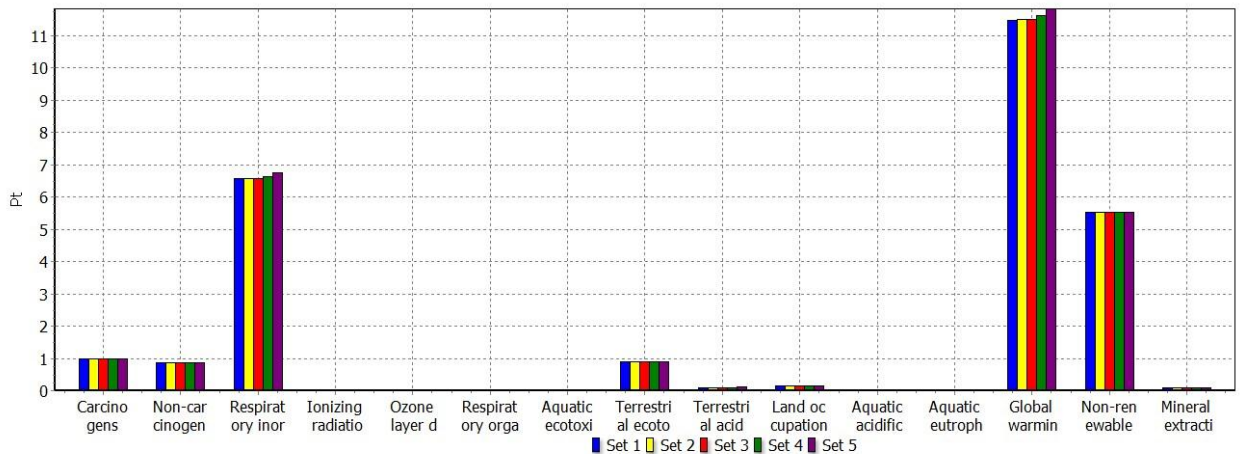
#### Περίπτωση 9

Μεταφορά και ανεφοδιασμός 10000 κυβικών μέτρων στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια του Ηρακλείου με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 και 3000 κυβικών μέτρων

#### *Διανύμενη Απόσταση*

Οι αποστάσεις επιλέχθηκαν όπως εξηγήθηκε παραπάνω.





Διάγραμμα 100 Ανάλυση ευαισθησίας διανυόμενης απόστασης για την περίπτωση 9 (Impact 2002/Weighting Profile)

Οι τιμές της απόστασης προσδιορίστηκαν όπως παραπάνω.

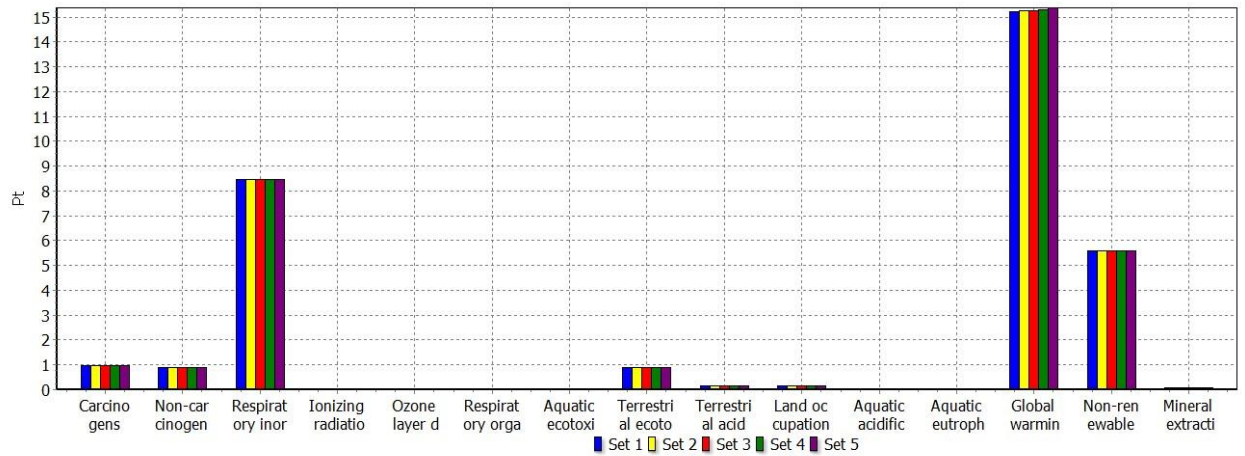
Πίνακας 151 Ανάλυση ευαισθησίας διανυόμενης απόστασης για την περίπτωση 9

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5
Διανυόμενη απόσταση σε χιλιόμετρα	480	<b>560</b>	622	812	1092
Ανόργανες ουσίες (Pt)	6,6	6,6	6,6	6,65	6,75
Φαινόμενο του θερμοκηπίου (Pt)	11,55	11,6	11,6	11,7	11,9
Ποσοστιαία μεταβολή απόστασης	-7,7%	0%	19,6%	36%	66,5%
Ποσοστιαία μεταβολή ανόργανων ουσιών	0%	0%	0%	0,76%	2,3%
Ποσοστιαία μεταβολή φαινομένου του θερμοκηπίου	-0,43%	0%	0%	0,86%	2,6%

Στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρείται μικρή μεταβολή στις κατηγορίες επιπτώσεων ακόμα και για μεγάλες μεταβολές στις διανυόμενες αποστάσεις. Το αποτέλεσμα αυτό πιθανόν να οφείλεται στο μεγάλο φορτίο που μεταφέρεται στη συγκεκριμένη περίπτωση.

### Ημέρες Αποθήκευσης

Η επιλογή των παραμέτρων έγινε όπως και σε προηγούμενες περιπτώσεις.



Διάγραμμα 101 Ανάλυση ευαισθησίας αποθήκευσης καυσίμου για την περίπτωση 6 (Impact 2002/Weighting Profile)

Πίνακας 152 Ανάλυση ευαισθησίας αποθήκευσης καυσίμου για την περίπτωση 6

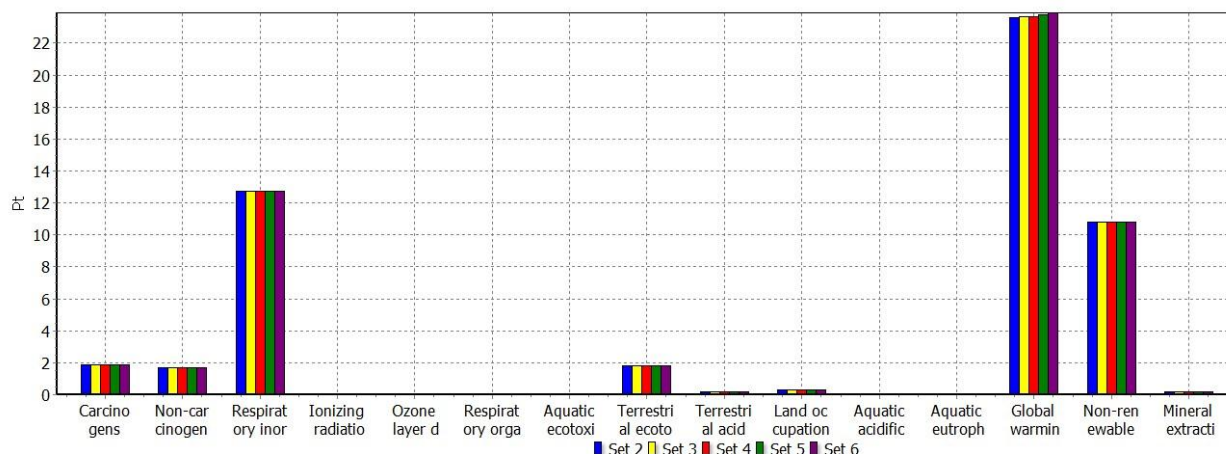
	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5
Ημέρες Αποθήκευσης	1	3	4	5	7
Ποσοστό Διαφυγόντος Αερίου	0,1%	<b>0,15%</b>	0,15%	0,2%	0,25%
Φαινόμενο του θερμοκηπίου (Pt)	11,15	11,17	11,17	11,19	15,2
Ποσοστιαία μεταβολή ημερών αποθήκευσης	-66,7%	0%	33,4%	66,75	133,4%
Ποσοστιαία μεταβολή διαφυγόντος αερίου	33,4%	0%	0%	33,4%	66,7%
Ποσοστιαία μεταβολή επίπτωσης	-0,17%	0%	0%	0,17%	36%

Τα αποτελέσματα είναι ανάλογα με τις προηγούμενες περιπτώσεις.

### Περίπτωση 10

Μεταφορά και ανεφοδιασμός 10000 κυβικών μέτρων στο λιμάνι του Πειραιά και στη συνέχεια 1000 κυβικών μέτρων στο λιμάνι του Ηρακλείου με πλοία ανεφοδιασμού χωρητικότητας 1000 και 3000 κυβικών μέτρων

*Ημέρες Αποθήκευσης στη δεξαμενή λιμανιού*



**Διάγραμμα 102** Ανάλυση ευαισθησίας ημερών αποθήκευσης LNG για την περίπτωση 10 (Impact 2002/Weighting Profile)

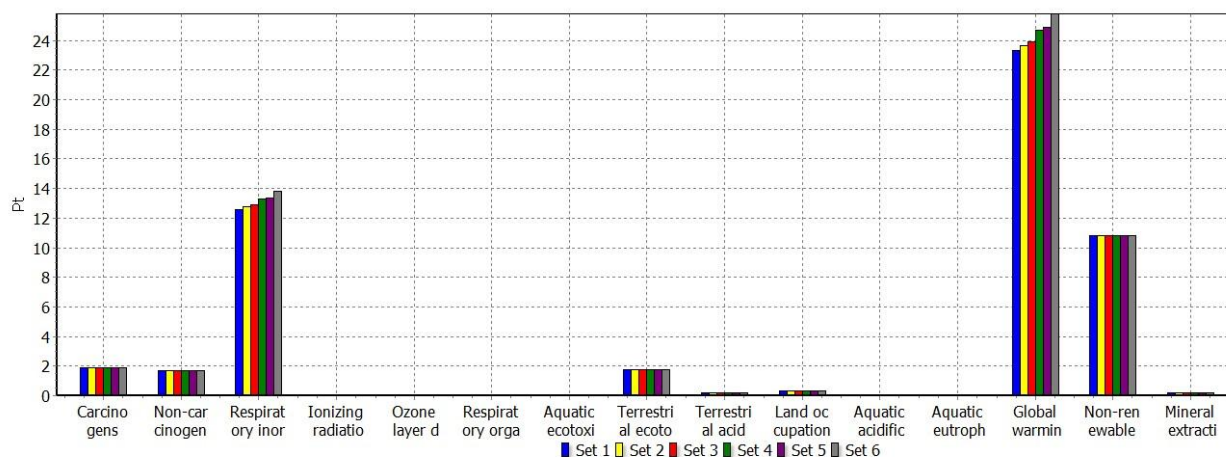
Δεδομένου ότι η προσέγγιση του πλοίου ανεφοδιασμού στο λιμάνι του Ηρακλείου πραγματοποιείται σύμφωνα με τα σενάρια μεταφοράς μία φορά την εβδομάδα, οι ημέρες αποθήκευσης μπορούν να φτάσουν τις επτά. Οι τιμές του ποσοστού του διαφυγόντος αερίου διατηρήθηκαν εντός των ισχυρόντων ορίων.

**Πίνακας 153** Ανάλυση ευαισθησίας ημερών αποθήκευσης LNG για την περίπτωση 10

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5
Αριθμός ημερών αποθήκευσης	1	3	4	5	7
Ποσοστό Διαφυγόντος Αερίου	0,1%	<b>0,15%</b>	0,15%	0,2%	0,25%
Φαινόμενο του θερμοκηπίου (Pt)	22,7	22,8	22,8	22,9	23
Ποσοστιαία μεταβολή ημερών αποθήκευσης	-66,7%	0%	33,4%	66,7%	133,4%
Ποσοστιαία μεταβολή αερίου	33,4%	0%	0%	33,4%	66,7%
Ποσοστιαία μεταβολή επίπτωσης	-0,43%	05%	0%	0,43%	0,88%

Η μεταβολή στις επιπτώσεις είναι πολύ μικρή για λόγους που εξηγήθηκαν παραπάνω.

#### Διανύμενη απόσταση



Διάγραμμα 103 Ανάλυση ευαισθησίας διανύμενης απόστασης για την περίπτωση 10 (Impact 2002/Weighting Profile)

Η επιλογή των αποστάσεων έχει επεξηγηθεί παραπάνω. Μαζί με την απόσταση αλλάζει και η ενεργειακή κατανάλωση, καθώς τα δύο αυτά μεγέθη συμμετέχουν άρρηκτα στους υπολογισμούς της λειτουργικής μονάδας, όπως έχει φανεί από τους υπολογισμούς που έχουν γίνει παραπάνω.

Πίνακας 154 Ανάλυση ευαισθησίας διανύμενης απόστασης για την περίπτωση 10

	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4	Σενάριο 5	Σενάριο 6
Χιλιομετρική απόσταση	480	<b>560</b>	622	812	866	1092
Ανόργανες ουσίες	12,2	12,3	12,4	12,6	12,7	13,9
Φαινόμενο του θερμοκηπίου (Pt)	23,7	23,8	24	24,3	24,4	25
Ποσοστιαία μεταβολή απόστασης	-0,077	0	0,196	0,36	0,665	0,95
Ποσοστιαία ανόργανων ουσιών	-0,82%	0%	0,82%	2,44%	3,25%	13%
Ποσοστιαία μεταβολή φαινομένου του θερμοκηπίου	-0,42%	0%	0,42%	0,21%	0,25%	5%

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνεται ότι η διανυόμενη απόσταση επηρεάζει κάποιες από τις κατηγορίες επιπτώσεων. Οι κατηγορίες που επηρεάζονται είναι εκείνες που σχετίζονται με τη λειτουργία της μηχανής του πλοίου. Αυξανόμενη της μεταβολής της απόστασης και σε αυτή την περίπτωση οι επιπτώσεις μεταβάλλονται σε σημαντικά μικρότερο βαθμό, γεγονός που αποδίδεται στο μεγάλο μεταφερόμενο φορτίο.

### Γενικές Παρατηρήσεις στην Ανάλυση Ευαισθησίας

Από την ανάλυση ευαισθησίας προκύπτει ότι η απόσταση συμβάλλει σημαντικά στη ρύπανση, όμως μόνο για μικρό μεταφερόμενο φορτίο. Αντίθετα για μεγάλο φορτίο, η συνεισφορά είναι μικρή. Το φορτίο της μηχανής του πλοίου επηρεάζει και σε μικρές και σε μεγάλες διαδρομές. Στις περιπτώσεις μεταφοράς με RoRo η μόνη σημαντική παράμετρος είναι η απόσταση, εξαιτίας της καθοριστικής συμβολής του πλοίου στη ρύπανση. Τα διαφυγόντα αέρια κατά τον ανεφοδιασμό επηρεάζουν σημαντικά την κατηγορία του φαινομένου του θερμοκηπίου, εφόσον αποτελεί μεθάνιο που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα. Αντίστοιχα τα διαφυγόντα αέρια κατά την πλήρωση αποτελούν σημαντική παράμετρο, μόνο όμως για μηδενικό ποσοστό ανάκτησης. Σε περίπτωση που υπάρχει ποσοστό ανάκτησης η επίπτωση είναι σχετικά μικρή. Το ίδιο ισχύει και για τα διαφυγόντα αέρια της αποθήκευσης. Αντίστροφα για κυμαινόμενο βαθμό ανάκτησης η επίπτωση των διαφυγόντων αερίων είναι σημαντική, όταν η αποθήκευση πραγματοποιείται πολλές ημέρες. Παράμετροι, οι οποίες δεν επηρεάζουν το τελικό αποτύπωμα, βρέθηκαν να είναι η ειδική κατανάλωση καυσίμου, το ποσοστό του φορτίου που μεταφέρεται στο Ηράκλειο, η ισχύς μηχανών των φορτηγών, η χωρητικότητα των containers και η διανυόμενη απόσταση των φορτηγών.

Όσον αφορά στον ανεφοδιασμό η ποσοστιαία μεταβολή των τιμών του διαφυγόντος αερίου είναι σε όλες τις περιπτώσεις 1,22-1,35 φορές μεγαλύτερη των αντίστοιχων μεταβολών των επιπτώσεων. Οι μεταβολές στην πλήρωση και στην αποθήκευση καυσίμου δεν επηρεάζουν με συγκεκριμένο τρόπο τις επιπτώσεις, αφού λόγω των τεχνικών δέσμευσης του διαφυγόντος αερίου, οι επιπτώσεις και οι μεταβολές τους αλλάζουν πολύ λίγο. Το φορτίο της μηχανής δεν επηρεάζει πάντα με τον ίδιο τρόπο και στον ίδιο βαθμό τις επιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα στην πρώτη περίπτωση οι ποσοστιαίες μεταβολές των τιμών του φορτίου της μηχανής είναι 6 φορές μεγαλύτερες των αντίστοιχων του φαινομένου του θερμοκηπίου και 1,17 φορές μικρότερες των μεταβολών στην κατηγορία των καρκινογόνων ουσιών. Στη δεύτερη περίπτωση οι μεταβολές των επιπτώσεων ήταν πολύ μικρές σε σχέση με αυτές του φορτίου, χωρίς να ακολουθούν κάποια συγκεκριμένη νόρμα, ενώ στην τρίτη περίπτωση οι ποσοστιαίες μεταβολές του φορτίου του μεγαλύτερου πλοίου ανεφοδιασμού είναι 1,2-1,3 φορές μεγαλύτερες των επιπτώσεων στις ανόργανες ουσίες. Η απόσταση δεν επηρεάζει με συγκεκριμένο τρόπο και σε μεγάλο βαθμό τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, εκτός από την περίπτωση της μεταφοράς με οχηματαγωγό πλοίο, που οι ποσοστιαίες μεταβολές των επιπτώσεων είναι 2 τάξεις μεγέθους πάνω από τις μεταβολές της απόστασης, χωρίς όμως την ύπαρξη αναλογίας στις τιμές.

## 5.3 Σύγκρουση Πλοίων

Ανάλογα με το είδος του χρησιμοποιούμενου καυσίμου ατυχήματα με πλοία επιφέρουν διαφορετικά περιβαλλοντικά αποτελέσματα. Η σύγκρουση δύο πλοίων είτε στην περίπτωση που λειτουργούν με καύσιμο LNG είτε στην περίπτωση που λειτουργούν με καύσιμο HFO, στην περίπτωση αστοχίας των δεξαμενών μπορεί να επιφέρει δύο πιθανά αποτελέσματα με γνώμονα το περιβαλλοντικό αποτύπωμα: τη διαρροή καυσίμου και τη φωτιά. Παρακάτω θα παρουσιαστεί οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ατυχημάτων για τα δύο αυτά σενάρια στην περίπτωση της πρόωσης με LNG και για φωτιά στην περίπτωση της πρόωσης με HFO. Η περίπτωση διαρροής καυσίμου HFO δεν εξετάζεται επειδή η συγκεκριμένη έκδοση του SimaPro δεν υπολογίζει τις επιπτώσεις στο υδάτινο οικοσύστημα, τα οποία πλήττεται κατά κύριο λόγο από τις διαρροές του μαζούτ.

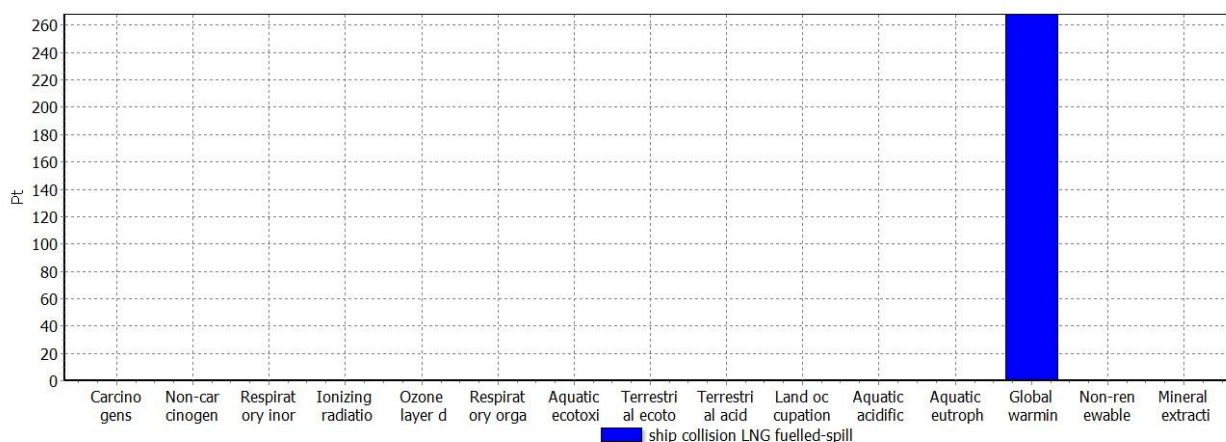
### 5.3.1 Διαρροή καυσίμου

Για την περίπτωση της διαρροής του καυσίμου δημιουργήθηκε μοντέλο ατυχήματος στο SimaPro, όπως περιγράφεται παρακάτω.

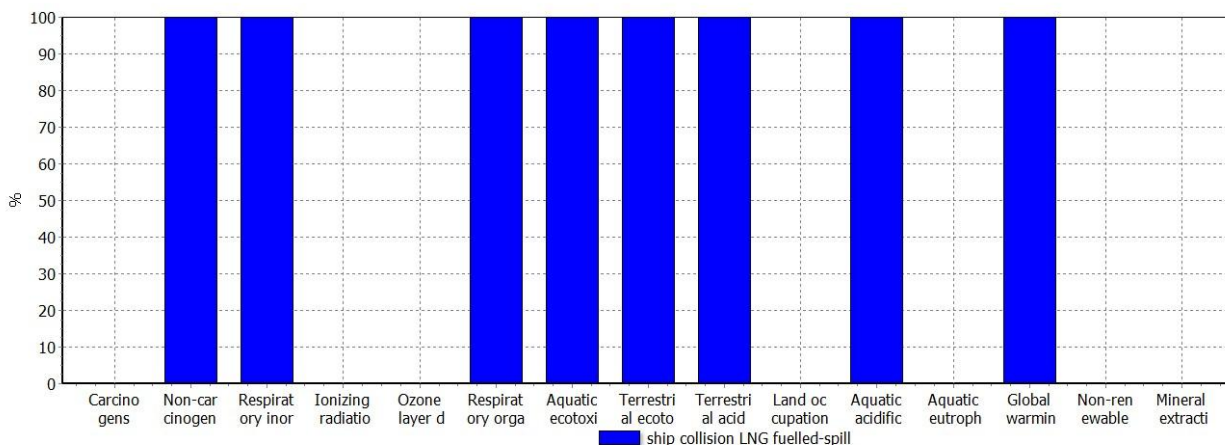
#### Σύγκρουση Πλοίων με Διαρροή Καυσίμου

Η διαδικασία περιγράφει τις επιπτώσεις της διαρροής των καυσίμων των πλοίων στο περιβάλλον. Η λειτουργική μονάδα είναι το part. Θεωρήθηκε ότι χύνεται ολόκληρο το περιεχόμενο κάθε δεξαμενής καυσίμου. Ως εκροή θεωρήθηκε η σύσταση του καυσίμου LNG, όπως έχει παρουσιαστεί παραπάνω. Η εκροές παρουσιάζονται σε kg. Θεωρήθηκε ότι κάθε πλοίο έχει δύο δεξαμενές συνολικής χωρητικότητας 400 m<sup>3</sup> και ότι διαφεύγει στο περιβάλλον όλο το περιεχόμενο των δεξαμενών.

Στο σενάριο της απλής το LNG αεριοποιήθηκε και συνέβαλλε στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα του μοντέλου παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα.



Διάγραμμα 104 Επιπτώσεις διαρροής LNG ανά κατηγορία (Impact 2002/Weighting Profile)



**Διάγραμμα 105** Αδιάστατη συνεισφορά επιπτώσεων στην περίπτωση διαρροής καυσίμου LNG ανά κατηγορία (Impact 2002/Characterisation Profile)

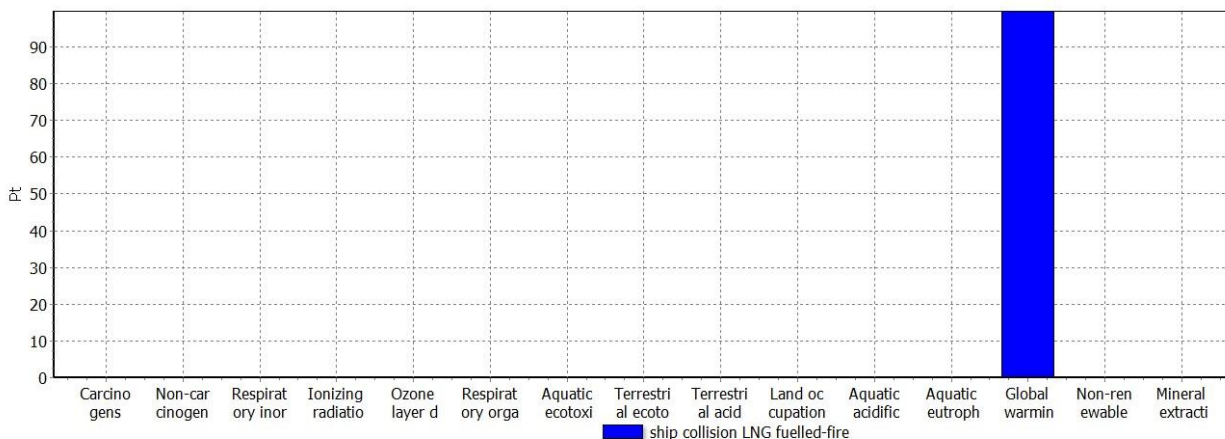
Από τα διαγράμματα 105 και 106 παρατηρείται ότι η διαρροή καυσίμου έχει μεγάλο περιβαλλοντικό αποτύπωμα στην κατηγορία του φαινομένου του θερμοκηπίου και μικρότερο στις υπόλοιπες. Στο Διάγραμμα 105 αποτυπώνονται όλες οι κατηγορίες των επιπτώσεων οι οποίες επηρεάζονται. Ωστόσο η ένταση της επίπτωσης καθιστά τη συνεισφορά αμελητέα σε σχέση με αυτή στην όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Το μέγεθος της επίπτωσης του ατυχήματος οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητα του LNG σε μεθάνιο. Οι υπόλοιπες κατηγορίες επηρεάζονται λιγότερο από το μεθάνιο και περισσότερο από τις οργανικές ουσίες που ενδέχεται να περιέχονται στο καύσιμο, αποτελώντας μικρό ποσοστό του καυσίμου. Για το λόγο αυτό είναι και οι επιπτώσεις στις αντίστοιχες κατηγορίες μικρές.

### 5.3.2 Φωτιά

#### Σύγκρουση Πλοίων LNG με Φωτιά

Η διαδικασία περιγράφει τις επιπτώσεις της πυρκαγιάς στο περιβάλλον. Λειτουργική μονάδα είναι το part. Στις εκροές περιλαμβάνονται αέρια του θερμοκηπίου, θερμότητα, φθόριο και χλώριο εξαιτίας του LNG. Θεωρήθηκε τέλεια καύση των καυσίμων. Όλες οι εκροές μετριοούνται σε κιλά, εκτός από τη θερμότητα που μετρείται σε megajoule.

Στο συγκεκριμένο σενάριο θεωρήθηκε τέλεια καύση του LNG και ότι το περιεχόμενο φθόριο του LNG καυσίμου αεριοποιείται. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στο Διάγραμμα 107.



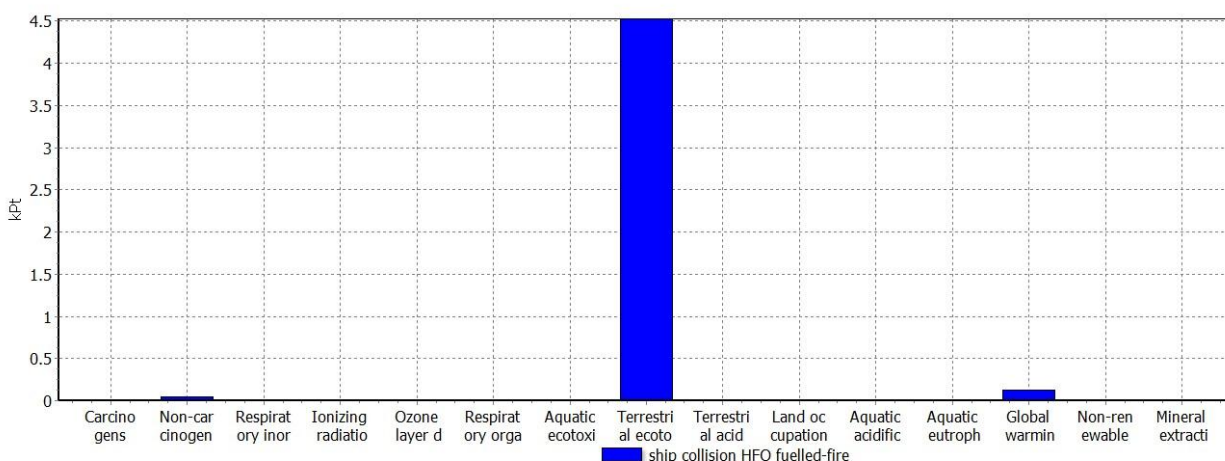
Διάγραμμα 106 Επίπτωση φωτιάς καυσίμου LNG ανά κατηγορία (Impact 2002/Weighting Profile)

Από τα διαγράμματα 107 φαίνεται ότι το αποτύπωμα από την περίπτωση της πυρκαγιάς είναι σαφώς μικρότερο από εκείνο της αεριοποίησης. Ξανά η κατηγορία που επηρεάζεται είναι εκείνη του φαινομένου του θερμοκηπίου. Το μικρότερο αποτύπωμα οφείλεται στην καύση του μεθανίου και στο σχηματισμό αερίων με μικρότερη επίπτωση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

#### Σύγκρουση Πλοίων HFO με Φωτιά

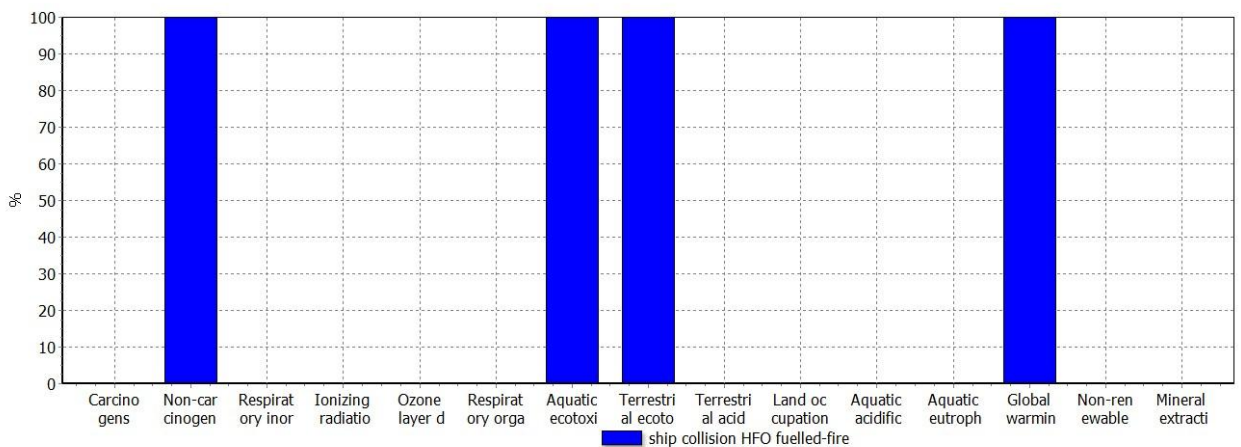
Η διαδικασία περιγράφει τις επιπτώσεις της πυρκαγιάς του μαζούτ στο περιβάλλον. Λειτουργική μονάδα είναι το part. Στις εκροές περιλαμβάνονται αέρια του θερμοκηπίου από την καύση της βενζίνης, θερμότητα και μέταλλα που περιέχονται στο μαζούτ. Θεωρήθηκε τέλεια καύση των καυσίμων. Όλες οι εκροές υπολογίζονται σε κιλά, εκτός από τη θερμότητα που παρουσιάζεται σε MJ.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα διαγράμματα 108 και 109.

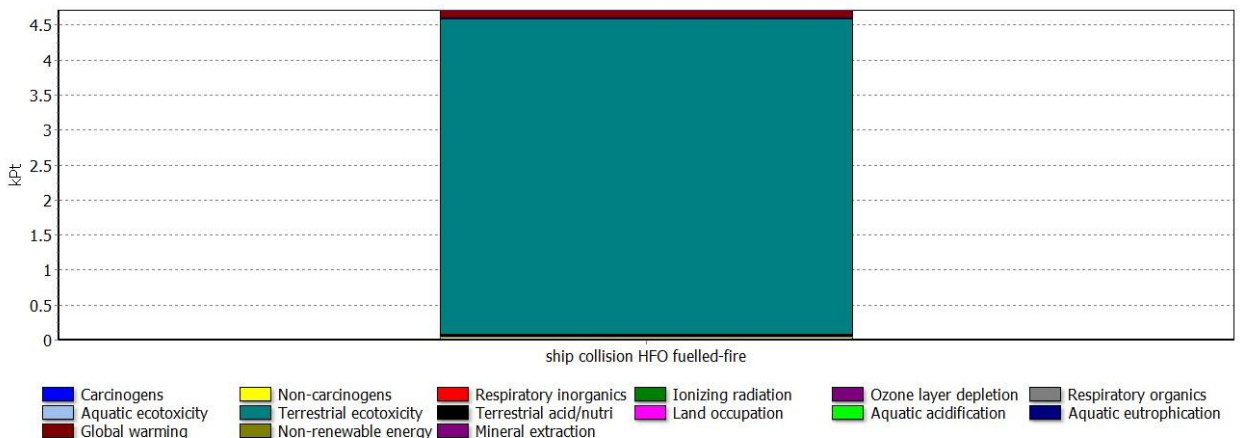


Διάγραμμα 107 Επίπτωση φωτιάς καυσίμου HFO ανά κατηγορία (Impact 2002/Weighting Profile)





Διάγραμμα 108 Ποσοστιαία αδιάστατη συνεισφορά επιπτώσεων στην περίπτωση φωτιάς καυσίμου HFO ανά κατηγορία (Impact 2002/Characterisation Profile)



Διάγραμμα 109 Συνολική συνεισφορά επιπτώσεων στην περίπτωση φωτιάς HFO (Impact 2002/Single Score)

Στην περίπτωση της φωτιάς του καυσίμου μαζούτ η μόλυνση του περιβάλλοντος οφείλεται περισσότερο στα μέταλλα που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα και λιγότερο στην ίδια την καύση. Αυτό παρατηρείται από το Διάγραμμα 67 και το Διάγραμμα 69. Η επίπτωση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι πολύ μικρή συγκρινόμενη με την κατηγορία της υδάτινης και χερσαίας οικοτοξικότητας.

### 5.3.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Από τα αποτελέσματα των ατυχημάτων γίνεται αντιληπτό ότι ο αντίκτυπος της αεριοποίησης του καυσίμου LNG είναι μεγαλύτερος από αυτόν της καύσης του LNG, δεδομένου ότι το μεθάνιο εκλύεται ανεξέλεγκτα στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο η παραδοχή της τέλει καύσης μειώνει τον αντίκτυπο, καθώς στα προϊόντα της καύσης δεν περιλαμβάνονται αέρια όπως τα NO<sub>x</sub>. Η παραδοχή αυτή δεν επηρεάζει το γεγονός ότι η περίπτωση της απλής διαρροής είναι περιβαλλοντικά περισσότερο ζημιογόνα, γεγονός που αποτυπώνεται και στην καθιέρωση της καύσης του μεθανίου σε περιπτώσεις που δεν είναι δυνατόν να αποφευχθεί ποσοστιαία διαρροή του [106]. Αυτό που επηρεάζεται από την παραδοχή είναι το μέγεθος της περιβαλλοντικής ζημίας. Και στις δύο περιπτώσεις των ατυχημάτων με καύσιμο το LNG οι

επιπτώσεις περιορίζονται στην κατηγορία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Στην περίπτωση του ατυχήματος με φωτιά, όταν ως καύσιμο χρησιμοποιείται το ΗFO, οι επιπτώσεις είναι πολύ μεγαλύτερες από τη φωτιά με καύσιμο το LNG. Στην περίπτωση του μαζούτ οι επιπτώσεις στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι δευτερεύουσες, αφού η κατηγορία που επηρεάζεται κατά κύριο λόγο είναι η χερσαία οικοτοξικότητα. Αυτό καταδεικνύει ότι η κύρια επιβάρυνση από το μαζούτ προέρχεται από τα μέταλλα που περιέχει και όχι από τους υδρογονάνθρακες, γεγονός που καθιστά το LNG φιλικότερο προς το περιβάλλον.

## Συμπεράσματα και Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε είχε ως στόχο τη μελέτη της περιβαλλοντικής επίδοσης των μεθόδων ανεφοδιασμού καυσίμου LNG και της βιωσιμότητας της επένδυσης που απαιτείται από τους εμπλεκόμενους φορείς της αλυσίδας ανεφοδιασμού.

Όσον αφορά στη βιωσιμότητα της επένδυσης αποδείχθηκε ότι τα σενάρια ανεφοδιασμού, τα οποία περιλαμβάνουν προμήθεια με φορτηγά ή container μεταφερόμενα με πλοίο RoRo είναι καταλληλότερα για μικρές ποσότητες ανεφοδιασμού και μικρές αποστάσεις. Πιο συγκεκριμένα η μεταφορά με φορτηγά οδηγεί στη μικρότερη τιμή πώλησης, όταν πρόκειται για ανεφοδιασμό πλοίων μικρής ισχύος. Όταν η ισχύς και η απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου αυξάνεται, τότε αποδεικνύεται πιο συμφέρον το σενάριο μεταφοράς με πλοίο RoRo. Ο συγκεκριμένος τρόπος προμήθειας οδηγεί σε μεγαλύτερη τιμή πώλησης σε σχέση με την προμήθεια με φορτηγά, αλλά και σε μεγαλύτερο IRR για τους εμπλεκόμενους φορείς. Όταν η απόσταση μεταφοράς αυξάνεται, τότε η μεταφορά με πλοίο RoRo καθίσταται οικονομικά ασύμφορη, εξαιτίας του μεγάλου εισιτηρίου που απαιτείται για τη μεταφορά των container.

Η προμήθεια καυσίμου με πλοίο ανεφοδιασμού προκύπτει συμφέρουσα για μεγαλύτερες διακινούμενες ποσότητες καυσίμου, οπότε ενδείκνυται, όταν ο υπάρχων LNG στόλος επομένως και η ζήτηση καυσίμου, είναι σχετικά μεγάλη. Στην περίπτωση της προμήθειας με πλοία ανεφοδιασμού, η ενοικίαση των πλοίων αποδείχτηκε οικονομικά πιο συμφέρουσα από την αγορά τους. Για μεγάλες ποσότητες προμήθειας, η επένδυση είναι συμφέρουσα και για μικρότερη διαφορά τιμών.

Από την έρευνα προέκυψε ότι η μετασκευή των επιβατηγών πλοίων είναι οικονομικά συμφέρουσα, όταν η ισχύς τους είναι σχετικά μεγάλη. Για μικρής ισχύος πλοία η διαφορά τιμής των καυσίμων πρέπει να είναι πολύ μεγάλη και οι διαδρομές μικρές, ώστε να καταστεί συμφέρουσα η επένδυση. Σε αντίθετη περίπτωση χρειάζεται επιδότηση από το κράτος. Για κύριες μηχανές μεγαλύτερης ισχύος (άνω των 12 MW), οι ισχύουσες διαφορές τιμών των καυσίμων παρότι αυξομειώνονται, καθιστούν συμφέρουσα τη μετασκευή.

Ωστόσο, στην επένδυση του πλοιοκτήτη επιδρά αρνητικά το κόστος του ανεφοδιασμού από το λιμάνι. Σε περίπτωση που η ζήτηση είναι μικρή, προκειμένου να γίνει απόσβεση του απαιτούμενου εξοπλισμού αποθήκευσης στο λιμάνι, πρέπει να αυξηθεί αρκετά το τέλος ανεφοδιασμού. Στην περίπτωση μεγάλης και αυξανόμενης ζήτησης καυσίμου LNG μπορεί να επωμιστεί το κόστος εξοπλισμού αποθήκευσης ο προμηθευτής, ώστε να μη χρειαστεί αλλαγή του τέλους ανεφοδιασμού.

Από τους τρεις τρόπους προμήθειας, η προμήθεια με πλοίο ανεφοδιασμού αποδείχθηκε ο λιγότερο περιβαλλοντικά επιζήμιος τρόπος. Αντίθετα η προμήθεια με πλοίο RoRo βρέθηκε να είναι η πιο επιβλαβής μέθοδος. Η προμήθεια με φορτηγά είναι λιγότερο επιζήμια από εκείνη με πλοίο RoRo και λιγότερο από την προμήθεια με πλοίο ανεφοδιασμού. Το αποτέλεσμα συνδέεται με το μέγεθος των πλοίων και τον αριθμό των φορτηγών.

Η μεταφορά αποτελεί τη διαδικασία ανεφοδιασμού με τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση, περιλαμβάνοντας και την κατασκευή και τη συντήρηση το εξοπλισμού. Το ίδιο ισχύει και για τον εξοπλισμό αποθήκευσης του καυσίμου. Η διαδικασία του ανεφοδιασμού έχει σημαντικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, το οποίο όμως περιορίζεται στις κατηγορίες του φαινομένου του θερμοκηπίου και των ανόργανων ουσιών. Αντίθετα η πλήρωση έχει σημαντικά μικρότερο αποτύπωμα, εξαιτίας των τεχνικών δέσμευσης του διαφυγόντος αερίου.

Η απόσταση αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει τις περιβαλλοντικές επιδόσεις, ειδικά στο οχηματαγωγό πλοίο.

Από τη σύγκριση των επιπτώσεων στις περιπτώσεις ατυχήματος με πλοία, τα οποία κινούνται με καύσιμο LNG και HFO, προέκυψε ότι το LNG είναι φιλικότερο προς το περιβάλλον. Οι επιπτώσεις του LNG περιορίζονται κατά κύριο λόγο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σε αντίθεση με το HFO, που επηρεάζει κυρίως άλλες κατηγορίες, όπως η οξύνιση και η οικοτοξικότητα. Το ατύχημα που οδηγεί σε διαρροή του LNG, επιβαρύνει περισσότερο το περιβάλλον σε σχέση με αυτό που οδηγεί σε φωτιά.

Εφόσον προέκυψε ότι η μεγαλύτερη επιβάρυνση στο περιβάλλον προκύπτει από τον εξοπλισμό, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε να διερευνηθούν μέθοδοι μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την κατασκευή του εξοπλισμού. Επίσης δεδομένης της συμβολής της απόστασης στα αποτελέσματα, θα άξιζε η διερεύνηση του φιλικότερου προς το περιβάλλον τρόπου μεταφοράς σε άλλα λιμάνια της χώρας είτε νησιών είτε της ηπειρωτικής χώρας. Όσον αφορά στα πλοία ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η εξεύρεση της οικονομικά πιο συμφέρουσας τεχνολογίας μείωσης εκπομπών στα επιβατηγά πλοία μικρής ισχύος. Επειδή η βιβλιοθήκη του SimaPro για πλοία και εξοπλισμό LNG είχε περιορισμένα δεδομένα σημαντική θα ήταν η ανάπτυξη βάσης δεδομένων για πλοία που κινούνται με καύσιμο του LNG, αλλά και για τον απαραίτητο εξοπλισμό για την προμήθεια και την αποθήκευση του καυσίμου. Τέλος, με γνώμονα τις πολιτικές για τρόπους ηλεκτροπαραγωγής και ενεργειακής ασφάλειας φιλικότερους προς το περιβάλλον, θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον η μελέτη της βιωσιμότητας εξοπλισμού επαναεριοποίησης και καύσης του LNG για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα νησιά του Αιγαίου.

## Βιβλιογραφία

1. May 4, 2016]; Available from: <http://www.lngbunkering.org/>.
2. *LNG Properties and Characteristics*, in *Flammable Cryogenic Liquid Carriers*, I. United States Maritime Resource Center, Editor.: Newport County, Rhode Island, USA.
3. *2016 World LNG Report, LNG 18 Conference & Exhibition Edition*, in *IGU World Gas LNG Report*. International Gas Union.
4. *World LNG Report, World Gas Conference Edition*, in *IGU World LNG Report*. International Gas Union.
5. Leidos, I., *Global Natural Gas Markets Overview*, EIA, Editor., Energy Information Administration.
6. Melling, A.J., *NATURAL GAS PRICING AND ITS FUTURE, EUROPE AS THE BATTLEGROUND 2010*, CARNEGIE ENDOWMENT FOR INTERNATIONAL PEACE.
7. May 3, 2016]; Available from: <http://www.depa.gr/index3.php//content/article/002003006/160.html>.
8. *ΕΚΘΕΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ ΕΤΑΙΡΙΚΗ ΧΡΗΣΗ 1.1.2015-31.12.2015*. 2015; Available from: <http://www.depa.gr/>.
9. A.E., Δ., *ΕΚΘΕΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ ΕΤΑΙΡΙΚΗ ΧΡΗΣΗ 1.1.2014-31.12.2014*. 2014.
10. *ΕΚΘΕΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ ΕΤΑΙΡΙΚΗ ΧΡΗΣΗ 1.1.2013-31.12.2013*, Δ. A.E., Editor. 2013.
11. *ΕΚΘΕΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ ΕΤΑΙΡΙΚΗ ΧΡΗΣΗ 1.1.2012-31.12.2012*, Δ. A.E., Editor. 2012.
12. *ΕΚΘΕΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ ΕΤΑΙΡΙΚΗ ΧΡΗΣΗ 1.1.2011-31.12.2011*, Δ. A.E., Editor. 2011.
13. May 5, 2016]; Available from: <http://www.imo.org/>.
14. Boulougouris, E.K. and M.L.E. Chrysinas, *Lecture Notes on LNG Fueled Vessels Design Training*. 2015.
15. RODRIGUES, A.P., *The training of officers and crew of LNGfuelled vessels: a case study of Norway*, in *Department of Shipping and Marine Technology*. 2013, CHALMERS University of Technology: Gothenburg, Sweden.
16. Karlsson, S. and L. Sonzio, *Enabling the safe storage of gas onboard ships with the Wärtsilä LNGPac*.
17. *LNGPAC A complete solution for LNG fuelled ships*. WÄRTSILÄ.
18. *Final report European Maritime Safety Agency (EMSA) - Study on Standards and Rules for bunkering of gas-fuelled Ships* Germanischer Lloyd.
19. *CNSS Work package 4, Showcase LNG LNG fuelled ships as a contribution to clean air in harbours*, C.N.S. Shipping, Editor. 2013.
20. May 8, 2015]; Available from: [www.nfpa.org](http://www.nfpa.org).
21. May 9, 2015]; Available from: [www.iso.org](http://www.iso.org)
22. *Modalities for the provisioning of LNG as shipping fuel in Flemish ports: PART II:Legal & Regulatory*. DET NORSKE VERITAS.
23. May 18, 2015]; Available from: <http://eur-lex.europa.eu>.
24. June 15, 2015]; Available from: [www.energypress.gr](http://www.energypress.gr).
25. May 11, 2015]; Available from: [www.cen.eu](http://www.cen.eu).
26. May 10, 2015]; Available from: <http://blogs.dnvgl.com>.
27. *LNG - Status in Denmark Technology and potential Project Report*. 2012, Danish Gas Technology Centre.
28. Karlsen, L., *Approval of Ships using LNG as fuel*. Norwegian Maritime Authority.
29. *LNG Overview of regulations*, D.M. Authority, Editor. 2014.

30. *Liquiline to Build First Danish LNG Bunkering Terminal*. Available from: <http://worldmaritimenews.com>.
31. Stuer, F., et al., *Natural gas for ship propulsion in Denmark – Possibilities for using LNG and CNG on ferry and cargo routes-Environmental Project No. 1338 2010*, D.M.O.T. ENVIRONMENT, Editor.
32. Authority, D.M., *DMA Circulr no.018*.
33. Hollstein, H., *Hamburg Port Authority: Concept of LNG Infrastructure and Regulations May 2013 Presentation*.
34. *Natural gas: liquefied natural gas (LNG) delivery installations for ships Bunkering ships (shore to ship) -Hazardous Substances Publication*
35. June 2, 2015]; Available from: [www.yen.gr](http://www.yen.gr).
36. Απόφαση 511.23/2012.
37. June 16, 2015]; Available from: <http://www.et.gr/>.
38. June 3, 2015]; Available from: <http://www.sigtto.org>.
39. Ε. Κακαράς, Σ.Κ., *Αντιρρυπαντική Τεχνολογία Θερμικών Σταθμών*.
40. Selma Bengtsson, K.A., Erik Fridell, *Life cycle assessment of marine fuels, A comparative study of four fossil fuels for marine propulsion*.
41. ΝΙΚΟΛΑΟΣ-ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ, Μ., *ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ*. 2012.
42. Γεώργιος, Α., *ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΥΓΡΑΕΡΙΟΦΟΡΑ ΣΚΑΦΗ*, in *Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών*. 2008, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
43. Rein-Main-Danube, L.M.f., *Emergency and incidents response study, (Havenbedrijf Rotterdam N.V)*. 2015.
44. Bill Haukoos, P.T., Graham Williams, *An Initial Qualitative Discussion on Safety Considerations for LNG Use in Transportation*. 2012.
45. SELMA BENGTSOON, K.A., ERIK FRIDELL, *Life cycle assessment of marine fuels, A comparative study of four fossil fuels for marine propulsion in Department of Shipping and Marine Technology*. 2011, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.
46. Dana Lowell, M.B.a.A.H.W., Nic Lutsey, *Assessment of the fuel cycle impact of liquefied natural gas as used in international shipping*. 2013, International Council on Clean Transportation ICCT.
47. Ryste, J.M., *Screening LCA of GHG emissions related to LNG as ship fuel*. 2012, NTNU Trondheim.
48. *The influence of propulsion system design on the carbon footprint of different marine fuels in Low Carbon Shipping Conference*. 2013: London.
49. BENGTSOON, S., *Life Cycle Assessment of Present and Future Marine Fuels, Department of Shipping and Marine Technology*. 2011, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.
50. Barnett, P.J., *Life Cycle Assessment (LCA) of Liquefied Natural Gas (LNG) and its environmental impact as a low carbon energy source, in Faculty of Engineering and Surveying*. University of Southern Queensland.
51. Selma Bengtsson , E.F., Karin Andersson, *Environmental assessment of two pathways towards the use of biofuels in shipping*.
52. Selma Brynolf, E.F., Karin Andersson, *Environmental assessment of marine fuels: liquefied natural gas, liquefied biogas, methanol and bio-methanol*. Journal of Cleaner Production.
53. Heather Thomson, J.J.C., James J. Winebrake *Natural gas as a marine fuel in University of Delaware ,Newark,DE, USA Rochester Institute of Technology*.
54. Laugen, L., *An Environmental Life Cycle Assessment of LNG and HFO as Marine Fuels*. Norwegian University of Science and Technology NTNU- Trondheim.

55. Øberg, M.M., *Life Cycle Assessment of Fuel Choices for Marine Vessels*. Norwegian University of Science and Technology NTNU - Trondheim.
56. April 4, 2016]; Available from: . <http://energypress.gr/news/oikonomikoteri-kai-perivallontika-pio-filiki-i-hrisi-toy-Ing-sti-naytilia>.
57. April 3, 2016]; Available from: <http://www.xn--mxfad0dp.gr/default.asp?pid=304&la=1>.
58. April 6, 2016]; Available from: [http://www.desfa.gr/?page\\_id=1124](http://www.desfa.gr/?page_id=1124).
59. April 7, 2016]; Available from: <http://www.depa.gr/content/article/002001014001/292.html>.
60. Nogueras, F.I. *Development of LNG logistics activities: small scale and big scale HUB*. in *LNG TECH GLOBAL SUMMIT 2013*. Barcelona.
61. April 5, 2016]; Available from: . <http://troxoikaitir.gr/content/248/%CE%B7-%CE%B5%CF%80%CE%B9%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AE-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CF%83%CF%89%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%8D-%CF%84%CF%81%CE%AC%CE%BA%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B1>.
62. Δεμίρης, Ε., *Εκτίμηση Πραγματικής Επορικής Αξίας Μεταχειρισμένων Πλοίων*, in *ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ*
- ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ. 2010, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο: Αθήνα.
63. May 29, 2016]; Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied\\_natural\\_gas](https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_natural_gas).
64. *Costs and benefits of LNG as ship fuel for container vessels Key results from a GL and MAN joint study*. Germanischer Lloyd.
65. October 9, 2015]; Available from: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tec00118&plugin=1>.
66. October 10, 2015]; Available from: <http://www.taxheaven.gr/laws/circular/view/id/16161>.
67. October 15, 2015]; Available from: <http://www.etean.gr/Public#sthash.bSuKVdGp.dpuf>.
68. May 2, 2016]; Available from: <http://www.taxheaven.gr/news/news/view/id/27056>.
69. October 8, 2015]; Available from: <http://www.eea.gr/gr/el/articles/dnt-dysoiones-provlepseis-gia-tin-yfesi-stin-ellada>.
70. *WARTSILA 34DF PRODUCT GUIDE*.
71. 29 September, 2015]; Available from: <https://www.google.gr/maps/>.
72. May 10, 2016]; Available from: <http://www.nautiweb.gr/pagesgr/portolanos/apostaseis%20limanion.htm>.
73. Petrov, J., *LNG fuelled vessels*.
74. Bashar, A., *Small-scale LNG Carriers*, in *Sustainable Marine Transportation Conference 2014*.
75. Colson, D., *LNG BUNKERING FOR COMMERCIAL VESSELS -SOLUTIONS FOR STORAGE TANKS, FEEDER VESSELS AND VESSEL FUEL TANKS*.
76. Tanaka, K., *Principal Design Project of Small Scale LNG Carrier/bunkering Ship with DF engines*. 2014.
77. *Azimuth Report Week 48*. 2015.
78. Group, C.R. and J. Boylston, *Evaluating the Use of Liquefied Natural Gas in Washington State Ferries*. 2012.
79. July 12, 2015]; Available from: <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/natural-gas-review-by-energy-type/natural-gas-prices.html>.

80. Αρέστη, Κ., *ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ, ΕΞΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΥΓΡΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΜΕΣΩ ΚΡΥΟΓΕΝΙΚΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ*. 2014, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
81. September 18, 2015]; Available from: [http://www.marinetraffic.com/gr/ais/index/ships/all/area:15/areaname:Aegean%20Sea/per\\_page:50/yob\\_between:1890%2C2015](http://www.marinetraffic.com/gr/ais/index/ships/all/area:15/areaname:Aegean%20Sea/per_page:50/yob_between:1890%2C2015).
82. Johan Gahnström, *"Small/medium scale LNG Port, terminal and bunkering Technical and operational aspects"*. 2012.
83. October 2, 2015]; Available from: <http://www.glavopoulos.gr/kok/kok020.php>.
84. *ROAD TUNNELS: VEHICLE EMISSIONS AND AIR DEMAND FOR VENTILATION*. 2004, Technical Committee on Road Tunnel Operation.
85. September 27, 2015]; Available from: <http://www.dikaiologitika.gr/site/2744>.
86. October 3, 2015]; Available from: <http://www.protothema.gr/greece/article/349550/neo-haratsi-sta-diodia-apo-tin-olubia-odo/>.
87. March 5, 2016]; Available from: <http://www.euro2day.gr/news/enterprises/article/552120/olp-tahrysa-agoria-toy-limaniou.html>.
88. *North European LNG Infrastructure Project, "A feasibility study for an LNG filling station infrastructure and test of recommendations"*. Danish Maritime Authority.
89. TEKNA, in *International conference on small scale LNG in Europe*. Oslo.
90. IGU, *Small Scale LNG, 2012 – 2015 Triennium Work Report*. 2015.
91. *Feasibility Study for an LNG filling station network in north Europe*. North European LNG Infrastructure Project.
92. Yang, C. and J. Ogden, *"DETERMINING THE LOWEST-COST HYDROGEN DELIVERY MODE"*, in *Department of Environmental Science and Policy*. Institute of Transportation Studies.
93. October 21, 2015]; Available from: <http://www.alibaba.com/showroom/cryogenic-lng-pump.html>.
94. *Small Scale LNG Supply Chain*. 2011. Berlin.
95. Castel, J.-F., *"FEEDBACK ON THE OPERATION OF THE DUAL FUEL DIESEL ELECTRIC PROPULSION ON LNG CARRIERS: IMPACT OF GAS FUEL QUALITY ON PROPULSION EFFICIENCY"*.
96. October 23, 2015]; Available from: [http://www.alibaba.com/showroom/natural-gas-compressor-price\\_2.html](http://www.alibaba.com/showroom/natural-gas-compressor-price_2.html).
97. Punnonen, K., *"Small and Medium size LNG for Power Production"*, Wärtsilä Finland Oy.
98. October 1, 2015]; Available from: <http://www.agrotypos.gr/index.asp?mod=articles&id=60376>.
99. October 7, 2015]; Available from: <http://www.bunkerworld.com/prices/>.
100. *Quality of diesel fuel (MDO, MGO)*. MAN.
101. Haram, H.K., *LNG in Norway Shortsea Shipping*. 2012.
102. October 18, 2015]; Available from: <http://www.zougla.gr/zouglaport/pantoporos/article/dimoskopisi-xrtc-i-ikonomiki-krisi-stin-elada-den-epireazi-tis-naftiliakes-eteries>.
103. Karlsson, S. and Leonardo Sonzio, *"Enabling the safe storage of gas onboard ships with the Wärtsilä LNGPac"* 2015.
104. Perez, E., et al., *"Feasibility for LNG as a fuel for the Mediterranean SSS Fleet: Profitability, Facts and Figures"*.
105. *Assumptions used by DMA*.



106. Dana Lowell, M.B.a.A.H.W., Nic Lutsey, *International Council on Clean Transportation, Assessment of the fuel cycle impact of liquefied natural gas as used in international shipping*. 2013.
107. Evangelos K. Boulougouris, L.E.C., *Lecture Notes on LNG Fueled Vessels Design Training*. 2015, University of Strathclyde Glasgow.
108. Wärtsilä, *Wärtsilä 34DF Product Guide*. 2015.
109. Brynolf, S., E. Fridell, and K. Andersson, *Selma Brynolf, Erik Fridell, Karin Andersson, Environmental assessment of marine fuels: liquefied natural gas, liquefied biogas, methanol and bio-methanol*. *Journal of Cleaner Production*, 2014.
110. <https://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.php>. [cited 2016 24.4.2016].