

**«Βελτιστοποίηση Πλοίου στα Πλαίσια Ολοκληρωμένου  
Συστήματος Συνδυασμένων Μεταφορών»**

Διδακτορική Διατριβή  
της  
Χριστιάνας Χ. Γκόχαρη

Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών  
Τομέας Μελέτης Πλοίου και Θαλασσίων Μεταφορών  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Τριμελής Επιτροπή:

Απόστολος Παπανικολάου Καθηγητής ΕΜΠ (Επιβλέπων)

Παναγιώτης Κακλής Καθηγητής ΕΜΠ

Γεώργιος Ζαραφωνίτης Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2010

ΑΘΗΝΑ

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή, Α. Παπανικολάου για την τιμή που μου έκανε να επιβλέψει τη Διδακτορική μου Διατριβή. Επιπλέον, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την επιστημονική του καθοδήγηση, που στάθηκε σημαντική στην επιτυχή ολοκλήρωση της Διατριβής. Κυρίως, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για κάθε πρόκληση και ευκαιρία που ώθησε την εξέλιξή μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς επιτροπής Καθ. Π. Κακλή και Επικ.Καθ. Γ. Ζαραφωνίτη για τη συμβουλευτική τους βοήθεια και τη διαθεσιμότητά τους.

Ιδιαίτέρως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Β. Μπουλουγούρη, Δρ Μηχ. για τις πολύτιμες συμβουλές του και τη συνεργασία μας στα πλαίσια του Logbased.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω για την πολύτιμη συμβολή τους, τους:

Κ. Αναστασόπουλο, Επιστ. Συνεργάτης

Δ. Λυρίδη, Επ.Καθηγητής ΕΜΠ

Ν. Κυρτάτο, Καθηγητής ΕΜΠ

Π. Ζαχαριουδάκη, Δρ Μηχ.

Γ. Δημόπουλο, Δρ Μηχ.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω το Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου για τη δυνατότητα που μου έδωσε να εργασθώ στο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Logbased, την ΕΔΕΙΛ-ΕΜΠ για την υποτροφία που μου έδωσε για κάποιο διάστημα της διατριβής και κυρίως τον Νορβηγικό Νηογνώμονα (DNV) για την αφιλοκερδή οικονομική υποστήριξη μέρους της διδακτορικής μου διατριβής.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω τα μέλη της επταμελούς επιτροπής και όλους τους συναδέλφους και συνεργάτες.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Χ. Γκόχαρη για την καθοδήγηση του και συνολικά την οικογένεια μου για την υποστήριξη και την πολύτιμη βοήθεια τους.

*Στην οικογένεια μου,*

## ΑΚΡΩΝΥΜΑ

AR: Ακτίνα Ενεργείας

B: Πλάτος

BDT: Basic Design Tool

CO<sub>2</sub>: Διοξείδιο του άνθρακα

D2D: Door to Door

DWT: Πρόσθετο Βάρος

D: Κοίλο

Δ: Εκτόπισμα

ΔTK: Δείκτης Τιμών Καταναλωτή

E/K: Εμπορευματοκιβώτια

GHG: Greenhouse Gas

JiT: Just in Time

Lbp: Μήκος μεταξύ Καθέτων

LM: Lane Meters

NPV: Καθαρή παρούσα αξία

Ns: Συχνότητα υπηρεσίας

Nv: Ο αριθμός των πλοίων

RFR: Απαιτούμενος Ναύλος

RPM: Στροφές ανά Λεπτό

RoRo: Roll-On Roll Off

RoPax: RoRo Passenger Ship

SHP: Ισχύς Άξονα

T: Βύθισμα

TFR: Απαιτούμενος Ναύλος D2D

TNΔ: Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο

TSD: Transport System Development Tool

Vs: Ταχύτητα υπηρεσίας



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>7</b>
1.1	ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	7
1.2	ΘΕΜΑ ΚΑΙ ΓΝΩΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ.....	8
1.3	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΙΑΣ .....	9
1.4	ΔΟΜΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ .....	9
1.5	ΟΡΟΛΟΓΙΑ.....	10
1.6	ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	18
1.7	ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ.....	31
<b>2</b>	<b>Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b> .....	<b>34</b>
2.1	ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	34
2.2	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΖΗΤΗΣΗΣ.....	35
2.3	ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	38
2.4	ΑΡΧΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΛΟΙΟΥ (ΤΕΧΝΗΤΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ).....	41
2.5	ΒΑΣΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ.....	58
2.6	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	75
2.7	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ.....	78
2.8	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΛΥΣΕΩΝ.....	79
2.9	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....	81
<b>3</b>	<b>ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ</b> .....	<b>83</b>
3.1	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ SHORT SEA SHIPPING-RORO: Η ΓΡΑΜΜΗ ΚΡΗΤΗ - ΓΕΡΜΑΝΙΑ.....	83
3.2	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΖΗΤΗΣΗΣ.....	85
3.3	ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΡΗΤΗ-ΙΤΑΛΙΑ .....	95
3.4	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ.....	111
3.5	ΠΡΟΣΘΕΣΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΠΑΤΡΑΣ.....	111
3.6	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ .....	120
<b>4</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>127</b>
4.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	127
4.2	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ .....	128
4.3	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ .....	129
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....</b>	<b>130</b>

<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:</b> PDT-LOGBASED .....	135
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β:</b> ΝΕΥΡΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΡΧΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΛΟΙΩΝ .....	139
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ:</b> RORONEΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΡΧΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΛΟΙΩΝ GENERAL CARGO ΚΑΙ BULK CARRIER .....	140
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ:</b> ΝΕΥΡΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΛΟΙΩΝ RORO .....	144
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε:</b> ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ.....	145
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ:</b> ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΤΗΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ RORO .....	147
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η:</b> ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΙΤΑΛΙΑ...	148
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Θ:</b> ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΠΑΤΡΑ.....	158
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι:</b> ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ.....	161
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Κ:</b> ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ .....	166

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο περιβαλλοντικός συναγερμός και η παγκόσμια οικονομική κρίση επιτείνουν την ανάγκη για αποδοτικότερη ναυτιλιακή δραστηριότητα. Μεγάλη προσοχή έχει δοθεί πρόσφατα για την επίτευξη και καθιέρωση χαμηλότερων εκπομπών αέριων ρύπων στη ναυτιλία. Σε κάθε περίπτωση, η ναυτιλία παραμένει ένα συγκριτικά φιλικό προς το περιβάλλον μέσο μεταφοράς μεγάλων φορτίων και το όφελος από την ανακούφιση των χερσαίων μεταφορών διαμέσου της μεταφοράς δια θαλάσσης είναι προφανές.

Τις τελευταίες δεκαετίες, η έντονη εκβιομηχάνηση και βελτίωση του βιοτικού επιπέδου οδηγεί στην προτίμηση για ταχείες και αξιόπιστες παραδόσεις. Στη ναυτιλία, οι υψηλές δαπάνες μεταφόρτωσης, η χαμηλή ταχύτητα και το συχνά ανεπαρκές θαλάσσιο δίκτυο καθιστούν τις υπηρεσίες μη ανταγωνιστικές σε σχέση με την οδική μεταφορά των εμπορευμάτων. Από την άλλη μεριά, η οικονομία «μεγάλης κλίμακας» βρίσκει αδιέξοδο λόγω της ασυμφωνίας μεταξύ ζήτησης και προσφερόμενων υπηρεσιών, της έλλειψης σωστής διαχείρισης και οργάνωσης του συστήματος. Στον αντίποδα, οι πλοιοκτήτες εμφανίζονται ιδιαίτερα διστακτικοί στην καινοτομία και τον εκσυγχρονισμό. Το γεγονός αυτό δεν είναι καθόλου παράλογο αν λάβει κανείς υπόψη ότι οι ναυλαγορές είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες και οι επενδύσεις υψηλού ρίσκου.

Είναι σαφές ότι η βελτίωση των θαλασσίων μεταφορών θα εξυπηρετούσε το γενικό συμφέρον, λίγες όμως προσπάθειες έχουν υλοποιηθεί προς αυτή την κατεύθυνση. Για την ανάπτυξη της ναυτιλίας ως επιχειρησιακής δραστηριότητας, απαιτείται ανασχηματισμός του υπάρχοντος δικτύου και θεώρηση, στη μελέτη και σχεδίαση, παραγόντων συνδυασμένων μεταφορών και κατανομής της ζήτησης. Κυρίως όμως, απαιτείται η ανάπτυξη μιας αποτελεσματικής και καθολικής προσέγγισης για την αξιολόγηση των επιχειρησιακών εγχειρημάτων. Ο συνδυασμός της εξέτασης και βελτιστοποίησης πλοίου και μεταφορικού συστήματος, με τον τρόπο αυτό, θα ήταν η βέλτιστη λύση για μία ανταγωνιστική "door to door" υπηρεσία.

Στον τομέα της ναυτιλίας και ενός ναυτιλιακού μεταφορικού συστήματος, υπάρχουν περισσότερα από ένα υποσυστήματα προς βελτιστοποίηση (σχεδίαση πλοίου, σχεδίαση μηχανής, logistics κλπ). Για το λόγο αυτό, ολοκληρωμένες επιστημονικές προσεγγίσεις αποδεικνύονται χρήσιμες, σε πραγματικές επιχειρησιακές έρευνες και

υπό την πίεση της αβεβαιότητας της αγοράς. Παραδόξως, η σύγχρονη προτίμηση για ταχείες παραδόσεις μπορεί να αποδειχτεί πλασματική ενώ ένα πιο αργόπλοο πλοίο, με χαμηλότερες εκπομπές αέριων ρύπων, θα μπορούσε να ικανοποιήσει τις ανάγκες της αγοράς, αν π.χ. εξαλείφονταν οι χρόνοι αναμονής. Η αβεβαιότητα επιλογής του κατάλληλου πλοίου μπορεί να αναφέρεται στην χωρητικότητά του, όταν αυτό εισάγεται χωρίς κατάλληλο σχεδιασμό σε μια αγορά όπου δεν λαμβάνεται ορθολογικά υπόψη η προσφορά και ζήτηση. Το πρόβλημα περιπλέκεται περισσότερο στην περίπτωση εξυπηρέτησης πολλαπλών αγορών ή όταν διερευνούνται διαφορετικές γραμμές για κάθε κατεύθυνση.

## 1.2 ΘΕΜΑ ΚΑΙ ΓΝΩΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

Ο στόχος της συγκεκριμένης Διατριβής με τίτλο «Βελτιστοποίηση Πλοίου στα Πλαίσια Ολοκληρωμένου Συστήματος Συνδυασμένων Μεταφορών» είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας, για τη βέλτιστη σχεδίαση πλοίων RoRo με κριτήριο την αποδοτικότητα τους όσον αφορά στις απαιτήσεις μιας συγκεκριμένης αγοράς στα πλαίσια του συστήματος συνδυασμένων μεταφορών. Πιο συγκεκριμένα, στόχος της αναπτυχθείσας μεθόδου είναι η ενσωμάτωση στοιχείων μελέτης σκοπιμότητας, καθορισμού γραμμής, διαχείρισης στόλου, σχεδίασης πλοίου, εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων και οικονομικής ανάλυσης σε μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία η οποία παράγει το σύνολο των βελτιστοποιημένων λύσεων για το ορισθέν πρόβλημα βελτιστοποίησης πολλαπλών κριτηρίων και μεταβλητών. Η μεθοδολογία υλοποιείται με την υποστήριξη ενός αυτοματοποιημένου λογισμικού εργαλείου. Η ανάλυση των στατιστικών στοιχείων της ζήτησης προκειμένου για την εκτίμηση της ροής φορτίου στο πολυτροπικό δίκτυο αποτελεί κομβικό σημείο και αντικείμενο ανεξάρτητης μελέτης. Η μεθοδολογία στοχεύει στην αποτίμηση του ρίσκου και τη μελέτη ευαισθησίας όσον αφορά στην αβεβαιότητα της ζήτησης, καθώς και στην εκτίμηση της συνάρτησης θυσίας των λύσεων για τα ορισθέντα κριτήρια με τη μεταβολή της σχετικής σημασίας τους. Το πλήθος των πλοίων, η γραμμή, το περιθώριο ζήτησης/μερίδιο αγοράς, η συχνότητα της υπηρεσίας και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλοίου είναι μερικές από τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στην προτεινόμενη μεθοδολογία. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης έχει τρία κύρια κριτήρια αξιολόγησης: το χρόνο D2D, τον απαιτούμενο ναύλο D2D (Through Freight Rate, TFR) και τις εκπομπές αέριων ρύπων D2D. Η ελαχιστοποίηση του TFR επιτυγχάνεται με τη βελτιστοποίηση του συστήματος μεταφορικό σενάριο-πλοίο. Η μέθοδος αποτελείται από πέντε κύριες ενότητες, πέραν της ανάλυσης της ζήτησης:

Σχεδίαση Μεταφορικού Συστήματος, Βασική Μελέτη Πλοίου & Βελτιστοποίηση της Σχεδίασης, Οικονομική Ανάλυση, Εκτίμηση περιβαλλοντικών Επιπτώσεων και Αξιολόγηση των λύσεων.

### 1.3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΙΑΣ

Τα στοιχεία πρωτοτυπίας της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής συνίστανται στα παρακάτω:

- Μελέτη της σχεδίασης πλοίου, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις ενός ολοκληρωμένου συστήματος συνδυασμένων μεταφορών.
- Παραμετρική βελτιστοποίηση του συστήματος «πλοίο και μεταφορικό σύστημα». Επιμέρους παραμετρική βελτιστοποίηση της σχεδίασης πλοίου με κριτήριο την αντίσταση και ευρύτερα την ισχύ πρόωσης.
- Ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας που ενσωματώνει στοιχεία μελέτης σκοπιμότητας, καθορισμού γραμμής, διαχείρισης στόλου, σχεδίασης πλοίου, εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, οικονομικής ανάλυσης, μελέτης ευαισθησίας και αποτίμησης ρίσκου.
- Ανάπτυξη Νευρωνικών Δικτύων για την αρχική εκτίμηση των βασικών παραμέτρων του πλοίου και ένταξή τους στην προμελέτη, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις που προκύπτουν από την επιχειρησιακή έρευνα.
- Ανάπτυξη ενός αυτοματοποιημένου λογισμικού εργαλείου για τον προσδιορισμό βέλτιστων πολυκριτηριακών σχεδιαστικών λύσεων πλοίων και μεταφορικών συστημάτων.

### 1.4 ΔΟΜΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή έχει την ακόλουθη δομή:

Στο πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο παρουσιάζονται η φύση και τα χαρακτηριστικά του προβλήματος και ο σκοπός της διδακτορικής έρευνας. Στη συνέχεια δίδονται τα στοιχεία πρωτοτυπίας και η προγενέστερη έρευνα κυρίως στη γνωστική περιοχή της σχεδίασης πλοίου λαμβάνοντας υπόψη την εφοδιαστική (logistics).

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η διατύπωση του προβλήματος βελτιστοποίησης και η παρουσίαση της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διατριβής με τεκμηρίωση των επιλογών ανάπτυξης και υλοποίησής της.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή της αναπτυχθείσας μεθοδολογίας σε σενάρια άμεσης σύνδεσης Κρήτης-Γερμανίας με πλοία τύπου RoRo. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου και η αξιολόγησή τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο δίδονται τα συμπεράσματα της διατριβής καθώς επίσης και σχετικές προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Τέλος παρουσιάζονται οι βιβλιογραφικές αναφορές, στις οποίες βασίστηκε η συγγραφή της διατριβής.

Στα παραρτήματα που ακολουθούν παρατίθενται λεπτομερώς στοιχεία σχετικά με τις βιβλιογραφικές αναφορές. Επιπλέον, δίδονται στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας βελτιστοποίησης, η αρχιτεκτονική των νευρωνικών δικτύων που την υποστήριξαν, καθώς και τα λεπτομερή χαρακτηριστικά των βελτιστοποιημένων σχεδιάσεων.

## 1.5 ΟΡΟΛΟΓΙΑ

### 1.5.1 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Η αποδοτικότητα ενός ολοκληρωμένου μεταφορικού συστήματος αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ανταγωνιστικότητά του. Η αύξηση των εμπορευματικών μεταφορών σε συνδυασμό με την ανισορροπία των διαφόρων μέσων μεταφοράς και της μεταφορικής υποδομής έχουν συχνά αρνητική επίπτωση από την οικονομική και περιβαλλοντική άποψη. Ενώ, η ορθολογική χρήση της χωρητικότητας του υπάρχοντος μεταφορικού συστήματος (υποδομή, μέσα, εξοπλισμός διαχείρισης) έχει εξελιχθεί σε πραγματική πρόκληση (Notteboom, 2001), η συνήθης πρακτική που απομονώνει κάθε μέσο και τις πολιτικές που αφορούν αυτό, δεν φαίνεται να καλύπτει τις ανάγκες του τομέα των μεταφορών. Έτσι λοιπόν προωθείται μία νέα ολιστική θεώρηση που αφορά ολόκληρο το μεταφορικό σύστημα και όχι μεμονωμένα τμήματα αυτού και στοχεύει στην ισορροπημένη και αποδοτική χρήση της μεταφορικής χωρητικότητας (CEMT 41, 1995).

Ειδικότερα στην ναυτιλία, το έργο της επιχειρησιακής έρευνας ανατίθεται παραδοσιακά σε διάφορους παράγοντες κανένας από τους οποίους δεν έχει εποπτεία ή καθολική γνώση και εμπειρία στην ενσωμάτωση της τεχνικής και λειτουργικής απόδοσης του πλοίου στα πλαίσια μίας ευρύτερης επιχειρησιακής ιδέας. Οι ναυτιλιακές εταιρίες προσπαθούν να γεφυρώσουν τις υπηρεσίες που παρέχονται στην εκάστοτε αγορά με τις πραγματικές της ανάγκες (Brett et al, 2006). Η πολυπλοκότητα των θαλασσίων μεταφορών καθιστά αυτόν τον στόχο ένα

πρόβλημα πολλαπλών κριτηρίων και μεταβλητών, αφού πρέπει κανείς να εξετάσει τις προσδοκίες όλων των συμμετεχόντων. Η λήψη αποφάσεων δεν είναι πάντα εύκολη, έτσι, οι θαλάσσιες μεταφορές κατά παράδοση περιορίζονται στο να μεταφέρουν τα εμπορεύματα από αποβάθρα σε αποβάθρα χωρίς να δίνουν βαρύτητα στην ύπαρξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος στο οποίο αποτελούν συνδετικό κρίκο.

### 1.5.2 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Η προώθηση των συνδυασμένων μεταφορών αποτελεί καινοτόμο πρακτική στον τομέα των μεταφορών που στηρίζει την καθολική θεώρηση του μεταφορικού συστήματος. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση οι διατροπικές μεταφορές (Intermodal Transport) αφορούν ένα μεταφορικό σύστημα το οποίο επιτρέπει τη χρήση τουλάχιστον δύο μέσων μεταφοράς με ένα ολοκληρωμένο τρόπο σε μία μεταφορική αλυσίδα από μέσο σε μέσο. Η Ευρωπαϊκή Διάσκεψη των Υπουργών Μεταφορών (ECMT) έχει δώσει μία στενότερη έννοια στις συνδυασμένες μεταφορές (Combined Transport) με τους εξής ορισμούς :

- Πολυτροπικές μεταφορές (Multimodal Transport): Μεταφορά εμπορευμάτων με τουλάχιστον δύο διαφορετικά μέσα μεταφοράς.
- Διατροπικές μεταφορές (Intermodal Transport): η μεταφορά φορτίου σε μία και μόνη μεταφορική μονάδα ή όχημα χρησιμοποιώντας σταδιακά διάφορα μέσα μεταφοράς ενώ το πραγματικό φορτίο δεν υπόκειται σε χειρισμό κατά τη διάρκεια της μεταφοράς.
- Συνδυασμένες μεταφορές (Combined Transport): είναι η διατροπική μεταφορά όπου όμως το μεγαλύτερο τμήμα του ταξιδιού γίνεται σιδηροδρομικώς ή μέσω θαλάσσιας ή ποτάμιας οδού και κάθε αρχικό ή τελικό τμήμα του που γίνεται με οδικά μέσα είναι όσο το δυνατόν μικρότερο (PE 209.174, 1994).

Ουσιαστικά οι διατροπικές μεταφορές λειτουργούν ως ποιοτικός δείκτης της ολοκλήρωσης των διαφορετικών μέσων μεταφοράς. Όσο μεγαλύτερη είναι τόσο μεγαλύτερη η ολοκλήρωση και συμπληρωματικότητα των μέσων- συμβάλλοντας στην πιο αποδοτική χρήση του μεταφορικού συστήματος (EU-F6, 2006). Η οικονομική βάση των συνδυασμένων μεταφορών έγκειται στο ότι τα μέσα μεταφοράς, καθένα από τα οποία παρουσιάζει εγγενή θετικά οικονομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά, μπορούν να ολοκληρωθούν σε μία μεταφορική αλυσίδα με στόχο τη

βελτίωση της αποδοτικότητας του μεταφορικού συστήματος. Η δε ολοκλήρωση των μέσων πρέπει να πραγματοποιηθεί σε επίπεδο υποδομής και εξοπλισμού, λειτουργιών και υπηρεσιών.

Στόχος είναι η ανάπτυξη ενός πλαισίου για την καλύτερη δυνατή ολοκλήρωση των διαφορετικών μέσων μεταφοράς έτσι ώστε να επιτραπεί η αποτελεσματική και οικονομικά αποδοτική χρήση του μεταφορικού συστήματος μέσω της προσφοράς πελατοκεντρικών υπηρεσιών D2D ενώ ταυτόχρονα θα ενισχύεται ο ανταγωνισμός μεταξύ των εμπλεκόμενων στον μεταφορικό τομέα (Hall, 2003). Η πολιτική για τις συνδυασμένες μεταφορές θα πρέπει να παρέχει ένα πλαίσιο όπου ο χρήστης των μεταφορών μπορεί να αποφασίσει για την καλύτερη χρήση των διαφόρων μέσων μεταφοράς. Η «D2D» προσέγγιση των συνδυασμένων μεταφορών θα πρέπει συνεπώς να λαμβάνει υπόψη της τις απαιτήσεις του χρήστη των μεταφορικών υπηρεσιών.

Οι συνδυασμένες μεταφορές δεν περιορίζονται σε συγκεκριμένα μέσα μεταφοράς. Αντίθετα ο σιδηρόδρομος, οι θαλάσσιες, οι οδικές μεταφορές και οι αερομεταφορές καλούνται να συνδράμουν στην ανάπτυξη ενός δικτύου, που επιτρέπει την D2D παράδοση του φορτίου. Τα βασικά πλεονεκτήματα που προκύπτουν είναι η παροχή υπηρεσιών JiT και D2D, η μείωση του κόστους και των χρόνων διαχείρισης D2D, η μεγαλύτερη ασφάλεια και αξιοπιστία (Παπαβασιλείου, 2003). Τέλος, προσφέρεται μια πιο φιλική προς το περιβάλλον πρόταση, χάρις στην καλύτερη εκμετάλλευση της χωρητικότητας του κάθε μέσου μεταφοράς και την καθολική οργάνωση του δικτύου μεταφορών.

### **1.5.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ**

Η εμφάνιση των Ε/Κ στις θαλάσσιες μεταφορές, τα οποία αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για στρατιωτικούς λόγους κατά τη διάρκεια του 2ου Π.Π, αποτέλεσαν τη βάση για την εξέλιξη του συστήματος των συνδυασμένων μεταφορών. Αναλυτικότερα, η μεγάλη ετερογένεια των μεταφερόμενων δια θαλάσσης φορτίων οδήγησε στη χρήση των Ε/Κ καθώς μειώθηκε ο χρόνος φόρτωσης και μειώθηκε και το κόστος μεταφοράς χάρις στη δυνατότητα μεταφοράς μεγάλης ποσότητας φορτίων. Η πρώτη εμπορική εφαρμογή ατσάλινων Ε/Κ στα πλαίσια του συστήματος συνδυασμένων μεταφορών (οδικό-σιδηροδρομικό-οδικό δίκτυο) εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1950. Εφευρέτης του ατσάλινου εμπορευματοκιβωτίου ήταν ο Malcom McLean (Σαμπράκος, 2005).



Πρώτα οι Η.Π.Α και αργότερα η Ευρώπη υιοθέτησαν με επιτυχία τη νέα τεχνολογία. Αναπτύχθηκαν νέες D2D υπηρεσίες και οι εταιρείες προέβησαν σε συνεργασίες με άλλα μέσα μεταφορών, όπως οι οδικές και σιδηροδρομικές. Η ανάπτυξη των θαλάσσιων containers αρχικά κατέκτησε ένα σημαντικό ποσοστό της αγοράς από τις εσωτερικές θαλάσσιες μεταφορές κυρίως των φορτίων χύδην και συμβατικών μικτών φορτίων. Γι' αυτό το λόγο, δέκα χρόνια μετά την πρώτη αποστολή Ε/Κ στην Ευρώπη κάποιες εταιρίες εσωτερικών θαλάσσιων μεταφορών προχώρησαν σε οργάνωση μεταφοράς Ε/Κ.

Στην αρχή της δεκαετίας του 1960 πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες συνεργασίες μεταξύ σιδηροδρομικών και οδικών μεταφορέων. Οι συνεργασίες αυτές ασχολήθηκαν ιδιαίτερα με τον τομέα της χερσαίας μεταφοράς. Στα τέλη της δεκαετίας του 1960, τα containers εισήχθησαν στον Ευρωπαϊκό σιδηρόδρομο και έτσι ιδρύθηκαν οι πρώτοι τερματικοί σταθμοί και πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες συνεργασίες μεταξύ εταιριών container και κρατικών σιδηροδρόμων. Το 1966, η Sea Land ίδρυσε την πρώτη εταιρεία παροχής τακτικών θαλάσσιων υπηρεσιών container. Το 1968, Ευρωπαϊκές σιδηροδρομικές εταιρίες δημιούργησαν την Intercontainer (σήμερα γνωστή ως Intercontainer - Interfrigo, ICF), με στόχο τη βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών. Το 1970, τα μέλη των διαφόρων συνεργασιών ίδρυσαν την UIRR (Union Internationale des societes de transport combine Rail - Route), η οποία μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990 ασχολείτο αποκλειστικά με τις χερσαίες διατροφικές μεταφορές. Αρμόδια για την οργάνωση της αλυσίδας του θαλασσιού - σιδηροδρομικού - οδικού δικτύου μέχρι το 1990 ήταν αποκλειστικά η ICF. Ενώ, μετά την Ενοποίηση της Ευρωπαϊκής Αγοράς εισήλθαν νέες εταιρίες στη συγκεκριμένη αγορά.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1980 και 1990 η συμμετοχή των θαλασσιών μεταφορών στις διατροφικές μεταφορές αυξήθηκε σταθερά. Ο Ρήνος κατέχει πρωτεύουσα θέση όσον αφορά στα ποτάμια με τη μεγαλύτερη κίνηση ενώ σημαντική θέση αναμένεται να αποκτήσει και ο Δούναβης. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η μεταφορά εμπορευμάτων στην Ευρώπη παρουσίασε αύξηση της τάξης του 3% ετησίως. Το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης αυτής απορροφήθηκε από το οδικό δίκτυο ενώ την ίδια στιγμή το σιδηροδρομικό δίκτυο και η εσωτερική ναυσιπλοΐα παρουσίασαν παρακμή. Παρόλο που οι διατροφικές μεταφορές στην Ευρώπη -σε απόλυτους αριθμούς- αυξήθηκαν, το μερίδιο που κατέχουν στο σύνολο της αγοράς παραμένει περιορισμένο. Είναι κατανοητό ότι, αν οι ρυθμοί αύξησης των

μεταφερόμενων εμπορευμάτων συνεχιστούν, τότε θα δημιουργηθούν περαιτέρω προβλήματα στο υπάρχον μεταφορικό σύστημα.

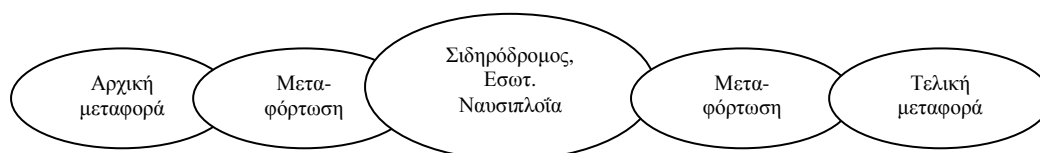
#### 1.5.4 ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ-LOGISTICS

Η απαίτηση για παραδόσεις «JiT» και «D2D» έχει οδηγήσει στην στενή διασύνδεση των διαδικασιών παραγωγής, διανομής και μεταφοράς. Αποτέλεσμα των νέων αυτών τάσεων στην αγορά είναι η εξέλιξη της εφοδιαστικής αλυσίδας σε κρίσιμο παράγοντα ανταγωνιστικότητας. Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι το σύστημα των οργανώσεων και ανθρώπων, της τεχνολογίας, των δραστηριοτήτων, των πληροφοριών και των πόρων που εμπλέκονται στην μετακίνηση ενός προϊόντος ή μίας υπηρεσίας από τον προμηθευτή στον πελάτη. Η δε δράση συνίσταται στο μετασχηματισμό των φυσικών πόρων και των πρώτων υλών σε ένα επεξεργασμένο προϊόν που παραδίδεται στον πελάτη. Σε μία ευρύτερη έννοια επίσης περιλαμβάνει την ανάκτηση και διάθεση των απορριμμάτων (reverse logistics) (Παπαδημητρίου, 2004).

Εφοδιαστική (logistics) είναι η διαχείριση της ροής των αγαθών, πληροφοριών και άλλων πόρων συμπεριλαμβανομένων της ενέργειας και των ανθρώπων, μεταξύ του σημείου προέλευσης και του σημείου κατανάλωσης, προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις των καταναλωτών. Τα Logistics περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση της πληροφορίας, της μεταφοράς, την απογραφή, την αποθήκευση, τη συσκευασία και διαχείριση φορτίου και κατά περίπτωση την ασφάλεια του φορτίου. Εν κατακλείδι, προσδίδει την αξία του χρόνου και του τόπου στην εφοδιαστική αλυσίδα (Γιωγγαράς, 2008).

Μία τυπική εφοδιαστική αλυσίδα αρχίζει με την εξόρυξη των φυσικών πόρων που διέπεται από οικολογικούς και βιολογικούς κανονισμούς και περιλαμβάνει ξεχωριστούς ενδιάμεσους συνδέσμους παραγωγής προτού κινηθεί προς τα διάφορα στρώματα εγκαταστάσεων αποθήκευσης -των όλο και μεγαλύτερου μεγέθους και όλο και πιο απομακρυσμένων- για να φτάσει τελικά στον πελάτη (Βιδάλης, 2009). Επομένως πολλές από τις συναλλαγές που συναντά κανείς σε μία εφοδιαστική αλυσίδα είναι μεταξύ διαφορετικών επιχειρήσεων που η κάθε μία επιδιώκει να μεγιστοποιήσει το κέρδος της, αλλά μπορεί να έχει ελάχιστη ή και καμία γνώση ή ενδιαφέρον για τους υπόλοιπους κρίκους της αλυσίδας.

Η αλυσίδα των συνδυασμένων μεταφορών αποτελείται από πέντε βασικούς κρίκους. Στον πρώτο κρίκο έχουμε τη μεταφορά των φορτίων από τον μεταφορέα στον τερματικό σταθμό. Στον τερματικό σταθμό οι μονάδες φορτίου ετοιμάζονται για μεταφορά μέσω σιδηροδρόμου ή εσωτερικής ναυσιπλοΐας ή θαλάσσιας μεταφοράς προς τον τελικό τερματικό σταθμό. Στον τερματικό αυτό σταθμό οι μονάδες φορτίου φορτώνονται σε φορητά και μεταφέρονται στον τελικό προορισμό τους (τον παραλήπτη) (Christopher, 2007). Η οργάνωση της συγκεκριμένης αλυσίδας οργανώνεται από τους λεγόμενους Intermodal Operators (Al-Muhaisen, 2005). Για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα οι operators λειτουργούσαν σαν μονοπώλια, χωρίς να εισέρχεται ο ένας στο χώρο του άλλου. Μετά την απελευθέρωση των μεταφορών στην Ευρώπη αυτό άλλαξε. Κύριος στόχος τους είναι η εξασφάλιση χαμηλού κόστους και υψηλής ποιότητας υπηρεσιών, ικανών να ανταγωνιστούν με επιτυχία τους τρίτους, ανεξάρτητους μεταφορείς.



Σχήμα 1.1 Οργάνωση της αλυσίδας των συνδυασμένων μεταφορών

Υπάρχουν ποικίλα πρότυπα εφοδιαστικών αλυσίδων που ξετάζουν και τις δύο πλευρές της ροής. Το μοντέλο Supply Chain Operations Reference (SCOR), το οποίο αναπτύχθηκε από το συμβούλιο εφοδιαστικής αλυσίδας, μετρά την συνολική απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Poluha, 2007). Είναι ένα πρότυπο αναφοράς διαδικασίας για τη διαχείριση της αλυσίδας, που εκτείνεται από τον προμηθευτή του προμηθευτή στον πελάτη του πελάτη. Το πρότυπο αυτό περιλαμβάνει πολλούς παράγοντες για την αξιολόγηση της συνολικής απόδοσης της εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως εκτέλεση παραγγελίας και παράδοσης, ευελιξία παραγωγής, εγγύηση, κόστος επιστροφής, μεταβολή καταλόγου απογραφής και πόρων. Το Παγκόσμιο Φόρουμ Εφοδιαστικής Αλυσίδας εισήγαγε ένα άλλο πρότυπο, το οποίο στηρίζεται σε οκτώ βασικές επιχειρησιακές διαδικασίες που είναι στη φύση τους διαλειτουργικές (Σαμπράκος, 2005). Κάθε διαδικασία διαχειρίζεται από μία διαλειτουργική ομάδα που περιλαμβάνει αντιπροσώπους από των τομέα logistics, χρηματοδότησης, μαρκετινγκ, παραγωγής και αγοράς. Ενώ κάθε διαδικασία διασυνδέεται με τους βασικούς πελάτες και προμηθευτές, οι διαδικασίες διαχείρισης σχέσης πελατών και προμηθευτών διαμορφώνουν τους κρίσιμους συνδέσμους στην εφοδιαστική αλυσίδα.

### 1.5.5 Η ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΑ ΩΣ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

Η συνδυασμένη μεταφορά μέσω της εσωτερικής ναυσιπλοΐας συνήθως παρουσιάζεται με τη μορφή θαλάσσιας μεταφοράς – εσωτερικής ναυσιπλοΐας – οδικής μεταφοράς (Σαμπράκος, 2005). Η διοίκηση της θαλάσσιας μεταφοράς συμπεριλαμβανομένης και της μεταφόρτωσης ανήκει στις ναυτιλιακές επιχειρήσεις (μεταφορείς), όπως συμβαίνει και στην αλυσίδα θαλάσσιας - σιδηροδρομικής- οδικής μεταφοράς. Πριν και μετά την μεταφορά μέσω των δικτύων της εσωτερικής ναυσιπλοΐας, γίνεται η μεταφόρτωση του φορτίου στους τερματικούς σταθμούς. Η λειτουργία των τελευταίων ανήκει συνήθως σε ιδιωτικές επιχειρήσεις, στις οποίες οι ναυτιλιακές επιχειρήσεις πληρώνουν αντίστοιχο τέλος. Το τελικό κομμάτι της οδικής μεταφοράς οργανώνεται από οδικούς μεταφορείς και τα αγαθά μεταφέρονται στις εγκαταστάσεις του παραλήπτη.

Η διαχείριση των τερματικών σταθμών ανήκει κατά κανόνα σε ιδιωτικές επιχειρήσεις. Οι μεταφορείς πληρώνουν τέλη στους διαχειριστές των τερματικών για την μεταφόρτωση των εμπορευμάτων. Τα τέλη ορίζονται από τις αρμόδιες αρχές ή από τις κυβερνήσεις, καθώς τόσο η γη όσο και η υποδομή των τερματικών ανήκει στις λιμενικές αρχές. Επίσης, πολλές φορές οι τερματικοί σταθμοί διαχειρίζονται από τους ίδιους τους χρήστες τους, δηλ. τις ναυτιλιακές επιχειρήσεις. Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή που ο χρήστης είναι και διαχειριστής υπάρχει η πιθανότητα διάκρισης κατά την καταβολή των τελών.

### 1.5.6 ΜΟΝΑΔΕΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

Η μεταφορά εμπορευμάτων μέσω του συστήματος των συνδυασμένων μεταφορών πραγματοποιείται με τις λεγόμενες μονάδες φόρτωσης (transport units), οι κυριότερες από τις οποίες είναι (Σαμπράκος, 2005; Reese, 2000):

- **Τα Ε/Κ (containers).** Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ανάπτυξη των συνδυασμένων μεταφορών είναι αποτέλεσμα της χρήσης των εμπορευματοκιβωτίων και τα πλεονεκτήματα που προέκυψαν αποτέλεσαν τη βάση της εμπορικής επιτυχίας τους.
- **Τα κινητά αμαξώματα (Swap bodies).** Το Κινητό αμαξώμα χρησιμοποιεί το κομμάτι εκείνο του φορτηγού που χρησιμοποιεί και το Ε/Κ. Για τη μεταφόρτωση του υπάρχουν ειδικά στηρίγματα, τα οποία επιτρέπουν τη

φορτοεκφόρτωση της μονάδας χωρίς την απαίτηση πρόσθετου εξοπλισμού. Αρχικά η μονάδα απομακρύνεται από τον σκελετό του οχήματος και ανυψώνεται με τη βοήθεια ανυψωτικού μηχανισμού που βρίσκεται στο όχημα. Τα στηρίγματα εκτείνονται ώστε η μονάδα να μπορεί να σταθεί στο δρόμο και το όχημα να απομακρυνθεί. Στη συνέχεια γίνεται οριζόντια μεταφορά της μονάδας η οποία φορτώνεται στο σιδηροδρομικό βαγόνι. Τα μεγέθη των κινητών αμαξωμάτων δεν είναι σταθερά. Συγκρίνοντας τα με τα Ε/Κ μειονεκτούν, διότι δεν μπορούν να στοιβαχτούν και εύκολα καταστρέφονται, αντίθετα όμως πλεονεκτούν από άποψη κόστους.

- **Οι κυλιόμενοι αυτοκινητόδρομοι (Rolling Road).** Σ' αυτή τη περίπτωση, βαγόνια-πλατφόρμες μεταφέρουν έμφορτα φορτηγά στον προορισμό τους. Πρόκειται για τον απλούστερο τρόπο εκτέλεσης των συνδυασμένων μεταφορών. Βασικό πλεονέκτημα του συστήματος είναι ότι δεν απαιτεί την επένδυση σε πρόσθετο εξοπλισμό από την πλευρά του οδικού μεταφορέα. Επίσης, δεν απαιτεί ειδικές τεχνικές μεταφόρτωσης και έτσι χρειάζονται απλοί τερματικοί σταθμοί χωρίς πρόσθετες εγκαταστάσεις ή εξοπλισμό. Ωστόσο, πρόκειται για ένα ακριβό μεταφορικό σύστημα, γεγονός που οφείλεται στο γεγονός ότι το όχημα κατά τη διάρκεια του ταξιδιού είναι ανενεργό. Επίσης, υψηλά είναι και τα κόστη προσωπικού εξαιτίας της συνοδείας του οδηγού. Εξαιτίας του υψηλού κόστους η μεταφορική αυτή μονάδα δεν διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις συνδυασμένες μεταφορές.
- **Τα ρυμουλκούμενα οχήματα (trailers).** Αναλύονται παρακάτω (Friis, 2002).

### 1.5.7 ΠΛΟΙΑ RORO-CARGO

Τα πλοία RoRo είναι σημαντικό συνδετικό στοιχείο των διατροπικών μεταφορών, αφού δέχονται σχεδόν όλους τους τύπους διατροπικών φορτίων. Τα πλοία RoRo αναφέρονται κυρίως σε ναυτιλία γραμμής που αφορά σε τοπικές αγορές (υπηρεσίες ακτοπλοΐας), περιφερειακές (Μεσόγειος, Σκανδιναβία) καθώς και σε διηπειρωτικές αγορές. Στόχος των RoRo είναι να μεταφέρουν φορτίο που δύναται να κυλίσει από και προς το πλοίο. Για το σκοπό αυτό είναι κατάλληλα εξοπλισμένα με ειδικές ράμπες (πρυμναίες, πρωραίες, πλάγιες, εσωτερικές) και ανελκυστήρες που διευκολύνουν τόσο την φορτοεκφόρτωση όσο και την κατανομή του φορτίου εντός του πλοίου.

Το φορτίο RoRo διαχωρίζεται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει κάθε τροχοφόρο φορτίο, όπως ρυμουλκούμενα οχήματα και αυτοκίνητα που παραμένει σε τροχούς εντός πλοίου και ως εκ τούτου απαιτεί καλό σύστημα πρόσδεσης. Η δεύτερη κατηγορία αναφέρεται σε μη τροχοφόρα φορτία όπως Ε/Κ, προϊόντα χαρτιού, κάθε φορτίο σε πακέτο καθώς και μεγαλύτερα απακετάριστα μηχανήματα, τα οποία φορτοεκφορτώνονται με περονοφόρα ή παρόμοια τροχοφόρα οχήματα.

Τα φορτηγά πλοία RoRo σύμφωνα με τη SOLAS μπορούν να μεταφέρουν ως 12 επιβάτες. Τη δεκαετία 1990, παρ' όλα αυτά, γεννήθηκε η ανάγκη για μεταφορά περισσότερων οδηγών (50-100) ενώ σε γραμμές ακτοπλοΐας η ανάγκη αυτή επεκτείνεται σε ιδιωτικά αυτοκίνητα και τους επιβάτες τους. Έτσι, στα τέλη της ίδιας δεκαετίας ένας μεγάλος αριθμός πλοίων σχεδιάστηκαν με χωρητικότητα μέχρι 600 επιβάτες με ή χωρίς καμπίνα και διαχωρίζονται με την ονομασία RoPax.

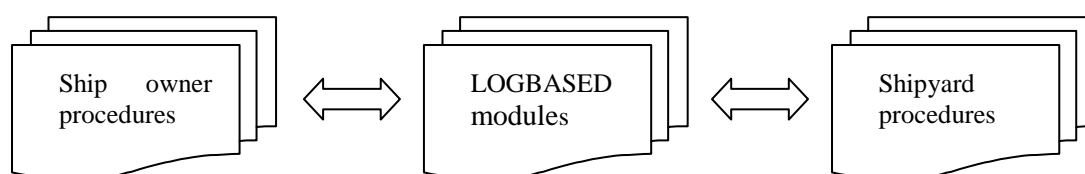
Ο μεγαλύτερος αριθμός πλοίων RoRo μεταφέρει ρυμουλκούμενα οχήματα και εξυπηρετεί τοπικές και περιφερειακές γραμμές. Υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν μεταφέρουν κανένα μη τροχοφόρο φορτίο το οποίο θα παρεμπόδιζε το πρόγραμμα φορτοεκφόρτωσης. Ο τράκτορας αφήνει το ρυμουλκούμενο όχημα στην περιοχή φόρτωσης, όπου μπορεί να παραληφθεί κάποιο άλλο.

Το πλάτος των λωρίδων για τροχοφόρα (Lane Meters) και η απόσταση μεταξύ τους διαφέρει από πλοίο σε πλοίο. Το πλάτος ενός τυπικού container είναι 2.438m, το πλάτος ενός eurotrailer είναι 2.5m ενώ ενός lorry 2.6m και εφόσον ένα φορτηγό RoRo δύναται να μεταφέρει συνδυασμό των παραπάνω φορτίων, η επιλογή ενός πλάτους 2.55m θεωρείται καλός συμβιβασμός. Η απόσταση ανάμεσα σε δύο μονάδες φόρτωσης και ανάμεσα σε κάποια μονάδα και την πλευρά του πλοίου πρέπει να είναι κατά προτίμηση 0.35m ώστε να επιτρέπεται σωστή πρόσδεση. Επομένως, το καθαρό πλάτος ενός καταστρώματος RoRo δίνεται από τον τύπο  $(2.55+0.35) n+0.35$  (m), όπου n ο αριθμός των λωρίδων ενώ πολλοί απλά υποθέτουν ένα πλάτος της τάξεως των  $2.9 n$  (m). Ομοίως, για το ύψος των καταστρωμάτων το οποίο ποικίλει συνήθως από κατάστρωμα σε κατάστρωμα και είναι ανάλογο με το είδος του φορτίου, λαμβάνεται ενδεικτικά η τιμή 4.5-4.7 m για ρυμουλκούμενα οχήματα και λεωφορεία.

## 1.6 ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρακολουθεί το φαινόμενο της ευρείας κυκλοφοριακής συμφόρησης στη ξηρά και τον επερχόμενο περιβαλλοντικό συναγερμό και προωθεί μέτρα πρόληψης, όπως η προώθηση των “Διαδρόμων της Θάλασσας”. Το 6ο πρόγραμμα πλαίσιο της ΕΕ χρηματοδότησε το ερευνητικό πρόγραμμα LOGBASED<sup>1</sup> (Brett et al, 2006; Boulougouris et al, 2007; Gkohari et al, 2008), το οποίο είχε ως στόχο να δημιουργήσει νέες τεχνικές λύσεις που θα επιτρέψουν στην Ευρωπαϊκή ακτοπλοΐα και τους “Αυτοκινητόδρομους της Θάλασσας” να γίνουν πιο ανταγωνιστικοί σε σχέση με τις χερσαίες και σιδηροδρομικές μεταφορές, στα πλαίσια των συνδυασμένων μεταφορών.

Το LOGBASED είχε ως στόχο να παρέχει καλύτερη καθοδήγηση για τη σχεδίαση πλοίου στα πλαίσια της επιχειρησιακής έρευνας. Αυτή ξεκινάει από το σημείο όπου γεννιέται η επιχειρησιακή ευκαιρία ή/και οι καινοτόμες ιδέες. Εστιάζει στον προσδιορισμό των προβλημάτων logistics και σχεδίασης καθώς και στη διαχείριση της συναφούς αβεβαιότητας. Οι επιχειρησιακές έννοιες ενός συστήματος μεταφορών (διαχείριση φορτίου, τερματικός σταθμός, πλοίο, κατανομή φορτίου, κλπ.) είναι συχνά αρκετά περίπλοκες με αποτέλεσμα οι διαδικασίες λήψης απόφασης να εμπεριέχουν υψηλό βαθμό αβεβαιότητας σε επίπεδο που μπορεί εύκολα να καταστρέψουν μια επιχείρηση εάν κάτι πάει στραβά. Ο στόχος επομένως, της προσέγγισης LOGBASED είναι να υποβοηθήσει τέτοιες διαδικασίες λήψης αποφάσεων διαχειρίζοντας την αβεβαιότητα ρητά και να εξασφαλίσει την ενσωμάτωσή της στη σχεδίαση. Η δε διερεύνηση των λύσεων κατευθύνεται με βάση την συλλογική κρίση και εμπειρία των εμπλεκομένων. Το σχήμα 1.2 επεξηγεί πώς η μέθοδος LOGBASED προσπαθεί να γεφυρώσει τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη με το έργο του ναυπηγείου.



Σχήμα 1.2. Σύνδεση πλοιοκτητών και ναυπηγείων

<sup>1</sup> Logistics Based Design Procedure (LOGBASED), Coordinators: LMG Marin, DNV, DFDS, FSG, Foreship, Fresti, Fordesi, Navantia, SSRC, Wilson, Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου (ΕΜΠ), NECL, WEC, Grieg Logistics et al.

Η προσέγγιση που υιοθετείται στο LOGBASED είναι βασισμένη στη θεωρία συστημάτων, την κριτική σκέψη και τις αρχές εφαρμοσμένης μηχανικής συστημάτων. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιείται ως μέσο για να διευκολυνθεί το ταίριασμα των απαιτήσεων logistics και των χαρακτηριστικών του πλοίου και η μεθοδολογία παρέχει στους χρήστες της μια κοινή πλατφόρμα, υπό μορφή συστήματος υποστήριξης λήψης αποφάσεων, για να αναπτύξουν δυναμικές λύσεις συνδυασμένων μεταφορών και τα αντίστοιχα σχέδια πλοίων. Η μέθοδος λειτουργεί ως βασικό μέσο διακίνησης πληροφοριών δια μέσου ενός εύχρηστου και έτοιμου προτύπου για τους τελικούς χρήστες, όπως είναι οι πλοιοκτήτες και οι σχεδιαστές. Το LOGBASED στρέφεται προς την ανάπτυξη αποδοτικότερων πλοίων RoRo ως αναπόσπαστο τμήμα της αλυσίδας συνδυασμένων μεταφορών. Εντούτοις, η προσέγγιση είναι εκ φύσεως γενικής χρήσεως και μπορεί να εφαρμοστεί στους περισσότερους τύπους πλοίων και φορτίου. Στόχος είναι τα προκύπτοντα σχέδια να επιτύχουν βελτιώσεις έως και 30% για τις διάφορες παραμέτρους. Η ίδια η μέθοδος προσδιορίζει τις παραμέτρους αυτές ως απαιτήσεις/προσδοκίες και εστιάζει στην ανάπτυξη μιας σχεδίασης που ικανοποιεί αυτές τις απαιτήσεις. Τέτοιες απαιτήσεις μπορεί να αφορούν σε θέματα τεχνικά, εμπορικά, στρατηγικά ή/και σχετικά με την υγεία, την ασφάλεια και περιβαλλοντικά ζητήματα.

Αναλυτικότερα, η μεθοδολογία LOGBASED είναι δομημένη σε 9 ενότητες (σχήμα 1.3). Οι 4 πρώτες ενότητες αποσκοπούν ουσιαστικά στη συλλογή πληροφοριών σχετικά με την επιχειρησιακή έρευνα. Το πρώτο βήμα στην εφαρμογή της μεθόδου είναι η διακίνηση των κρίσιμων στοιχείων της επιχειρηματικής ιδέας στους εταίρους και τους ιθύνοντες μέσω άμεσων συνεδριάσεων και διασκέψεων, που θα τους οδηγήσουν στη λήψη αποφάσεων. Η διακίνηση των στοιχείων αρχίζει στα πλαίσια του χρόνου πραγμάτωσης της επιχειρηματικής ιδέας και της αναμενόμενης διάρκειας ζωής. Το φορτίο που πρόκειται να μεταφέρεται σε ένα σύστημα μεταφορών έχει μεγάλη επίδραση στην επιλογή του τρόπου μεταφοράς και επίσης στη χωρητικότητα του πλοίου. Επομένως, η κρίσιμότερη παράμετρος που πρέπει να εκτιμηθεί είναι η ζήτηση, δεδομένης της γραμμής. Τα στοιχεία για τους όγκους φορτίου συλλέγονται από τον πλοιοκτήτη, τους πελάτες ή/και την εταιρία logistics. Προσοχή πρέπει να δοθεί εν τούτοις για να εξασφαλιστεί ορισμένη προσαρμοστικότητα στις διακυμάνσεις της ζήτησης. Αφ' ετέρου, πρέπει να ληφθεί υπόψη η συμπεριφορά των ιδιοκτητών φορτίου, δεδομένης της ανταγωνιστικότητας της προτεινόμενης λύσης. Ένα σημαντικό σημείο της διαδικασίας είναι ο προσδιορισμός υπαρχόντων ανταγωνιστών και η πιθανότητα νεοεισερχόμενων εταιριών που πιθανώς να προσφέρουν



υποκατάστατες υπηρεσίες. Ο ιθύνων πρέπει να λάβει υπόψη την ευελιξία των ανταγωνιστών και να αποδώσει σχετική ευελιξία στην προτεινόμενη λύση.

Έπειτα οι προσδοκίες του πλοιοκτήτη πρέπει να αναλυθούν λεπτομερώς, προκειμένου να προσδιοριστεί πώς αυτές οι προσδοκίες επηρεάζουν την ανάπτυξη του μεταφορικού συστήματος και τη σχεδίαση του πλοίου. Εξετάζονται προσδοκίες σχετικές με πολιτικές, κοινωνικές, νομικές, στρατηγικές, οικονομικές, οργανωτικές και λειτουργικές πτυχές καθώς και σχετικές με την αγορά και την υποδομή. Προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι το μεταφορικό σύστημα θα είναι αποδοτικό, είναι σημαντικό να προσδιοριστούν αυτές οι ιδιότητες και απαιτήσεις που προκύπτουν από τους διάφορους τύπους φορτίου. Οι τύποι φορτίου καθορίζουν τον τύπο του πλοίου. Επιπλέον, είναι σημαντικό να εξεταστεί πώς οι συγκεκριμένες σχεδιάσεις θα λειτουργήσουν κάτω από τα συστήματα διαχείρισης φορτίου (Katuhara, 2004; Sjøbris, 1994; Wijnolst, 1992). Αυτό αφορά κυρίως σε πλοία που φέρουν διαφορετικούς τύπους φορτίων με διαφορετικούς τύπους εξοπλισμών διαχείρισης φορτίου (βλ Materiel Handling Systems). Με αυτή την έννοια, απαιτείται λεπτομερής έρευνα των γεωγραφικών, φυσικών, περιορισμών λιμένων, χρόνων, εξοπλισμών και δαπανών λιμένων. Κατά συνέπεια, καθορίζεται η υποδομή του μεταφορικού συστήματος και αναπτύσσεται ένα πρόχειρο σχέδιο γενικής διάταξης.

Αυτή η πληροφορία τροφοδοτείται έπειτα στην ενότητα 5, όπου γίνεται η ανάλυση και αξιολόγηση των σεναρίων σύμφωνα με τις απαιτήσεις που προκύπτουν από την επιχειρησιακή πρόταση. Χρησιμοποιώντας τα συλλεχθέντα στοιχεία, αναπτύσσεται το χρονοδιάγραμμα της D2D υπηρεσίας για κάθε ένα από τα σενάρια, με ρεαλιστικές απαιτήσεις ταχύτητας. Η ταχύτητα μεταβάλλεται προκειμένου να είναι δυνατός ο μετ' επιστροφής πλους μέσα σε 1 ημέρα, 1 εβδομάδα, κ.λπ. ενώ προστίθεται χρόνος αναμονής, εάν οι λιμένες είναι κλειστοί π.χ κατά τη διάρκεια της νύχτας. Υπάρχουν δύο σύνολα μεταβλητών σχεδίασης: Η πρώτη χρησιμοποιείται για το σχέδιο μεμονωμένου πλοίου, ενώ το δεύτερο αφορά το στόλο. Οι μεταβλητές σχεδίασης αποτελούνται από τον τύπο πλοίου, την ταχύτητα  $V_s$ , το βύθισμα  $T$  και το φορτίο για κάθε σημείο προορισμού, που καθορίζει την μεταφορική ικανότητα του πλοίου. Οι μεταβλητές σχεδίασης για τον στόλο είναι ο αριθμός των πλοίων και ο αριθμός των υπηρεσιών. Οι μεταβλητές σχεδίασης, χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη σχεδιάσεων πλοίου με την υποστήριξη του Parametric Design Tool (PDT), το οποίο έχει αναπτυχθεί από το Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου στα πλαίσια του LOGBASED. Ένα εργαλείο για τη σχεδίαση και την ανάλυση γύρω από ένα σημείο σχεδίασης (Design Point). Πρόκειται για ένα εργαλείο υποστήριξης της προμελέτης, το οποίο

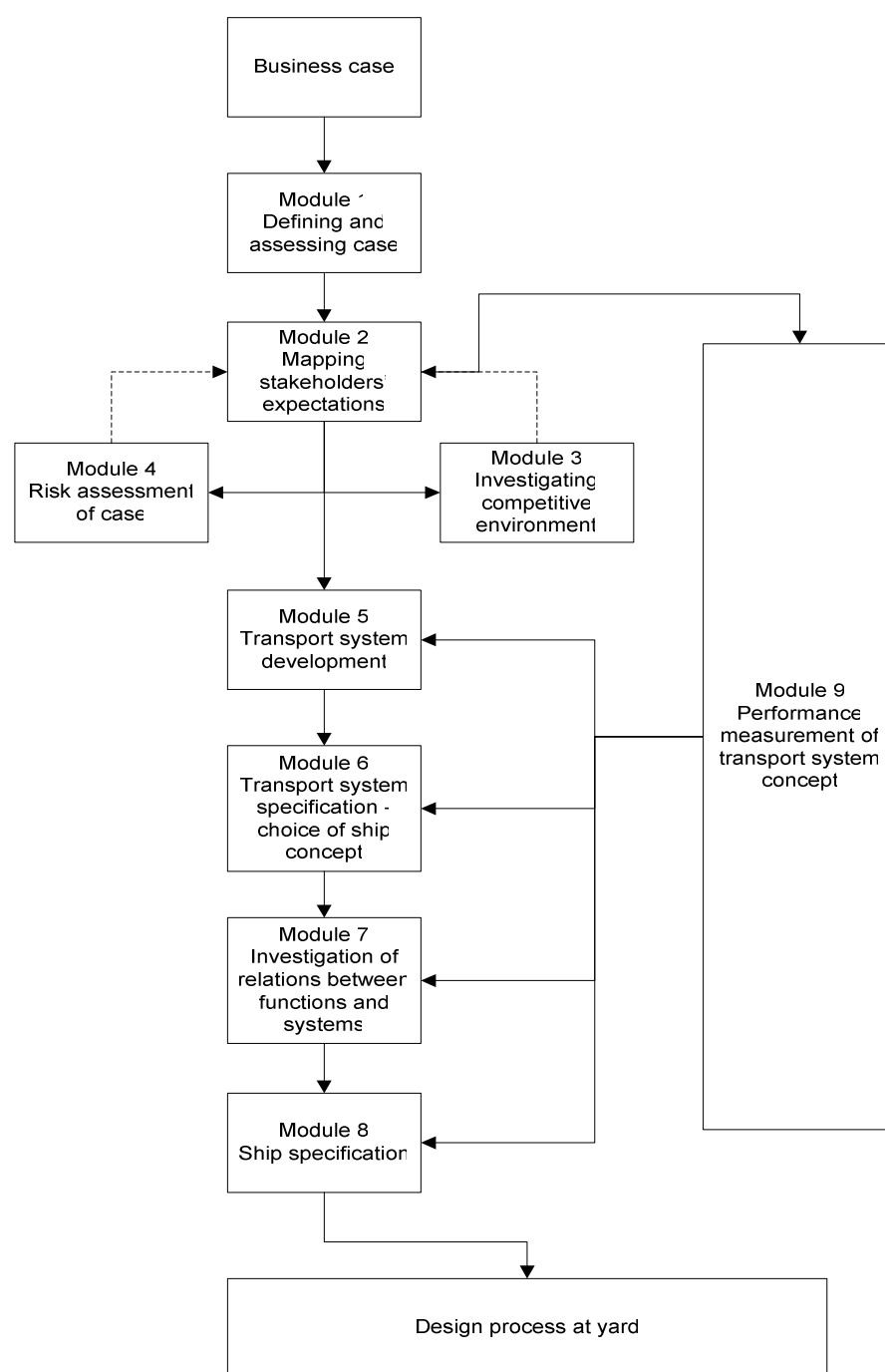
ξεκινά από την αρχική εκτίμηση των νευρωνικών δικτύων για τις βασικές παραμέτρους του πλοίου. Η επίτευξη έγκυρων σχεδιάσεων επιτυγχάνεται διαδραστικά ενώ απαιτείται εποπτεία του σχεδιαστή και εισαγωγή πληροφοριών για την ολοκλήρωση της διαδικασίας της προκαταρκτικής μελέτης (έλικα, μηχανή κλπ). Το PDT περιγράφεται αναλυτικά στο Παράρτημα Α.

Τα στοιχεία από τις σχεδιάσεις συγκεντρώνονται στην ενότητα 6, το οποίο είναι ένα είδος περίληψης των πρώτων 5 ενότητων και έχει ως στόχο να υποβοηθήσει την εύρεση της πιο ελκυστικής λύσης. Η ενότητα 6 αποτελεί αφετηρία για μια πιο λεπτομερή διαδικασία σχεδίασης. Κατ' αυτό τον τρόπο, σηματοδοτεί τη μετάβαση από το εμπορικό μέρος της διαδικασίας στο πιο τεχνικό. Δεδομένου ότι, περισσότερα του ενός σχέδια μπορούν να προκύψουν, εκπληρώνοντας τις απαιτήσεις μεταφορικής ικανότητας και ταχύτητας, ο σχεδιαστής καλείται να κρίνει την τεχνική απόδοση των διαφορετικών εναλλακτικών για κάθε σενάριο. Η λεπτομερής μελέτη του εκάστοτε σχεδίου γίνεται ερευνώντας τη σχέση μεταξύ της δυναμικής του και των υποσυστημάτων του στην ενότητα 7. Ο κύριος στόχος είναι εδώ να προσδιοριστούν τα κρίσιμα συστήματα του πλοίου διερευνώντας τις σχέσεις μεταξύ των λειτουργικών απαιτήσεων και των συστημάτων του.

Σαν παράλληλη διαδικασία στην ανάπτυξη των λύσεων-μεταφορικών συστημάτων στην ενότητα 5, πρέπει να αξιολογηθεί η απόδοσή τους (ενότητα 9). Η «συνδυασμένη» λύση είναι ευμετάβλητη και δεν μπορεί να αξιολογηθεί μονόπλευρα, επομένως αξιολογείται μέσω των παραγόντων εκείνων που αντιπροσωπεύουν τις κρίσιμότερες προσδοκίες (συχνότητα, κόστος, κέρδος, χρόνος κλπ) που τίθενται από την επιχειρησιακή πρόταση και γίνεται μεταφράζοντάς τις σε μετρήσιμες παραμέτρους απόδοσης. Η αξιολόγηση της επίδοσης των λύσεων στην ενότητα 9 χρησιμοποιείται σε όλη τη διαδικασία, από την ενότητα 5, ως εργαλείο μέτρησης προκειμένου να συγκριθούν οι διάφορες λύσεις και να κατευθυνθεί η έρευνα στις ενότητες 5-8. Κάθε πρωτότυπη λύση που ικανοποιεί τις καθορισμένες απαιτήσεις των εταίρων αποτελεί αποδεκτή λύση, η δε επιλογή της τελικής λύσης έγγυται στην κρίση του ιθύνοντα σε σχέση με την μελλοντική ζήτηση και τον προσφερόμενο ναύλο (Harker P, 1988).

Το σχήμα 1.4 παρέχει μια απεικόνιση της ροής της πληροφορίας στη διαδικασία LOGBASED. Πέραν της κύριας ροής της πληροφορίας υπάρχουν διάφοροι βρόχοι εντός αλλά και ανάμεσα στις ενότητες. Γενικά, πρόκειται για μία επαναληπτική

διαδικασία όπου αποκαλύπτονται νέες πληροφορίες, ελέγχονται οι υποθέσεις που έχουν γίνει και εξετάζεται η εφικτότητα των λύσεων.



Σχήμα 1.4. Ροή της πληροφορίας με βάση τη μεθοδολογία του LOGBASED

Η σχεδίαση πλοίου βάσει Logistics είναι καινοτόμος και επομένως δεν υπάρχει εκτενής βιβλιογραφική αναφορά. Εντούτοις, προγενέστερα του προγράμματος Logbased δημοσιεύτηκαν κάποιες πολύ σημαντικές εργασίες στην ίδια γνωστική περιοχή και αναφέρονται παρακάτω.

Οι M. Katuhara, N. Kubo, H. Yamato, M. Kajiuira και R. Michida (2004), ανέπτυξαν μία μεθοδολογία για τη σχεδίαση RoPax και πλοίων RoRo εστιάζοντας στην εσωτερική ναυσιπλοΐα της Ιαπωνίας. Το πρώτο βήμα στην εφαρμογή της μεθόδου αφορά στην ανάλυση και εκτίμηση της ζήτησης. Για το σκοπό αυτό αναπτύσσεται μία προσομοίωση του κύριου δικτύου θαλάσσιων και χερσαίων οδών και της ποσότητας του φορτίου που μεταφέρεται σε κάθε γραμμή. Στην προσέγγισή αυτή, το συνολικό κόστος και ο χρόνος που απαιτούνται για να κινηθεί το φορτίο κατά μήκος κάθε γραμμής καθώς και άλλοι παράγοντες που αφορούν στη ροή φορτίου, καθορίζονται ως «βάρη». Η δε αξία του χρόνου για το φορτίο πολλαπλασιάζεται με το χρόνο που απαιτείται για να μεταφερθεί το φορτίο και τελικά επιλέγεται η διαδρομή με το μικρότερο «βάρος», με τη χρήση συνάρτησης θυσίας. Έτσι, τίθενται διαφορετικές περιπτώσεις απαιτούμενου χρόνου και φορτίου για κάθε υπό εξέταση γραμμή και υπολογίζεται η ζήτηση για κάθε σετ υποθέσεων.

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία αυτή (Katuhara, 2004), οι μεταβλητές σχεδίασης αποτελούνται από τον αριθμό των υπηρεσιών  $N_s$ , τον αριθμό των πλοίων  $N_n$  καθώς και τη μεταφορική ικανότητα του πλοίου, ενώ οι περιορισμοί για τη σχεδίαση πλοίου είναι η ύπαρξη επαρκούς ευστάθειας και μήκους μικρότερου από 250m. Για τον αριθμό των προσφερόμενων υπηρεσιών τίθεται ένα εύρος τιμών που αποτελείται από εννέα διαφορετικές περιπτώσεις κατά μέγιστο, ενώ ο αριθμός των πλοίων καθορίζεται από τον αριθμό των υπηρεσιών και το χρόνο κυκλικής διαδρομής, λαμβάνοντας υπόψη το χρόνο φορτοεκφόρτωσης. Τέλος, όσον αφορά στη μεταφορική ικανότητα, εκτιμάται η ημερήσια ζήτηση για την πιο φορτωμένη και την πιο άγονη γραμμή και στη συνέχεια υποθέτονται εννέα διαφορετικές περιπτώσεις ζήτησης ως ποσοστά/πολλαπλάσια των δύο παραπάνω τιμών. Η μεταφορική ικανότητα προκύπτει από τη ζήτηση και τον αριθμό των υπηρεσιών  $N_s$ . Με βάση τον αριθμό των υπηρεσιών, τη ζήτηση και το πλάτος αναπτύσσονται παραμετρικά εναλλακτικά σενάρια σχεδιάσεων και γίνεται εκτίμηση της κατανομής βαρών, της εγκατεστημένης ισχύος και της ευστάθειας. Τέλος, γίνεται οικονομική ανάλυση αυτών των σεναρίων. Το λογισμικό υποστήριξης της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ανεπτυγμένο σε γλώσσα C. Για τον καθορισμό των χαρακτηριστικών του πλοίου χρησιμοποιείται ένας πενταψήφιος δείκτης που αναφέρεται στα πεδία τιμών των μεταβλητών (απαιτούμενος χρόνος, ναύλος, αριθμός υπηρεσιών, περιθώριο ζήτησης, τύπος πλοίου).

Οι X. Xie, D-L. Xu, J-B. Yang, J. Wang, J. Ren και S. Yu (2000) ανέπτυξαν μία μεθοδολογία για την επιλογή πλοίου ανάμεσα σε ένα σύνολο εναλλακτικών λύσεων,

ως πλοίο αναφοράς για νέα σχεδίαση. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο αυτή, λαμβάνονται υπόψη ποσοτικά αλλά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του πλοίου. Η διαδικασία επιλογής γίνεται σε τρία στάδια: προσδιορισμός υποψήφιων πλοίων, αξιολόγησή τους με βάση τεχνοοικονομικά αλλά και ποιοτικά χαρακτηριστικά και άθροιση όλων των χαρακτηριστικών με χρήση της παραπάνω μεθόδου. Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν την ιεράρχηση των εναλλακτικών σεναρίων καθώς και την ένδειξη των προτερημάτων και αδυναμιών έτσι ώστε ο ιθύνων να αναγνωρίζει το ρίσκο στην επιλογή.

Οι T. Wergeland και I. Oestvik (1999) σε άρθρο τους ανέλυσαν τις προκλήσεις σε θέματα logistics για ταχεία φορτηγά ακτοπλοΐας. Το κύριο συμπέρασμα του άρθρου είναι ότι η σχεδίαση των πλοίων αυτών πρέπει να ξεκινά από την επίγνωση θεμάτων logistics και ότι αυτή πρέπει να εντάσσεται στο δίκτυο συνδυασμένων μεταφορών για να είναι εμπορικά βιώσιμη. Τέλος, το άρθρο υποστηρίζει ότι η ασφάλεια και περιβαλλοντική απόδοση είναι σημαντικά θέματα μελέτης στη σχεδίαση.

Οι A. Paranikolaou, D. Vassalos και I. Oestvik (1996) εξέτασαν την ανάπτυξη ταχέων πλοίων νέας τεχνολογίας (SWATH Multipurpose Container Carrier, Fast RoRo Ferry Design) για τις ακτοπλοϊκές μεταφορές στην Ευρώπη με στόχο την αποδοτική μεταφορά του φορτίου από το δρόμο / σιδηρόδρομο στο πλοίο με ελάχιστη διακοπή της ροής στο λιμένα. Κατά συνέπεια το προτεινόμενο μεταφορικό σύστημα αναγνωρίζει την ανάγκη για αποδοτικές διεπαφές μεταξύ του πλοίου-λιμένα και του λιμένα-δρόμου/σιδηροδρόμου.

Οι I. Oestvik, T. Wergeland και A. Kroneberg (1998) παρουσίασαν την έρευνα τους στα πλαίσια του προγράμματος North Sea, που αποσκοπεί στην ανάπτυξη μιας τυποποιημένης μεθοδολογίας για τη μελέτη διαδρόμων στην ακτοπλοΐα. Η μεθοδολογία εξετάζει το πλοίο, το λιμάνι και τις ροές φορτίου ως κύριες οντότητες σε μια αλυσίδα συνδυασμένων μεταφορών, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στη χρήση της τεχνολογίας πληροφοριών (IT) για τον έλεγχο και τη διαχείριση της μεταφοράς του φορτίου.

Οι J. Saldanha και R. Gray (2002) διερεύνησαν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης της βρετανικής ακτοπλοΐας σε μία αλυσίδα συνδυασμένων μεταφορών. Για το σκοπό αυτό πραγματοποίησαν μία μελέτη «Delphi». Η προσέγγιση αυτή στοχεύει στη συστηματική συγκέντρωση αξιολογήσεων πάνω σε συγκεκριμένα ερωτήματα ή θέματα, από μια ομάδα ειδικών. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν την υπεροχή

των συνδυασμένων προτάσεων, ειδικά όσον αφορά στη συνεργασία παράκτιας ναυτιλίας και οδικών μεταφορών.

Το Κέντρο Προγραμματισμού και Οικονομικών Ερευνών (Τσέκερης, 2005) δημοσίευσε μία έρευνα για την δυναμική οικονομετρική ανάλυση της παραγωγής ροών μεταφοράς εμπορευμάτων από την Ελλάδα προς τις υπόλοιπες χώρες, κατά την περίοδο 1985-2004. Το μοντέλο εκφράζει τις παραγόμενες ροές με όλα τα μέσα μεταφοράς σε σχέση με το κόστος εξαγωγής, δηλαδή τη διαφορά ελληνικών και διεθνών τιμών, όπως προκύπτουν από τον υπολογισμό σταθμισμένων μητρώων προέλευσης-προορισμού και το εισόδημα. Τα αποτελέσματα δείχνουν την ύπαρξη μακροχρόνιας ισορροπίας στις ροές εμπορευμάτων μέσω αργών βραχυπρόθεσμων προσαρμογών στη ζήτηση.

Οι G. Zhang, B.E. Patuwo και M.Y. Hu (1998) παρουσίασαν μία έρευνα για τις εφαρμογές των νευρωνικών δικτύων στην πρόβλεψη και τις μελλοντικές κατευθύνσεις της έρευνας στον τομέα αυτό. Ενώ τα νευρωνικά δίκτυα είναι πολλά υποσχόμενα, ενσωματώνουν μεγάλη αβεβαιότητα. Οι ερευνητές δεν είναι μέχρι σήμερα ακόμα σίγουροι για την επίδραση βασικών παραγόντων στην πρόβλεψη των νευρωνικών δικτύων.

Μία ενδιαφέρουσα εργασία σχετικά με τη πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης με χρήση νευρωνικών δικτύων, ήταν αυτή των W.H.K. Lam, M. Asce, P.L.P. Ng, W. Seabrooke και E.C.M. Hui (2004). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας ιστορικά στοιχεία για την κίνηση φορτίου αλλά και κάποιους επεξηγηματικούς παράγοντες κατάφεραν να επιβεβαιώσουν την εκτίμηση των αναπτυσσόμενων νευρωνικών δικτύων για ένα έτος και στη συνέχεια να προβλέψουν τη ζήτηση για την επόμενη δεκαετία προβάλλοντας χρονικά τους ίδιους επεξηγηματικούς παράγοντες. Το σύνολο των στοιχείων αυτών περιλαμβάνει τον πληθυσμό, την αξία των συναλλαγών και το ΑΕΠ. Στη συνέχεια αξιολογείται η αξιοπιστία των προβλέψεων με την προσομοίωση Monte Carlo, λόγω του λάθους προβολής των επεξηγηματικών παραγόντων, καθορίζεται το πιθανό εύρος των προβλέψεων και συγκρίνονται με τις αντίστοιχες της παλινδρομικής ανάλυσης. Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν την υπεροχή των νευρωνικών δικτύων.

Ο M.M. Mostafa (2004) σε ένα άρθρο του εφαρμόζει και συγκρίνει δύο μεθόδους για την πρόβλεψη της ροής φορτίου στο κανάλι του Σουέζ: το μοντέλο ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) και τα Νευρωνικά Δίκτυα.

Οι W. Zheng, DH. Lee, M. Asce και Q. Shi (2006) ανέπτυξαν μια βελτιωμένη προσέγγιση για τη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη της κυκλοφοριακής ροής, συνδυάζοντας υπάρχοντα μοντέλα πρόβλεψης, το καθένα εκ των οποίων έχει καλή απόδοση μόνο σε ορισμένη περίοδο για ένα εύρος περιόδων. Στη μελέτη τους εισήγαγαν ένα μοντέλο νευρωνικού δικτύου, το οποίο συνδυάζει την πρόβλεψη από ανεξάρτητα νευρωνικά δίκτυα σύμφωνα με τη θεωρία των πιθανοτήτων υπό όρους και τον κανόνα Bayes. Διαπιστώνεται ότι τις περισσότερες φορές, το συνδυασμένο μοντέλο υπερτερεί των μεμονωμένων δικτύων. Το πιο σημαντικό, για ένα δεδομένο χρονικό διάστημα, το προτεινόμενο μοντέλο παρακολουθεί την απόδοση των μεμονωμένων νευρωνικών δικτύων, ώστε να επιλέγει και να συνδυάζει πάντα αυτά που έχουν την καλύτερη απόδοση.

Οι M. Kalic και D. Teodorovic σε ένα άρθρο τους εφαρμόζουν με επιτυχία μοντέλα ασαφούς λογικής (fuzzy logic) και γενετικού αλγορίθμου στην πρόβλεψη της κίνησης επιβατών.

Ο K-F. Fung (2003) ανέπτυξε και παρουσίασε ένα μοντέλο διόρθωσης διανυσματικού λάθους (vector error correction model) με δομική αναγνώριση για να συλλάβει την αλληλεξάρτηση του εμπορίου και την ολιγοπωλιακή σχέση στην ανατολική και νοτιοανατολική ασιατική αγορά, όσον αφορά στις υπηρεσίες διαχείρισης εμπορευματοκιβωτίων. Η πρόβλεψη της κίνησης των εμπορευματοκιβωτίων στο Χονγκ Κονγκ από το μοντέλο συγκρίθηκε με πραγματικά στοιχεία του λιμένα του Χονγκ Κονγκ. Η ανάλυση ευαισθησίας δείχνει ότι σε όλες τις πιθανές περιπτώσεις, το VECM παράγει τους υψηλότερους ρυθμούς αύξησης για την κίνηση εμπορευματοκιβωτίων του Χονγκ Κονγκ και, ως εκ τούτου, προτείνει την κατασκευή νέων τερματικών.

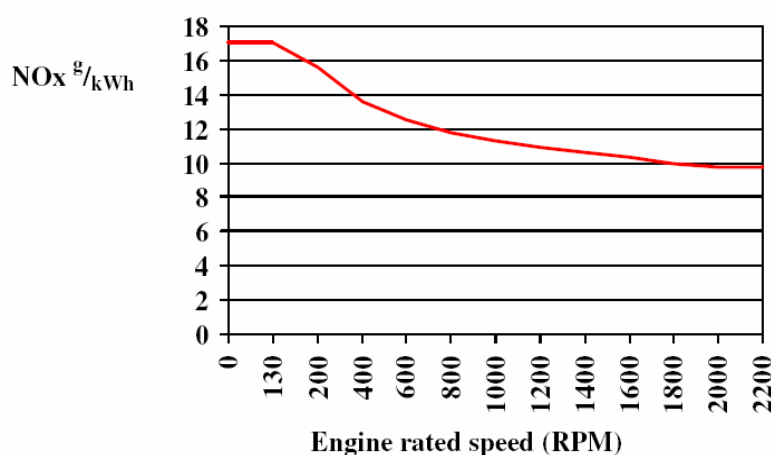
Οι H.B. Clausen, M. Lutzen, A.F. Hansen και N. Bjorneboe (1997) ήταν οι πρώτοι που επιχειρήσαν να εφαρμόσουν την τεχνολογία των νευρωνικών δικτύων στην προμελέτη. Στόχος της μελέτης τους ήταν η αρχική εκτίμηση των βασικών παραμέτρων του πλοίου. Για το λόγο αυτό εκπαιδεύτηκαν νευρωνικά δίκτυα για πληθώρα τύπων πλοίων, τα οποία δύνανται να εκτιμήσουν το μήκος, το πλάτος την ταχύτητα, το βύθισμα, το κοίλο και το εκτόπισμα χρησιμοποιώντας ως μοναδική πληροφορία τη μεταφορική ικανότητα του πλοίου. Η τεχνική εφαρμόστηκε και με άλλες μεθόδους (regression analysis, Bayesian networks) αναδεικνύοντας την υπεροχή των νευρωνικών δικτύων. Η εισαγωγή και άλλων στοιχείων εισόδου και η

διερεύνηση του βαθμού συσχέτισης των παραμέτρων πιθανόν να οδηγήσει σε ακόμα καλύτερες εκτιμήσεις και χαμηλότερο ποσοστό λάθους.

Η απειλή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελεί σοβαρό ζήτημα και η σχεδίαση των πλοίων, παρόλο που αποτελούν συγκριτικά ένα φιλικό προς το περιβάλλον μέσο μεταφοράς, οφείλει να ακολουθήσει την παγκόσμια ευαισθητοποίηση. Το πρωτόκολλο του Κιότο καλεί τα συμβαλλόμενα μέρη να επιβάλλουν περιορισμούς στις εκπομπές αέριων ρύπων από την ναυτιλία, δια μέσου του IMO (Dobes, 1999; Breidenich, 1998). Οι διαπραγματεύσεις οδήγησαν στην ανάπτυξη του Παραρτήματος VI MARPOL. Στο προσκήνιο των διαβουλεύσεων βρίσκονται οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου, θείου, πτητικών οργανικών ενώσεων, ενώσεων που μειώνουν το όζον της ατμόσφαιρας, ενώ διαπραγματεύσεις γίνονται και για την ποιότητα των καυσίμων και τον περιορισμό των ρύπων CO<sub>2</sub>.

Ο Κανονισμός 13 (παραρτήμα VI Marpol), θέτει όρια στις εκπομπές οξειδίου του αζώτου (NO<sub>x</sub>) από τις μηχανές diesel. Σύμφωνα με αυτόν, οι εκπομπές NO<sub>x</sub> οποιασδήποτε μηχανής diesel με ισχύ μεγαλύτερη από 130 KW για σκάφος που ναυπηγείται ή υποβάλλεται σε σημαντική μετασκευή μετά την 1η Ιανουαρίου 2000 οφείλει να υπακούει στα παρακάτω όρια (Merc, 2008; Managing Risk DNV, 2005; IMO, 2000; IMO 2007):

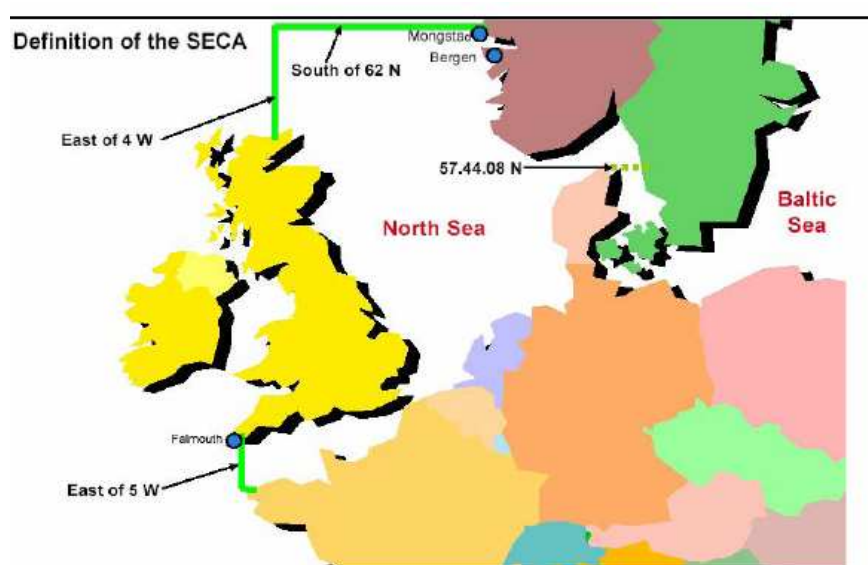
- (i) 17 g/KW-hr όταν  $n < 130$  rpm
  - (ii)  $45.0 \cdot n^{(-0.2)}$  g/KW-hr όταν  $130 \leq n < 2000$  rpm
  - (iii) 9.8 g/KW-hr όταν  $n \geq 2,000$  rpm
- όπου  $n$  η ταχύτητα περιστροφής της μηχανής.



Σχήμα 1.5. Οι επιτρεπτές εκπομπές NO<sub>x</sub> για μηχανές diesel



Με την έναρξη ισχύος του παραρτήματος VI Marpol στις 19 Μαΐου 2005, η περιεκτικότητα του ναυτικού καυσίμου σε οξείδιο του θείου (SO<sub>x</sub>) οριοθετείται σε 4,5%. Επίσης, καθιερώνονται ειδικές περιοχές ελέγχου εκπομπής SO<sub>x</sub> (SECAS) με πιο αυστηρούς ελέγχους. Στις περιοχές αυτές, η περιεκτικότητα σε θείο του καυσίμου δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1,5% m/m. Ο IMO έχει καθορίσει μέχρι σήμερα δύο SECA. Η πρώτη είναι η Βαλτική θάλασσα (19 Μαΐου 2006) ενώ η δεύτερη η Βόρεια Θάλασσα και το αγγλικό κανάλι (19 Νοεμβρίου 2007). Αναμένεται ότι ο IMO θα υποδείξει περαιτέρω περιοχές SECA στο μέλλον και έχει εκθέσει ορισμένα κριτήρια για την ένταξή τους (IMO, 2007; Κυρτάτος, 2007).



Σχήμα 1.6. Ένδειξη των περιοχών SECA

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο περιορισμός στην περιεκτικότητα του θείου ισχύει για όλα τα καύσιμα (βαρύ καύσιμο, ναυτικό πετρέλαιο diesel και φυσικό αέριο) και ανεξάρτητα από τη χρήση εν πλω. Εναλλακτικά με το όριο του 1,5% m/m, τα πλοία οφείλουν να εγκαταστήσουν σύστημα καθαρισμού καυσαερίων ή οποιαδήποτε άλλη τεχνολογική μέθοδο για τον περιορισμό της εκπομπής SO<sub>x</sub>. Τα κριτήρια εκπομπής για τα συστήματα καθαρισμού ρύπων είναι 6 g SO<sub>x</sub>/KWh. Η ανάπτυξη προτύπων έγκρισης για τέτοια συστήματα βρίσκεται σε εξέλιξη.

Ταυτόχρονα με τους παραπάνω κανονισμούς, η MEPC στράφηκε στην ανάπτυξη ενός σχεδίου διατύπωσης δεικτών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) για τα πλοία, με στόχο μελλοντικά να παρέχει ένα πιστοποιητικό εκπομπής CO<sub>2</sub>. Προσωρινές οδηγίες για την εθελοντική διατύπωση δείκτη εκπομπής CO<sub>2</sub> για χρήση σε δοκιμές εγκρίθηκαν τον Ιούλιο του 2005, με στόχο την καθιέρωση μιας κοινής προσέγγισης,

που θα επιτρέπει στους πλοιοκτήτες να αξιολογούν την απόδοση του στόλου τους όσον αφορά σε τέτοιες εκπομπές (Sames, 2008). Δεδομένου ότι το ποσό του CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται από ένα πλοίο συσχετίζεται άμεσα με την κατανάλωση καυσίμου, η διατύπωση δείκτη CO<sub>2</sub> παρέχει επίσης χρήσιμες πληροφορίες για την αποδοτικότητα του πλοίου.

Ο δείκτης καθορίστηκε ως εξής (MEPC, 2005):

$$Index = \frac{\sum_i FC_i \times C_{carbon}}{\sum_i m_{cargo} \times D_i} \quad [1.1]$$

όπου,

FC, η μάζα του καταναλωθέντος καυσίμου

m<sub>cargo</sub>, η μάζα του φορτίου που μεταφέρεται

D, η απόσταση που διανύει το πλοίο

i, ο αριθμός του τμήματος ταξιδιού

C<sub>carbon</sub>, συντελεστής εκπομπής χρησιμοποιούμενου καυσίμου

Ο IMO συγκέντρωσε ένα μεγάλο όγκο στοιχείων CO<sub>2</sub> από δοκιμές για την ανάπτυξη μιας κεντρικής βάσης δεδομένων για συγκρίσεις και περαιτέρω μελέτες από τα κράτη μέλη και τη ναυπηγική βιομηχανία. Ένα συμπέρασμα κοινό για όλους τους τύπους πλοίων είναι ότι η εκπομπές ανά τόνο φορτίου μειώνονται με την αύξηση του μεγέθους του πλοίου. Εντούτοις, έχει παρατηρηθεί ότι ίδια πλοία σε φαινομενικά παρόμοιες αγορές δίνουν διαφορετικά αποτελέσματα και αυτή η διαφορά μπορεί να προκύψει από διαφορετικές καιρικές συνθήκες ή από λειτουργικές διαφορές και ζητήματα όπως ο χρόνος αναμονής στα λιμάνια, το εύρος των ταξιδιών έρματος, εάν το σκάφος φορτώνεται πλήρως ή όχι.

Τα πλοία υπόκεινται σε επιθεωρήσεις και δοκιμές για την έκδοση και διατήρηση του Πιστοποιητικού Πρόληψης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (IAPP Certificate) και ξεχωριστού Πιστοποιητικού Μηχανής για την Πρόληψη της Διεθνούς Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης (EIAPP) (Managing Risk DNV, 2005). Στόχος είναι η εκθετική μείωση των ετήσιων εκπομπών και για το λόγο αυτό οι απαιτήσεις αυξάνουν βαθμιαία καθώς ο IMO δεσμεύεται στην ανάπτυξη των ερευνών και των κανονισμών.

Οι H. Winnes και A. Ulfvarson (2006) τόνισαν την ανάγκη εισαγωγής περιβαλλοντικών κριτηρίων στη σχεδίαση πλοίου. Στόχος τους η ανάπτυξη ενός εργαλείου σχεδίασης που δύναται να χειριστεί την ευαισθησία στην περιβαλλοντική

απόδοση του πλοίου λαμβάνοντας υπόψη γεωγραφικές διαφορές κατά μήκος του πλου. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποίησαν συναρτήσεις χρησιμότητας για να μετασχηματίσουν διαφορετικές παραμέτρους-απαιτήσεις σε συγκρίσιμες τιμές. Στη συνέχεια κάθε συνάρτηση χρησιμότητας πολλαπλασιάστηκε με το αντίστοιχο βάρος, που δηλώνει τη δύναμη κάποιας περιβαλλοντικής παραμέτρου να επηρεάσει το τελικό αποτέλεσμα.

Ο Η.Ο. Kristensen (2007) σε αναφορά του προς την Ένωση Δανών Πλοιοκτητών παρέχει μια ορθολογική βάση για τη διατύπωση ενός εναλλακτικού τεχνικού δείκτη για το CO<sub>2</sub>, που δεν εξαρτάται από λειτουργικά μέτρα, αλλά τεχνικά στοιχεία με στόχο την ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών πλοίων. Για το σκοπό αυτό παρουσιάζει μερικά συστηματικά στοιχεία υπολογισμών εκπομπής CO<sub>2</sub> για διαφορετικούς τύπους πλοίων και δίνει γενικές πληροφορίες και ιστορικά στοιχεία για την πρόωση πλοίων και την κατανάλωση καυσίμων μηχανών diesel. Το άρθρο δίνει έμφαση επίσης στις σημαντικότερες παραμέτρους, οι οποίες επηρεάζουν τον τεχνικό δείκτη CO<sub>2</sub>. Η εκπομπή CO<sub>2</sub> εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος του πλοίου και την ταχύτητα υπηρεσίας και επομένως αυτές οι παράμετροι συνδυάστηκαν χρησιμοποιώντας τον αριθμό Froude ως ενιαία αδιάστατη παράμετρο. Ο συγγραφέας υποστηρίζει ότι πρέπει να αναδειχτεί η εξάρτηση του δείκτη CO<sub>2</sub> από το πρόσθετο βάρος αφού σύμφωνα με την παραπάνω προσέγγιση επωφελούνται τα μεγάλα φορτηγά container, bulk carriers και tankers αφού αποκτούν χαμηλό δείκτη πιο εύκολα χάνοντας έτσι κίνητρο βελτίωσης σε σύγκριση με μικρότερα φορτηγά ίδιου τύπου. Τέλος, τονίζει ότι πρέπει να αναπτυχθεί ανεξάρτητος δείκτης CO<sub>2</sub> για κάθε τύπο πλοίου.

Οι Ε. Boulougouris και Α. Papanikolaou (2009) σε άρθρο τους εκτιμούν το δείκτη ενεργειακής απόδοσης (Energy Efficiency Design Index, EEDI) για πλοία Bulk Carrier, Container και Tanker.

## **1.7 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ**

Το πρόβλημα της μελέτης και σχεδίασης πλοίου και μεταφορικού συστήματος έχει από τη φύση του περισσότερα από ένα κριτήρια, που πιθανώς αλληλοσυγκρούονται. Πρόβλημα βελτιστοποίησης με πολλαπλά κριτήρια ορίστηκε από τον Osyczka, το 1985, ως το πρόβλημα προσδιορισμού ενός ανύσματος ελεύθερων μεταβλητών που

ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς και ταυτόχρονα βελτιστοποιεί διανυσματική συνάρτηση της οποίας τα στοιχεία αναπαριστούν τις αντικειμενικές συναρτήσεις. Οι συναρτήσεις αυτές διαμορφώνουν μια μαθηματική περιγραφή κριτηρίων που συχνά είναι αλληλοσυγκρουόμενα. Ως εκ τούτου, ο όρος βελτιστοποίηση επί της ουσίας στην περίπτωση αυτή σημαίνει την εύρεση μιας λύσης που δίνει ικανοποιητικές τιμές για όλες τις αντικειμενικές συναρτήσεις.

Μαθηματικά ο παραπάνω ορισμός εκφράζεται ως εξής:

Να προσδιοριστεί το άνυσμα

$$\vec{x} = [x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*] \quad [1.2]$$

που ικανοποιεί τους περιορισμούς

$$g_i(\vec{x}) \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, m \quad \text{και}$$

$$h_i(\vec{x}) = 0 \quad i=1, 2, \dots, p \quad [1.3]$$

και βελτιστοποιεί τη διανυσματική συνάρτηση

$$\vec{f}(\vec{x}) = [f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_k(\vec{x})]^T \quad [1.4]$$

Έχοντας περισσότερες από μια αντικειμενικές συναρτήσεις, η έννοια του βέλτιστου αλλάζει. Στην πραγματικότητα προσπαθούμε να βρούμε καλούς συμβιβασμούς (trade-offs), παρά μία μοναδική λύση όπως στην ολική βελτιστοποίηση. Ο ορισμός αυτός του βέλτιστου που προτάθηκε αρχικά από τον Francis Ysidro Edgeworth, το 1881, γενικεύτηκε αργότερα από τον Vilfredo Pareto, το 1896, και ονομάστηκε «Pareto Βέλτιστο». Έτσι, ένα άνυσμα ελευθέρων μεταβλητών  $\vec{x} \in F$  (όπου  $F$  η εφικτή περιοχή του προβλήματος) είναι «Pareto βέλτιστο» εάν δεν υπάρχει άλλο  $\vec{x} \in F$  τέτοιο ώστε  $f_i(\vec{x}) \leq f_i(\vec{x}^*)$  για κάθε  $i = 1, \dots, k$  και  $f_j(\vec{x}) < f_j(\vec{x}^*)$  τουλάχιστον για ένα  $j$ . Με άλλα λόγια μία λύση είναι «Pareto Βέλτιστη» εάν δεν υπάρχει άλλη που θα επιφέρει βελτίωση ενός κριτηρίου χωρίς να προκαλέσει ταυτόχρονα την μείωση της επίδοσης ενός τουλάχιστον άλλου κριτηρίου. Κατ' αυτόν τον τρόπο σχεδόν ποτέ δεν έχουμε μία μοναδική λύση αλλά ένα σύνολο λύσεων που καλείται «Pareto Βέλτιστο» σύνολο λύσεων. Τα ανύσματα των λύσεων ονομάζονται non-dominated και η γραφική αποτύπωση των αντικειμενικών συναρτήσεων των οποίων τα ανύσματα βρίσκονται στο «Pareto Βέλτιστο Σύνολο» ονομάζεται Pareto Front. Έτσι, για δεδομένο πρόβλημα βελτιστοποίησης το «Pareto Βέλτιστο Σύνολο» ( $P^*$ ) ορίζεται ως εξής:

$$P^* := \{x \in F \mid \neg \exists x' \in F \vec{f}(x') \leq f(x)\} \quad [1.5]$$

ενώ το Pareto Front ( $PF$ ) ως:

$$PF^* := \{\vec{u} = \vec{f} = (f_1(x), \dots, f_k(x)) \mid x \in P^*\} \quad [1.6]$$

Τα προβλήματα βελτιστοποίησης με πολλαπλά κριτήρια μπορούν υπό προϋποθέσεις να αντιμετωπιστούν και ως προβλήματα ενός κριτηρίου. Στην περίπτωση αυτή, όλα τα κριτήρια εκτός από ένα διαμορφώνονται ως περιορισμοί. Η επιλογή του κριτηρίου και ο χειρισμός των περιορισμών είναι οι παράγοντες που θα καθορίσουν το πόσο καλός θα είναι ο παραπάνω συμβιβασμός.

Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης διαφοροποιούνται ανάλογα με τις μεθόδους που χρησιμοποιούν για την επιλογή και τον έλεγχο του μεγέθους και της κατεύθυνσης του βήματος. Έτσι, διακρίνονται σε ντετερμινιστικούς (προσδιοριστικούς) και στοχαστικούς αλγόριθμους. Οι πρώτοι χρησιμοποιούν ένα αλγεβρικό, αναλυτικό πρότυπο για να κινηθούν από μια επανάληψη στην επόμενη, βασισμένο στην πληροφορία που απέκτησαν σε προηγούμενα βήματα. Αντίθετα οι στοχαστικοί αλγόριθμοι εφαρμόζουν σε ένα ή περισσότερα στάδια τυχαίους αριθμούς μετατρέποντας την κίνηση από την μια επανάληψη στην επόμενη απρόβλεπτη. Οι ντετερμινιστικές μέθοδοι υποδιαιρούνται σ' αυτές που βασίζονται στην πληροφορία της κλίσης και μερικές φορές στην καμπυλότητα και σ' αυτές που στηρίζονται σε τιμές της ίδιας της αντικειμενικής συνάρτησης και δεν επιδίδονται στην προσέγγιση πληροφοριών κλίσης ή καμπυλότητας. Οι τελευταίες ονομάζονται *μέθοδοι αναζήτησης* (search methods) και οι πρώτες *μέθοδοι κλίσης* (gradient methods). Σε γενικές γραμμές οι μέθοδοι αυτές οδηγούν στην ανεύρεση ενός τοπικού βέλτιστου και για το λόγο αυτό ονομάζονται *Αλγόριθμοι Τοπικής Βελτιστοποίησης*. Υπάρχουν ασφαλώς και αλγόριθμοι που επιχειρούν την ανεύρεση του ολικού βέλτιστου στον σχεδιαστικό χώρο και ονομάζονται *Αλγόριθμοι Ολικής Βελτιστοποίησης*. Οι εφαρμογές για τον τομέα αυτό, σήμερα χρησιμοποιούν κυρίως στοχαστικές μεθόδους και γενετικούς αλγόριθμους (Rao, 1996; Birk, 2003; Pham, 2000).

## 2. Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

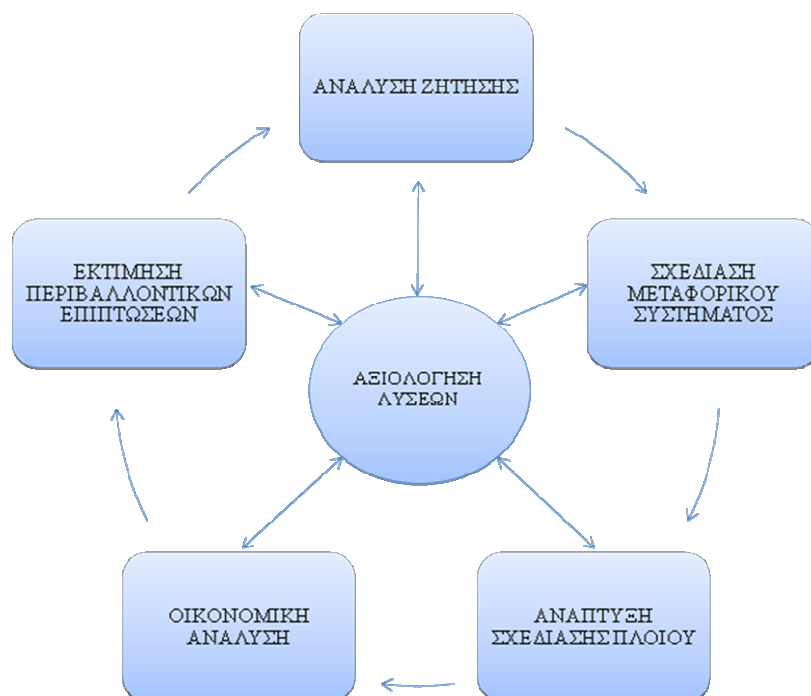
### 2.1 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης συνδυασμένων μεταφορών ορίζεται ως εξής: να βελτιστοποιηθεί το πλοίο και το σύστημα συνδυασμένων μεταφορών με κριτήρια το κόστος D2D, το χρόνο D2D και τις εκπομπές αέριων ρύπων D2D κάτω από τους περιορισμούς που επιβάλλονται από την αντίστοιχη αγορά, κρατώντας το ρίσκο όσον αφορά στην αβεβαιότητα της ζήτησης σε αποδεκτά επίπεδα.

Η υπό εξέταση αγορά ορίζει:

- Τον διαθέσιμο όγκο φορτίου
- Τον τύπο του φορτίου
- Τις εναλλακτικές διαδρομές
- Τα χαρακτηριστικά-περιορισμούς των λιμένων
- Τη συχνότητα της υπηρεσίας
- Τον ανταγωνισμό από άποψη D2D χρόνου και D2D κόστους
- Τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του παρόντος μεταφορικού συστήματος

Η προσέγγιση που εξετάζει το ανωτέρω πρόβλημα στα πλαίσια της παρούσας διατριβής σκιαγραφείται στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1. Η προσέγγιση της Διατριβής

## 2.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΖΗΤΗΣΗΣ

Η εκτίμηση της ζήτησης, στην οποία θα βασισθεί η μελέτη και σχεδίαση του πλοίου και μεταφορικού συστήματος, αποτελεί κρίσιμο παράγοντα. Το πλοίο πρόκειται να εισαχθεί σε συγκεκριμένη ναυλαγορά και επομένως στόχος είναι να ικανοποιεί τις συγκεκριμένες ανάγκες. Η πρόβλεψη της μελλοντικής ροής φορτίου αποτελεί πόλο εστίασης ενδιαφέροντος τις τελευταίες δεκαετίες και βρίσκει εφαρμογές πέραν των θαλασσίων μεταφορών. Στον τομέα αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί μέθοδοι όπως Ασαφής Λογική, Νευρωνικά Δίκτυα καθώς και Γενετικοί Αλγόριθμοι. Όμως, η πρόσφατη ερευνητική δραστηριότητα έχει αναδείξει τα νευρωνικά δίκτυα ως “state of the art” στον τομέα της πρόβλεψης.

Μεγάλη πρόκληση στον τομέα της πρόβλεψης αποτελεί η αποτίμηση των στοιχείων εισόδου. Είναι τα στοιχεία στη βάση των οποίων θα εκτιμηθεί η μελλοντική ζήτηση και οφείλουν να αποτελούν καθοριστικούς της παράγοντες. Ταυτόχρονα όμως θα πρέπει κανείς να λάβει υπόψη την πρακτική της προσέγγισης και να είναι ιδιαίτερα προσεχτικός για να μην οδηγηθεί σε φαύλο κύκλο. Στη μέχρι τώρα έρευνα χρησιμοποιούνται παράγοντες όπως η αξία των συναλλαγών που βρίσκονται σε άμεση συσχέτιση με την προσφορά και την ζήτηση, απαιτούν όμως την καταρχάς πρόβλεψη των ιδίων μελλοντικών τιμών. Η τεχνική που χρησιμοποιείται στην περίπτωση αυτή είναι η χρήση προβαλλόμενων στο χρόνο τιμών, στις οποίες στηρίζεται στη συνέχεια το νευρωνικό δίκτυο. Προκειμένου να αποφευχθεί η παραπάνω τεχνική απαιτείται εις βάθος μακροοικονομική και μικροοικονομική ανάλυση, καθώς η κίνηση στα λιμάνια είναι αυστηρά συνυφασμένη με τους οικονομικούς δείκτες (ΑΕΠ, ΔΤΚ κ.α) των ενδιαφερόμενων χωρών.

Χώρες με ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα κυριαρχούν στο διεθνές εμπόριο με μεγαλύτερες εξαγωγές. Κύριος προσδιοριστικός παράγοντας της ανταγωνιστικότητας μιας χώρας είναι η αύξηση της παραγωγικότητας και η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών. Προς χάριν παραδείγματος, η Ελλάδα που είναι λιγότερο αναπτυγμένη χώρα και της οποίας κύρια εξαγωγική δύναμη είναι τα αγροτικά προϊόντα κινδυνεύει από συρρίκνωση των εξαγωγών της, λόγω αδυναμίας ενσωμάτωσης νέων τεχνολογιών. Αυτό αρχίζει να γίνεται ιδιαίτερα αισθητό σήμερα με τη στροφή προς οικολογικά προϊόντα χωρίς τη χρήση χημικών λιπασμάτων. Είναι δε γνωστό ότι η χώρα στερείται υποδομών, η ανάπτυξη των οποίων -ακόμα και αν υπήρχε η δυνατότητα- θα απαιτούσε μία σεβαστή χρονική περίοδο. Έτσι, μπορεί κανείς να

εντοπίσει την αρχή της αυτοσυντήρησης χωρών που έως τώρα εξαρτώνταν αγροτικά από την Ελλάδα, λόγω του πλεονεκτήματος των φυσικών πόρων της τελευταίας. Επομένως, αν κανείς θέλει να εκτιμήσει την μελλοντική ζήτηση σε Ελληνικά αγροτικά προϊόντα θα πρέπει να ποσοτικοποιήσει την ανταγωνιστικότητά τους. Η τελευταία μεταφράζεται σε μεγαλύτερο εισόδημα, αύξηση της ενεργούς ζήτησης της παραγωγής και εν τέλει αύξηση του ΑΕΠ.

Άλλοι παράγοντες που υπεισέρχονται στην πρόβλεψη της ζήτησης είναι η ανεργία και ο πληθωρισμός. Από οικονομικής άποψης η ανεργία σημαίνει την υποαπασχόληση του παραγωγικού δυναμικού της οικονομίας, οπότε δεν παράγεται το δυναμικό της προϊόν. Η ύπαρξη ανεργίας μειώνει το ΑΕΠ, την συνολική ζήτηση και πολλαπλάσια την κατανάλωση και τις επενδύσεις. Από την άλλη πλευρά ο πληθωρισμός μειώνει την αγοραστική δύναμη των εισοδηματικών τάξεων και τις παραγωγικές επενδύσεις. Εν κατακλείδι, επηρεάζει αρνητικά το ισοζύγιο εξωτερικών συναλλαγών, αφού οι εξαγωγές γίνονται ακριβότερες σε αντίθεση με τις εισαγωγές από χώρες χωρίς πληθωρισμό. Πολλές χώρες όπως η Ελλάδα που εξαρτώνται από το διεθνές εμπόριο δέχονται πληθωριστικές πιέσεις που αυξάνουν τις τιμές στην εγχώρια αγορά, με επιπτώσεις και στις εξαγωγές. Αντίθετα, σε οικονομίες όπως η Γερμανική και η Ιαπωνική παρουσιάζεται ένα φαινόμενο που οδηγεί σε πτώση των τιμών και καλείται αποπληθωρισμός. Τέλος, επειδή η μεταβολή του αριθμού των καταναλωτών είναι σαφώς ένας παράγοντας που επηρεάζει την ποσότητα των εμπορικών συναλλαγών μιας χώρας θα πρέπει κανείς να εκτιμήσει τον πληθυσμό της.

Οι εθνικές οικονομίες είναι αλληλένδετες μεταξύ τους και τα θετικά και αρνητικά τους συστατικά μεταδίδονται από τη μία χώρα στην άλλη μέσω του διεθνούς εμπορίου. Βασική παραδοχή στην οποία στηρίζεται το παραπάνω είναι ο νόμος του Say: «η προσφορά δημιουργεί τη ζήτησή της». Έτσι όταν δύο χώρες αναπτύσσουν εμπορικές σχέσεις μεταξύ τους αυτό θα οδηγήσει σε οφέλη και για τις δύο πλευρές. Η αύξηση του εισοδήματος των εξαγωγέων που με βάση την μέση οριακή ροπή προς κατανάλωση μεταδίδεται σε όλους τους κλάδους της οικονομίας της χώρας οδηγεί παραπέρα και στην αύξηση της μέσης οριακής ροπής προς εισαγωγές. Ακόμη, ο πληθωρισμός μιας χώρας μπορεί να μεταδοθεί σε μία άλλη με την οποία έχει εμπορικές σχέσεις. Η αύξηση των τιμών σε μία χώρα έχει ως συνέπεια την αύξηση της ζήτησης για τα φθηνότερα εισαγόμενα προϊόντα. Η αύξηση όμως του εισοδήματος πάνω από το επίπεδο της πλήρους απασχόλησης στην οποία βρίσκεται αυτή η χώρα οδηγεί στη δημιουργία πληθωρισμού ζήτησης. Αν τώρα θεωρηθεί ότι



αυξάνονται και οι τιμές των πρώτων υλών στις οποίες στηρίζεται η παραγωγή της αυτό σημαίνει ότι θα αυξηθεί το κόστος παραγωγής και έτσι μεταδίδεται και ο πληθωρισμός κόστους (Κωνσταντίνου, 2005).

Από τη στιγμή που καθορίζονται τα αρχικά δεδομένα (στοιχεία εισόδου), κανείς θα πρέπει να εξετάσει τη δυνατότητα συγκέντρωσης των παραπάνω στοιχείων, που αποτελεί μία μεγάλη πρόκληση. Η Εθνική Στατιστική Υπηρεσία καθώς και η υπηρεσία της EUROSTAT είναι οι υπεύθυνοι για τη συγκέντρωση και την παροχή στατιστικών στοιχείων. Το ΑΕΠ, ο αριθμός των ανέργων, ο πληθυσμός, οι ΔΤΚ καθώς και η ποσότητα των εισαγωγών και εξαγωγών από ένα λιμένα σε χώρα του εξωτερικού είναι στοιχεία στα οποία μπορεί κανείς να έχει πρόσβαση. Από την άλλη πλευρά, το Υπουργείο Οικονομίας διαθέτει την επίσημη πρόβλεψη της κυβέρνησης για την τιμή του ΑΕΠ, του ΔΤΚ και της ανεργίας για τα επόμενα έτη. Τέλος όσον αφορά στον πληθυσμό, μπορεί κανείς εύκολα να έχει μία προβαλλόμενη στο χρόνο τιμή.

Τα νευρωνικά δίκτυα απαιτούν εύλογο αριθμό σημείων εισόδου για να εκπαιδευτούν σωστά. Το πρόβλημα που παρουσιάζεται στο σημείο αυτό είναι ότι η ΕΣΥΕ δεν διαθέτει στοιχεία διακίνησης ανάμεσα σε λιμένες του εσωτερικού και σε χώρες του εξωτερικού για τα έτη πριν το 1998. Τα στοιχεία 1998-2007 διατίθενται σε μηνιαία βάση, δεν δίνεται όμως ανάλυση του τύπου των προϊόντων. Επίσης, όλες οι ευρωπαϊκές τουλάχιστον στατιστικές υπηρεσίες, έχουν υποβληθεί σε υποχρεωτική αναθεώρηση των τιμών του ΑΕΠ και μέχρι τώρα έχουν δοθεί αναθεωρημένες τιμές μόνο για τα έτη 2000-2007. Οι τιμές του ΑΕΠ δίδονται σε ετήσια ή τριμηνιαία ανάλυση ενώ οι τιμές του ΔΤΚ σε μηνιαία βάση. Η ενιαία σειρά την οποία θα μπορούσε κανείς να χρησιμοποιήσει αφορά στα έτη 2000-2007.

Όμως, θα πρέπει κανείς να είναι ιδιαίτερα προσεκτικός καθότι οι τιμές του ΑΕΠ και των ΔΤΚ αφορούν στο σύνολο της χώρας, επομένως σ' αυτό το επίπεδο θα πρέπει να θεωρηθούν και οι εισαγωγές και εξαγωγές. Επιπλέον, τα είδη ευρείας κατανάλωσης δεν συμπεριλαμβάνονται στο ΔΤΚ, και προκειμένου να μην οδηγηθεί κανείς σε λάθος συμπεράσματα θα μπορούσε να γίνει χρήση των *ανταγωνιστικών ή διεθνών* τιμών της οικονομετρίας, οι οποίες όμως εδώ δεν ήταν διαθέσιμες. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι δεν αναπτύχθηκε κάποιο μοντέλο στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής για την πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης με χρήση νευρωνικών δικτύων, λόγω έλλειψης στατιστικών στοιχείων. Το γεγονός αυτό είναι σύνθηρες φαινόμενο για τους οικονομολόγους.

Οι εφαρμογές στον τομέα της πρόβλεψης απαιτούν την επεξεργασία χρονικά μεταβαλλόμενων πληροφοριών, όπως οι οικονομικές προβλέψεις κ.α. Για να αντιμετωπίσουν τα χρονικά μεταβαλλόμενα σήματα, οι τοπολογίες των νευρωνικών δικτύων πρέπει να ενισχυθούν με μηχανισμούς βραχείας μνήμης. Αυτή είναι πιθανώς η περιοχή όπου τα νευρωνικά δίκτυα θα μπορούν να παρέχουν ένα αδιαφιλονίκητο πλεονέκτημα, δεδομένου ότι άλλες τεχνικές απέχουν από ικανοποιητικά αποτελέσματα. Τα δυναμικά δίκτυα είναι μια πολύ σημαντική κατηγορία τοπολογίας νευρωνικών δικτύων που είναι σε θέση να επεξεργαστούν χρονικά μεταβαλλόμενα σήματα. Μπορούν να αντιμετωπισθούν ως επέκταση των στατικών νευρωνικών δικτύων στα χρονικά μεταβαλλόμενα στοιχεία εισόδου. Υπό αυτήν τη μορφή διασφαλίζουν μια όλο και περισσότερο σημαντική θέση στις εφαρμογές νευρωνικών δικτύων.

Από την άλλη πλευρά, ο στόχος είναι ο καθορισμός της ζήτησης και της προσφοράς που θα καθορίσουν την μεταφορική ικανότητα του πλοίου. Το πλοίο είναι μία επένδυση με διάρκεια ζωής 25 χρόνια κατά μέσο όρο. Μία πρόβλεψη της μελλοντικής κίνησης υπό τη μορφή χρονοσειράς (time series) (Palit, 2005;Hensen, 2003) χάνει την «αξιοπιστία» της μακροπρόθεσμα. Επομένως, η στήριξη της βελτιστοποίησης στη τιμή της πρόβλεψης ίσως να μην είναι η πιο ασφαλής μέθοδος. Σε κάθε περίπτωση απαιτείται ανάλυση των στοιχείων και έπειτα κρίση για την καταλληλότητα ή ακόμα την ανάγκη χρήσης κάποιας μεθόδου πρόβλεψης.

## 2.3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το πρώτο βήμα για τη σχεδίαση του μεταφορικού συστήματος είναι η ανάπτυξη μιας βάσης δεδομένων που αφορά στις ροές φορτίου μεταξύ των κόμβων λιμένων και ξηράς. Η πληροφορία αυτή προέρχεται από την εκτίμηση-ανάλυση της ζήτησης. Στοιχεία σχετικά με τις αντίστοιχες θαλάσσιες και χερσαίες αποστάσεις μπορεί κανείς να αντλήσει από την Dataloy ([www.dataloy.com](http://www.dataloy.com)) και το Autoroute ([www.autoroute.com](http://www.autoroute.com)), αντίστοιχα. Ο απαιτούμενος χρόνος για την οδική μεταφορά αποτελεί συνάρτηση της απόστασης που διανύεται και της ταχύτητας του οχήματος, λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες κυκλοφορίας στα οδικά δίκτυα αλλά και το χρόνο ξεκούρασης του οδηγού:

$$T_r = t \cdot d_r / V + t_r \quad [2.1]$$

όπου,

$t$ : συντελεστής κυκλοφορικής συμφόρησης

$T$ : ο χρόνος της οδικής μεταφοράς (h)

$d_r$ : η χερσαία απόσταση (km)

$V$ : η ταχύτητα του φορτηγού (km/h)

$t_r$ : χρόνος ξεκούρασης του οδηγού (h)

Ο χρόνος ξεκούρασης του οδηγού προκύπτει από ισχύουσες διατάξεις περί εργασιακών δικαιωμάτων και τους διεθνείς κανονισμούς ασφαλείας. Έτσι λοιπόν μετά τις πρώτες τέσσερις ώρες οδήγησης ο οδηγός ξεκουράζεται μία ώρα, ενώ οκτώ ώρες ύπνου ακολουθούν τις επόμενες τέσσερις ώρες οδήγησης.

Με βάση την παραπάνω βάση δεδομένων και το μεταφορικό σενάριο που εξετάζεται, διεξάγεται η χρονική ανάλυση της D2D υπηρεσίας, προκειμένου να αναπτυχθεί ένα χρονοδιάγραμμα για το πλοίο(α). Το αναπτυχθέν στα πλαίσια της Διδακτορικής Διατριβής Εργαλείο για την Ανάπτυξη του Μεταφορικού Συστήματος (Transport System Development Tool, TSD) προσδιορίζει την ελάχιστη ταχύτητα για το πλοίο(α), η οποία επιτρέπει την απαιτούμενη συχνότητα υπηρεσιών,  $N_s$  και ταυτόχρονα ικανοποιεί την D2D χρονική απαίτηση(ς) αποδίδοντας χρόνους αναμονής για την εξασφάλιση ενός σταθερού δρομολογίου, ανάλογα με την απαίτηση. Έτσι, υπολογίζεται το φορτίο εν πλω για κάθε χρονική στιγμή του ταξιδιού, το οποίο προκύπτει από το εκάστοτε μεταφορικό σενάριο, τις σχετικές ροές φορτίου, το περιθώριο ζήτησης καθώς και τον αριθμό των πλοίων,  $N_v$ .

Οι χρόνοι φορτοεκφόρτωσης σε κάθε λιμάνι στηρίζονται σε μία μέση τιμή για την ταχύτητα φορτοεκφόρτωσης και τον αριθμό των trailers:

$$T_p = N_t / t_h \quad [2.2]$$

όπου,

$T_p$ : ο χρόνος στο λιμάνι (h)

$t_h$ : η ταχύτητα φορτοεκφόρτωσης (trailers/ h)

$N_t$ : ο αριθμός των trailers

Ενώ οι χρόνοι ναυσιπλοΐας προκύπτουν από την παρακάτω εξίσωση:

$$T_s = t^*d_r/V_s + t_r \quad [2.3]$$

όπου,

$T_s$ : ο χρόνος ναυσιπλοΐας

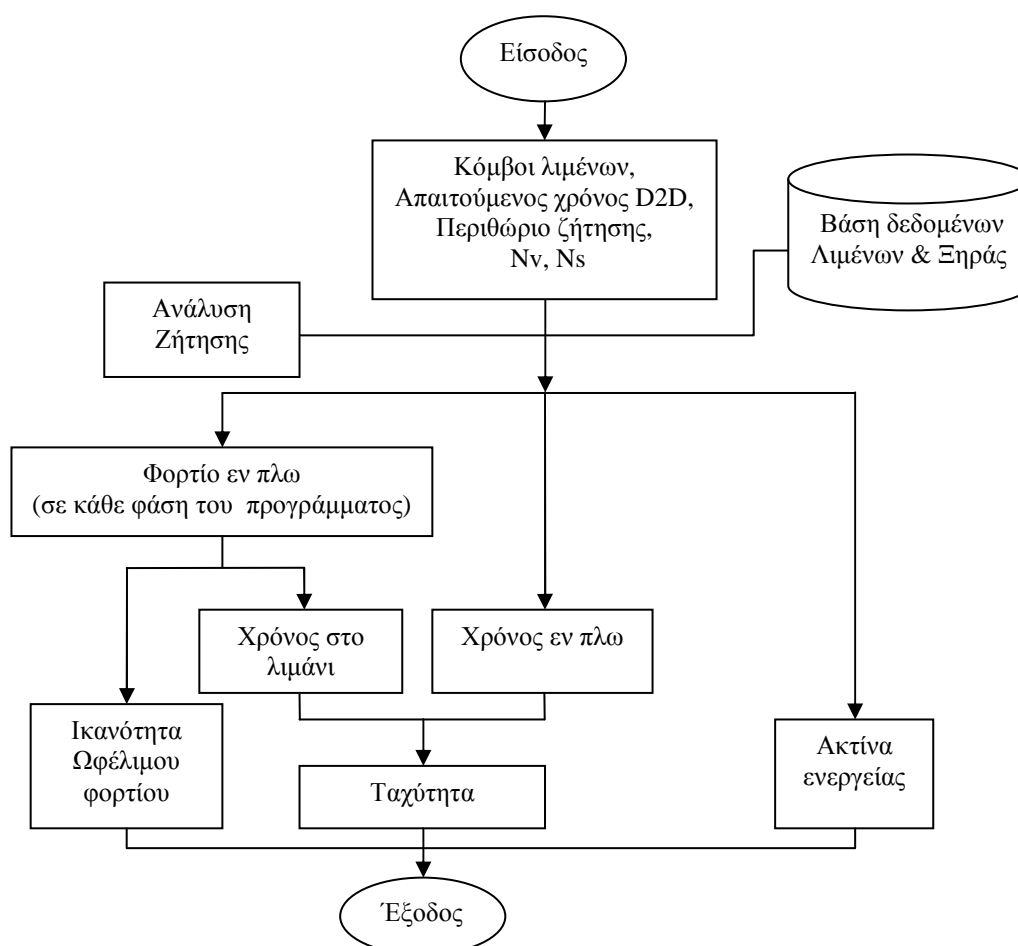
$t$ : συντελεστής κυκλοφορικής συμφόρησης

$d_s$ : η θαλάσσια απόσταση

$V_s$ : η ταχύτητα του πλοίου

$t_r$ : ο χρόνος χειρισμού στο λιμάνι

Τέλος, καθορίζεται η μεταφορική ικανότητα του πλοίου βάσει του μέγιστου φορτίου εν πλω. Κατά συνέπεια, σε περίπτωση δυσαναλογίας μεταξύ των εξαγωγών και των εισαγωγών, η χαμηλή επίδοση του ανωτέρω σεναρίου θα οδηγήσει, δια της βελτιστοποίησης, στην ανάθεση διαφορετικής πορείας για κάθε κατεύθυνση. Το εργαλείο TSD επιτρέπει τη διερεύνηση κάθε δυνατού συνδυασμού κόμβων προέλευσης-προορισμού, από την άποψη της πορείας αλλά και του αριθμού των λιμένων που περιλαμβάνονται σ' αυτή. Ταυτόχρονα, επιτρέπει τη διερεύνηση της επίπτωσης μιας πιθανής αύξησης/μείωσης στη ζήτηση. Στο σχήμα 2.2 δίνεται το διάγραμμα ροής του εργαλείου TSD.



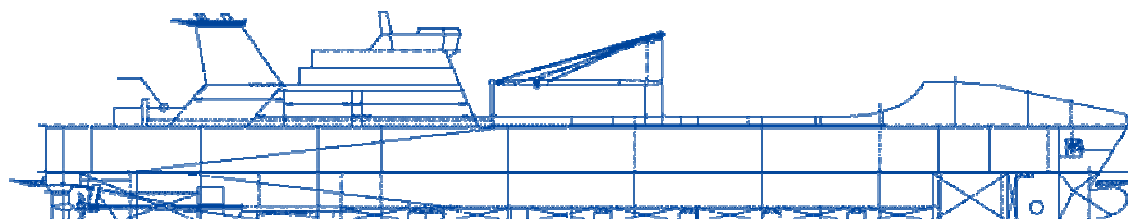
Σχήμα 2.2. Επισκόπηση του Εργαλείου Ανάπτυξης Μεταφορικού Συστήματος (TSD)

## 2.4 ΑΡΧΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΛΟΙΟΥ (ΤΕΧΝΗΤΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ)

Οι μεταβλητές σχεδίασης που αποτελούνται από τον τύπο πλοίου, την ταχύτητα  $V_s$ , το βύθισμα  $T$  και το μήκος των λωρίδων (LM). Το απαιτούμενο LM καθορίζεται από το μήκος του μέγιστου αριθμού των ρυμουλκούμενων οχημάτων εν πλω, που μπορεί να υπολογιστεί εύκολα από τη διαθέσιμη χωρητικότητα. Όσον αφορά στο βύθισμα, καθορίζεται ένα εύρος τιμών λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος του πλοίου και πιθανούς περιορισμούς από τους λιμένες προέλευσης/προορισμού. Οι μεταβλητές σχεδίασης, που βασίζονται στα επιλεγμένα σενάρια συστημάτων πλοίου, τροφοδοτούνται στο αναπτυγμένο Εργαλείο Βασικής Σχεδίασης (Basic Design Tool). Το εργαλείο αυτό είναι υπεύθυνο για τη μελέτη και βελτιστοποίηση της σχεδίασης του πλοίου.

### 2.4.1 ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η υπάρχουσα βάση δεδομένων τεχνικών στοιχείων πλοίων του Εργαστηρίου Μελέτης Πλοίου (ΕΜΠ) ([www.naval.ntua.gr/sdl](http://www.naval.ntua.gr/sdl)), παρέχει μια βιβλιοθήκη πληροφοριών υπαρχόντων πλοίων για τον σχεδιαστή.



Σχήμα 2.3. Τυπική Γενική Διάταξη πλοίου RoRo Ναυπηγείου FSG (LOGBASED)

Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει στοιχεία από 338 πλοία RoRo. Τα στοιχεία αυτά είναι:

- Η αρχική κλάση
- Η δεύτερη κλάση (αν υπάρχει)
- Το έτος κτήσης
- Η καθαρή χωρητικότητα (NT)
- Η ολική χωρητικότητα (GT)
- Το πρόσθετο βάρος (DWT)

- Το ολικό μήκος (Loa)
- Το μήκος μεταξύ καθέτων (Lbp)
- Το μέγιστο πλάτος (Bext)
- Το πλάτος (Bmid)
- Το μέγιστο βύθισμα (Tmax)
- Το κοίλο (D)
- Η ταχύτητα (Vs)
- Το εκτόπισμα ( $\Delta$ )
- Το TPC
- Το ύψος του πλοίου
- Το μήκος των λωρίδων
- Ο αριθμός των αυτοκινήτων
- Ο αριθμός των ρυμουλκούμενων οχημάτων
- Η χωρητικότητα E/K
- Ο αριθμός των επιβατών
- Ο αριθμός του πληρώματος
- Ο τύπος της κύριας μηχανής
- Η ισχύς της κύριας μηχανής
- Ο συνολικός αριθμός μηχανών
- Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς

Τα ανωτέρω σύνολα δεδομένων δεν είναι πλήρη και για τα 338 πλοία της προαναφερθείσας βάσης δεδομένων, καθώς ορισμένα από αυτά δεν ήταν διαθέσιμα, ενώ κάποια πλοία έχουν αποσυρθεί. Επομένως, επιχειρήθηκε φιλτράρισμα της παραπάνω βάσης δεδομένων, ενώ υπολογίστηκαν οι ακόλουθες παράγωγες ποσότητες:

- Ο λόγος L/B
- Ο λόγος L/D
- Ο λόγος B/T
- Ο συντελεστής Cb
- Ο λόγος  $LS/(L*B*D)$

Πίνακας 2.1. Εύρος βασικών παραμέτρων στη βάση δεδομένων RoRo (κατόπιν επεξεργασίας)

	Ελάχιστο	Μέγιστο
Έτος κτήσης	1971	2007
Ολική χωρητικότητα [rt]	2510	44171
Πρόσθετο βάρος [tn]	1542	42600
Μήκος μεταξύ Καθέτων [m]	70.8	233
Πλάτος (mid) [m]	12.81	32.28
Βύθισμα [m]	4.16	11.91
Κοίλο (mid) [m]	6.35	25.64
Ταχύτητα [kn]	11	22.7
Εκτόπισμα [tn]	2726	61182
Μήκος Λωρίδων [m]	234	4070

## 2.4.2 ΤΕΧΝΗΤΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (ΤΝΔ) ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΛΟΙΩΝ RORO

Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ) εκπαιδεύονται χρησιμοποιώντας βάσεις δεδομένων υπαρχόντων πλοίων, προκειμένου να προσδιοριστούν σχέσεις στα σύνολα δεδομένων, οι οποίες γενικεύονται στη συνέχεια σε άγνωστα στοιχεία. Για τις επιλεγμένες μεταβλητές σχεδίασης, το νευρωνικό δίκτυο δημιουργεί μια αρχική εκτίμηση για τις κύριες παραμέτρους του πλοίου.

Εντούτοις, η εκτίμηση του νευρωνικού δικτύου αποτελεί το πρώτο βήμα στην προκαταρκτική μελέτη και απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία για να πληροί τις απαιτήσεις σχεδίασης. Απαιτήσεις σχετικά με τη μεταφορική ικανότητα, την ευστάθεια, τη γραμμή φόρτωσης, την εγκατεστημένη ισχύ κ.λπ, αναμένεται να σταθεροποιήσουν τη σχεδίαση γύρω από το κατ' εκτίμηση σημείο. Η πρόκληση βρίσκεται στην ένταξη των νευρικών δικτύων στην προμελέτη του πλοίου. Ως εκ τούτου, έχει διεξαχθεί έρευνα για τον προσδιορισμό εκείνων των παραμέτρων σχεδίασης που θα διαμορφώσουν το διάνυμα εισόδου μιας ολοκληρωμένης διαδικασίας σχεδίασης καθώς και της ευρύτερης επιχειρησιακής έρευνας. Στην παρούσα έρευνα, η αρχιτεκτονική του αναπτυχθέντος νευρωνικού δικτύου έχει εξαχθεί σε MS Excel προκειμένου να ενσωματωθεί στο BDT που παρουσιάζεται σε ακόλουθη ενότητα (βλ. 2.5) και πραγματεύεται την μελέτη και βελτιστοποίηση πλοίου.

Ο ορισμός που προτείνεται από τον Kohonen για τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ΤΝΔ) είναι (Bishop, 1995; Fausett, 1994): "Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα είναι μαζικά, παράλληλα διασυνδεδεμένα δίκτυα απλών (συνήθως προσαρμόσιμων) στοιχείων καθώς και των ιεραρχικών οργανώσεων τους, τα οποία προορίζονται να αλληλεπιδράσουν με τον ίδιο τρόπο όπως το βιολογικό νευρικό σύστημα". Η ομοιότητά τους με το αντίστοιχο βιολογικό νευρικό σύστημα του εγκεφάλου έγκειται στην αποθήκευση της αποκτηθείσας γνώσης, ενώ η γνώση αποκτάται μέσω μιας διαδικασίας εκμάθησης. Δύο από τα κύρια χαρακτηριστικά των ΤΝΔ είναι η ικανότητά τους να μαθαίνουν από παραδείγματα και η αντοχή τους σε θόρυβο και βλάβη στα συστατικά τους. Τα συστήματα Τεχνητής Νοημοσύνης χρησιμοποιούν αρχές από τη Θεωρία της Ασάφειας (Fuzzy Logic) και τη Θεωρία του Χάους (Chaos Theory) και κάνουν χρήση πολύ εξειδικευμένων και εξελιγμένων αλγορίθμων για να δώσουν απαντήσεις σε προβλήματα που ανήκουν στις παραπάνω κατηγορίες. Βασικότερο πλεονέκτημα των ΤΝΔ είναι η μη γραμμικότητά τους καθώς τα περισσότερα προβλήματα είναι μη γραμμικά.

Τα ΤΝΔ μοντελοποιήθηκαν με βάση το μηχανισμό του εγκεφάλου (Hertz, 1991). Ένα νευρωνικό δίκτυο αποτελείται από έναν αριθμό από απλά στοιχεία επεξεργασίας τα οποία καλούνται κόμβοι, μονάδες, στοιχεία βραχείας μνήμης ή νευρώνες. Αυτά μοντελοποιούνται πάνω στο βιολογικό νευρικό σύστημα και εκτελούν διαδικασίες επεξεργασίας τοπικών πληροφοριών. Ένας νευρώνας έχει ένα στοιχείο εξόδου και περισσότερα από ένα στοιχεία εισόδου τα οποία θα μπορούσαν να είναι δικά του στοιχεία εξόδου ή άλλων νευρώνων ή στοιχεία εισόδου από εξωτερικούς μηχανισμούς. Οι νευρώνες συνδέονται μεταξύ τους με σταθμισμένες συνδέσεις, όπου το βάρος μιας σύνδεσης καθορίζει την επίδραση του στοιχείου εξόδου του ενός νευρώνα στο άλλο. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί μέρος της μνήμης μακράς διάρκειας σ' ένα νευρωνικό δίκτυο.

Αφού τα στοιχεία εισόδου ληφθούν από ένα νευρώνα, εφαρμόζεται μια λειτουργία προεπεξεργασίας, το προϊόν της οποίας παράγει το τελικό στοιχείο εξόδου του νευρώνα, μέσω μιας συνάρτησης που καλείται συνάρτηση ενεργοποίησης. Ανάλογα με το πρόβλημα, χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι τέτοιων συναρτήσεων ενεργοποίησης. Οι βασικότερες συναρτήσεις ενεργοποίησης που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των νευρωνικών δικτύων είναι:

- Η συνάρτηση ενεργοποίησης BiasAxon. Στη συνάρτηση αυτή προστίθεται ένας σταθερός όρος (bias). Η συνάρτηση έχει τη μορφή:



$$f(x_i, w_i) = x_i + w_i \quad [2.4]$$

- Η συνάρτηση ενεργοποίησης GaussianAxon. Το εύρος της συνάρτησης ελέγχεται από το παράγοντα  $\beta$ . Η συνάρτηση έχει τη μορφή:

$$f(x_i, w_i) = \exp\left[-\beta_i (x_i + w_i)^2\right] \quad [2.5]$$

- Η συνάρτηση ενεργοποίησης LinearAxon. Η κλίση της συνάρτησης ελέγχεται από το παράγοντα  $\beta$ . Η συνάρτηση έχει τη μορφή:

$$f(x_i, w_i) = \beta x_i + w_i \quad [2.6]$$

- Η συνάρτηση ενεργοποίησης LinearSigmoidAxon. Στη συνάρτηση ισχύει  $x_i^{lin} = \beta x_i$ . Η συνάρτηση έχει τη μορφή:

$$f(x_i, w_i) = \begin{cases} 0 & \alpha v & x_i^{lin} < 0 \\ 1 & \alpha v & x_i^{lin} > 1 \\ x_i^{lin} & \alpha v & \end{cases} \quad [2.7]$$

- Η συνάρτηση ενεργοποίησης LinearTanhAxon. Στη συνάρτηση ισχύει  $x_i^{lin} = \beta x_i$ . Η συνάρτηση έχει τη μορφή:

$$f(x_i, w_i) = \begin{cases} -1 & \alpha v & x_i^{lin} < -1 \\ 1 & \alpha v & x_i^{lin} > 1 \\ x_i^{lin} & \alpha \lambda \lambda \acute{o} & \end{cases} \quad [2.8]$$

- Η συνάρτηση ενεργοποίησης SigmoidAxon. Στη συνάρτηση ισχύει  $x_i^{lin} = \beta x_i$ . Η συνάρτηση έχει τη μορφή:

$$f(x_i, w_i) = \frac{1}{1 + \exp\left[-x_i^{lin}\right]} \quad [2.9]$$

- Η συνάρτηση ενεργοποίησης SoftmaxAxon. Στη συνάρτηση ισχύει  $x_i^{lin} = \beta x_i$ . Η συνάρτηση έχει τη μορφή:

$$f(x_i, w_i) = \frac{\exp\left[x_i^{lin}\right]}{\sum_j \exp\left[x_j^{lin}\right]} \quad [2.10]$$

- Η συνάρτηση ενεργοποίησης TanhAxon. Στη συνάρτηση ισχύει  $x_i^{lin} = \beta x_i$ . Η συνάρτηση έχει τη μορφή:

$$f(x_i, w_i) = \tanh[x_i^{lin}] \quad [2.11]$$

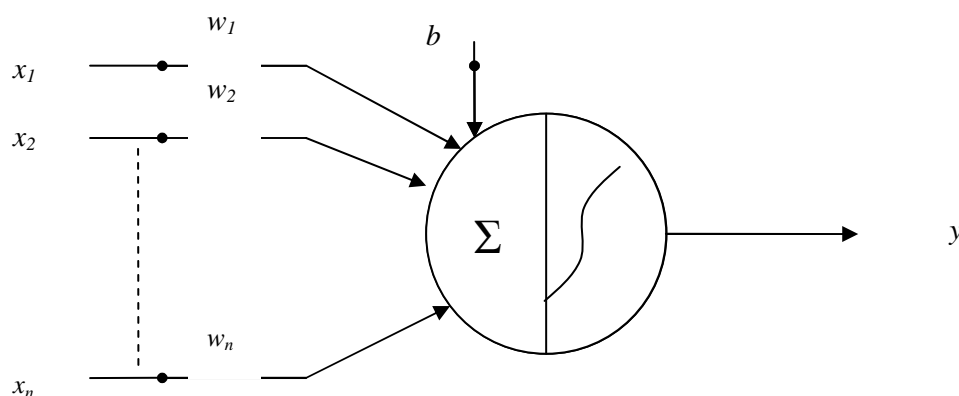
- Η συνάρτηση ενεργοποίησης ThresholdAxon. Στη συνάρτηση ισχύει  $x_i^{lin} = \beta x_i$ . Η συνάρτηση έχει τη μορφή:

$$f(x_i, w_i) = \begin{cases} -1 & \text{αν } x_i^{bias} < 0 \\ 1 & \text{αλλιού} \end{cases} \quad [2.12]$$

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός νευρώνα είναι τα εξής:

- Τα συναπτικά βάρη,  $w$ . Το βάρος μιας σύνδεσης καθορίζει την επίδραση του στοιχείου εξόδου του ενός νευρώνα στο άλλο
- Ο αθροιστής, ο οποίος στην έξοδο του δίνει το άθροισμα των σταθμισμένων εισόδων.
- Η συνάρτηση ενεργοποίησης,  $f$ . Από αυτή περνά η έξοδος του αθροιστή και δίνει τελική έξοδο ανάλογα με τον τύπο της συνάρτησης που επιλέχθηκε.
- Ένας σταθερός όρος,  $b$ . Πρόκειται για δευτερεύουσα παράμετρο του συστήματος.

Η σχηματική απεικόνιση ενός νευρώνα φαίνεται στο σχήμα 2.4:



Σχήμα 2.4. Σχηματική Αναπαράσταση ενός Τεχνητού Νευρώνα με  $n$  μεταβλητά βάρη εισόδου και μια σταθερή είσοδο.

Η έξοδος των νευρώνων καθορίζεται από την συνάρτηση ενεργοποίησης και έχει την παρακάτω γενική μορφή:

$$y = f\left(\sum_1^n x_i w_i + b\right) \quad [2.13]$$

όπου:

$y$ : η έξοδος

$x_i$ : η είσοδος  $i$

$w_i$ : το βάρος της εισόδου  $i$

$\Sigma$ : ο αθροιστής

$f$ : η συνάρτηση ενεργοποίησης

Τα ΤΝΔ χρησιμοποιούν διάφορα μοντέλα που διαφοροποιούνται ως προς τα ειδικά χαρακτηριστικά τους. Η αρχιτεκτονική ενός δικτύου καθορίζεται από τη φύση των συνδέσεων ανάμεσα στους νευρώνες. Έτσι, τα ΤΝΔ κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την αρχιτεκτονική τους. Όταν επιτρέπεται απρόσκοπτα η ροή της πληροφορίας και προς τις δύο κατευθύνσεις του δικτύου, τότε ονομάζεται παλίνδρομο δίκτυο (recurrent network). Στην περίπτωση που η ροή της πληροφορίας επιτρέπεται μόνο στην κατεύθυνση από την είσοδο προς την έξοδο του νευρώνα τότε το δίκτυο ονομάζεται δίκτυο πρόδρασης (feedforward network).

Ο κανόνας εκμάθησης ορίζει πώς οι δυνάμεις των συνδέσεων προσαρμόζονται ή εκπαιδεύονται για να επιτύχουν την επιθυμητή συνολική συμπεριφορά του δικτύου. Επομένως εκπαίδευση είναι η διαδικασία κατά την οποία οι παράμετροι του δικτύου (τα βάρη) λαμβάνουν τις βέλτιστες τιμές τους. Τα απαραίτητα στοιχεία για την εκμάθηση είναι η είσοδος, η επιθυμητή έξοδος, ο ορισμός του σφάλματος (διαφορά μεταξύ επιθυμητής τιμής και αποτελέσματος δικτύου) και ο κανόνας εκμάθησης. Το σφάλμα συνήθως ορίζεται διαμέσου μιας συνάρτησης κόστους. Στο ΤΝΔ εισάγεται μια είσοδος με αποτέλεσμα μια έξοδο  $y'$  διαφορετική από την  $y$ . Η διαφορά των δύο,  $y' - y$ , τείνει να ελαχιστοποιηθεί μέσω του αλγόριθμου εκπαίδευσης, βάσει του οποίου τροποποιούνται οι βασικές παράμετροι του δικτύου. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλο το πλήθος των ζευγών, μέχρι το σφάλμα να φτάσει κάποια επιθυμητή τιμή.

Ο πιο δημοφιλής κανόνας εκμάθησης είναι ο αλγόριθμος ανάστροφης μετάδοσης (backpropagation) ενώ ο αλγόριθμος backpropagation momentum, χρησιμοποιείται συχνά λόγω της αποδοτικότητάς του. Όσο πιο υψηλή είναι η τιμή του παράγοντα

momentum τόσο πιο ομαλή γίνεται η εκτίμηση της κλίσης και τόσο μικρότερη είναι η επίδραση της μεταβολής της κλίσης στην αλλαγή των βαρών. Το κύριο πλεονέκτημα είναι η αποφυγή τοπικού ελάχιστου, όμως αν τεθεί πολύ υψηλή τιμή οδηγούμαστε σε ταλαντώσεις. Η εξίσωση μεταβολής των βαρών του αλγόριθμου έχει τη μορφή:

$$\Delta w_i(n+1) = \eta_i \nabla w_i + \rho \Delta w_i(n) \quad [2.14]$$

όπου:

$\Delta w_i(n+1)$ : η τρέχουσα μεταβολή του βάρους  $i$

$\Delta w_i(n)$ : η προηγούμενη μεταβολή του βάρους  $i$

$\eta_i$ : ο ρυθμός εκπαίδευσης

$\rho$ : ο παράγοντας momentum

$w_i$ : το βάρος  $i$

$\nabla w_i$ : το ανάδελτα μεταβολής του βάρους  $i$

Ένα σημαντικό θέμα για την εκπαίδευση ενός ΤΝΔ είναι ο ορισμός των αρχικών τιμών των βαρών. Λόγω έλλειψης a priori γνώσης των βέλτιστων τιμών για τα βάρη, η συνήθης πρακτική είναι να επιλέγονται τυχαίες τιμές. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται γεννήτριες τυχαίων αριθμών ομοιόμορφης κατανομής. Η διακύμανση των αρχικών τιμών των βαρών συνήθως ρυθμίζεται κατά τρόπο τέτοιο ώστε να αποφεύγονται πολύ μεγάλες τιμές αλλά και πολύ μικρές που δημιουργούν προβλήματα στην εκπαίδευση αλλά και τη σύγκλιση.

Όσον αφορά στον ορισμό του σφάλματος, χρησιμοποιούνται διάφορες συναρτήσεις κόστους όπως ο μέσος όρος του αθροίσματος των τετραγώνων των σφαλμάτων του δικτύου (MSE - Mean Squared Error) αλλά και άλλα κριτήρια όπως το NMSE (Normalized Mean Squared Error), το % Error, το AIC (Akaike's Information Criterion) και το MDL (Minimum Description Length).

Ειδικότερα, το κριτήριο MSE ορίζεται από τη σχέση:

$$MSE = \frac{1}{N} \frac{\sum_{j=0}^P \sum_{i=0}^N (d_{ij} - y_{ij})^2}{P} \quad [2.15]$$

όπου:

$P$  : ο αριθμός των νευρώνων εξόδου.

$N$  : ο αριθμός των δειγμάτων στη βάση δεδομένων.

$y_{ij}$  : η έξοδος του ΤΝΔ για το δείγμα  $i$  στο νευρώνα  $j$ .

$d_{ij}$  : η επιθυμητή έξοδος του ΤΝΔ για το δείγμα  $i$  στο νευρώνα  $j$ .

Το κριτήριο NMSE ορίζεται από τη σχέση:

$$NMSE = \frac{P \cdot N \cdot MSE}{\sum_{j=0}^P \frac{N \sum_{i=0}^N d_{ij}^2 - \left( \sum_{i=0}^N d_{ij} \right)^2}{N}} \quad [2.16]$$

όπου:

$P$  : ο αριθμός των νευρώνων εξόδου.

$N$  : ο αριθμός των δειγμάτων στη βάση δεδομένων.

$MSE$  : το μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

$d_{ij}$  : η επιθυμητή έξοδος του ΤΝΔ για το δείγμα  $i$  στο νευρώνα  $j$ .

Το ποσοστό σφάλματος (%Error) ορίζεται από τη σχέση:

$$\%Error = \frac{100}{N \cdot P} \sum_{j=0}^P \sum_{i=0}^N \frac{|dy_{ij} - dd_{ij}|}{dd_{ij}} \quad [2.17]$$

όπου:

$P$  : ο αριθμός των νευρώνων εξόδου.

$N$  : ο αριθμός των δειγμάτων στη βάση δεδομένων.

$dy_{ij}$  : η αποκανονικοποιημένη έξοδος του ΤΝΔ για το δείγμα  $i$  στο νευρώνα  $j$ .

$dd_{ij}$  : η επιθυμητή αποκανονικοποιημένη έξοδος του ΤΝΔ για το δείγμα  $i$  στο νευρώνα  $j$ .

Το κριτήριο AIC ορίζεται από τη σχέση:

$$AIC(k) = N \ln(MSE) + 2k \quad [2.18]$$

όπου:

$k$  : ο αριθμός των βαρών του ΤΝΔ.

$N$  : ο αριθμός των δειγμάτων στη βάση δεδομένων.

$MSE$  : το μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

Το κριτήριο MDL ορίζεται από τη σχέση:

$$MDL(k) = N \ln(MSE) + 0.5k \ln(N) \quad [2.19]$$

όπου:

$k$  : ο αριθμός των βαρών του ΤΝΔ.

$N$  : ο αριθμός των δειγμάτων στη βάση δεδομένων.

$MSE$  : το μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

Για την εκπαίδευση των ΤΝΔ χρησιμοποιούνται κριτήρια τερματισμού της διαδικασίας. Το πλέον ορθό είναι η χρήση της τεχνικής cross validation. Η τεχνική υπολογίζει το σφάλμα σε ένα σύνολο δεδομένων ελέγχου παράλληλα με τη διαδικασία εκπαίδευσης. Το συγκεκριμένο σύνολο των δεδομένων ελέγχου ονομάζεται cross validation set. Το MSE κατά τη διαδικασία της εκπαίδευσης μειώνεται στα δεδομένα εκπαίδευσης όπως συμβαίνει αρχικά και στο cross validation set. Από ένα σημείο και μετά το σφάλμα στο cross validation set αρχίζει να αυξάνεται. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει γιατί το δίκτυο αποστηθίζει το πρότυπο των σχέσεων που διέπει την εξαρτημένη με τις ανεξάρτητες μεταβλητές στα δεδομένα του training set και αδυνατεί να γενικεύσει σε άγνωστα δεδομένα εκτός εκπαίδευσης (overfitting).

Το Νευρωνικό Δίκτυο που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής για την αρχική εκτίμηση των βασικών παραμέτρων του πλοίου, έχει βασισθεί σε μία βάση δεδομένων από 183 πλοία RoRo.

Συγκεκριμένα, το διάλυμα εισόδου περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

- Δείκτης έτους κτήσης
- Βύθισμα
- Ταχύτητα
- Μήκος Λωρίδων

Τα εύρη τιμών για τα χρησιμοποιούμενα κύρια χαρακτηριστικά είναι:

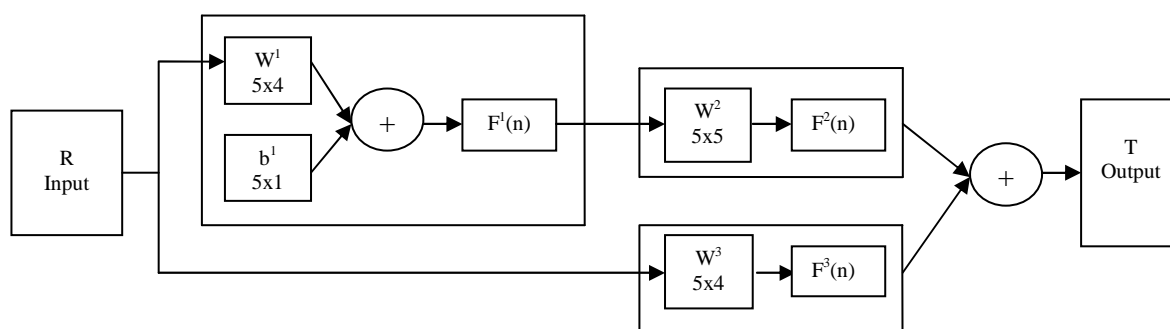
- Έτος κτήσης 1992-2006 (δείκτης 0, 1 και 2)
- Βύθισμα από 4.16 μέχρι 11.91m

- Ταχύτητα από 11 μέχρι 22.7 kn
- Μήκος Λωρίδων από 234 μέχρι 4070 m

Το δε διάνυσμα εξόδου περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

- Πρόσθετο Βάρος
- Μήκος μεταξύ Καθέτων
- Πλάτος
- Κοίλο
- Εκτόπισμα

Δεδομένου του προβλήματος, το νευρωνικό δίκτυο που εκπαιδεύτηκε είναι ένα δίκτυο generalized feedforward. Πιο συγκεκριμένα, στο κρυφό στρώμα, που αποτελείται από 5 νευρώνες, εφαρμόστηκαν η συνάρτηση μεταφοράς tanhaxon και ο κανόνας εκμάθησης momentum. Επίσης, στο στρώμα εξόδου εφαρμόστηκαν η συνάρτηση μεταφοράς axon και ο κανόνας εκμάθησης momentum. Το παραπάνω μοντέλο νευρωνικού δικτύου αποδείχτηκε κατάλληλο για τη φύση του προβλήματος και τα δεδομένα. Επιπλέον τεχνικές όπως cross validation αλλά και η προεπεξεργασία των δεδομένων εξασφάλισαν την υψηλή απόδοση του δικτύου. Η τοπολογία του νευρωνικού δικτύου παρουσιάζεται στο σχήμα 2.5, ενώ τα βάρη και οι σταθερές δίνονται στο Παράρτημα Β. Τέλος, στο Παράρτημα Γ δίνονται η τοπολογία και τα βάρη των νευρωνικών δικτύων που έχουν αναπτυχθεί στα πλαίσια της παρούσας διατριβής για πλοία General cargo και Bulk Carrier.

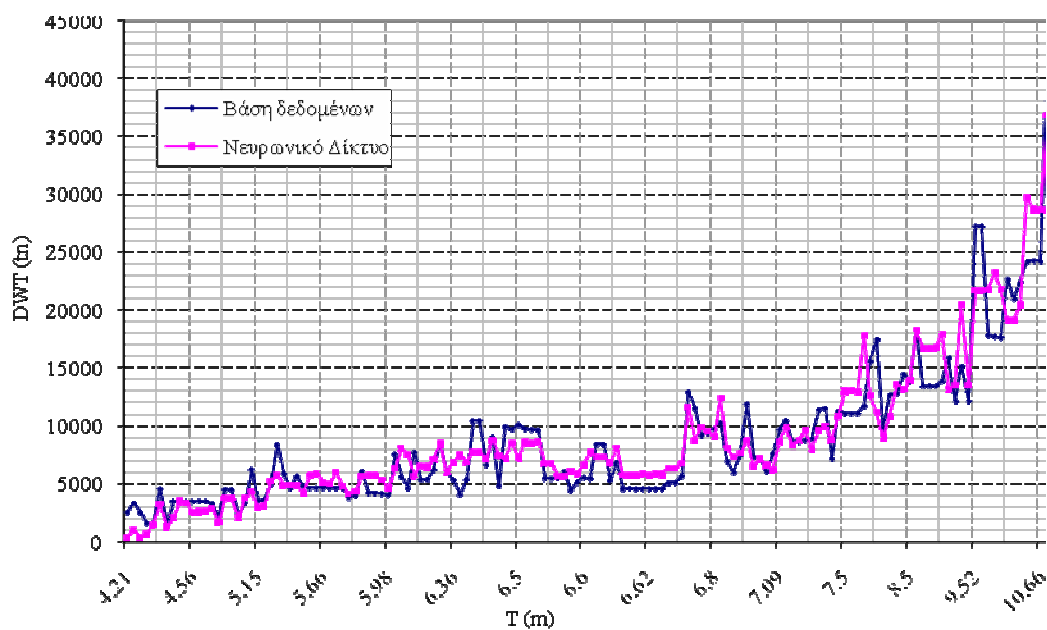


Σχήμα 2.5. Τοπολογία ΤΝΔ για την εκτίμηση βασικών παραμέτρων πλοίων RoRo

Πίνακας 2.2. Σφάλμα ΤΝΔ για την εκτίμηση βασικών παραμέτρων πλοίων RoRo

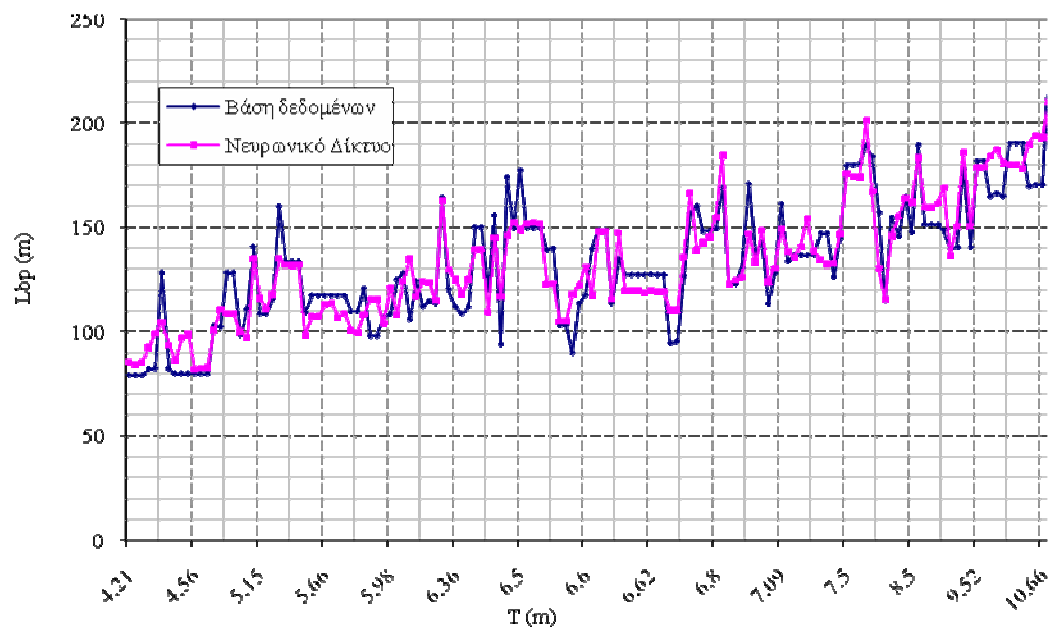
Cross Validation	
MSE	0.024130646207
N MSE	0.246148038316
r	0.897480868208
% Error	13.899944356211
Train Set	
MSE	0.022131832591
N MSE	0.159565229771
r	0.907385859335
% Error	12.043583304904

Το σφάλμα, όπως φαίνεται από τα παραπάνω κριτήρια (Πίνακας 2.2), βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα. Αυτό επιβεβαιώνει την αρχική επιλογή των μεταβλητών εισόδου και της τοπολογίας του ΤΝΔ.

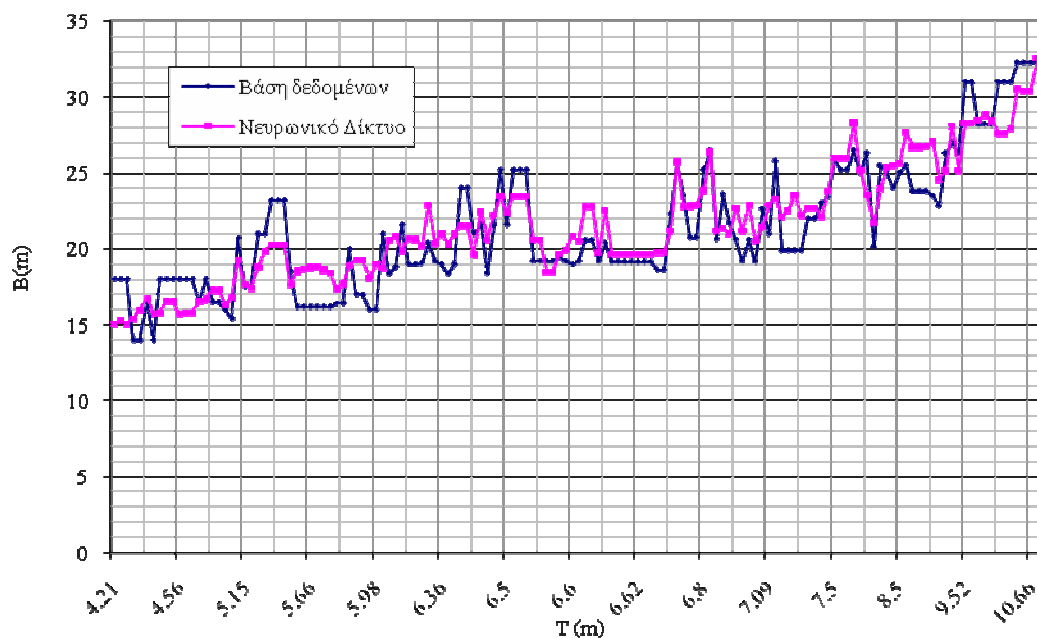


Σχήμα 2.6. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου T προς στοιχείο εξόδου DWT

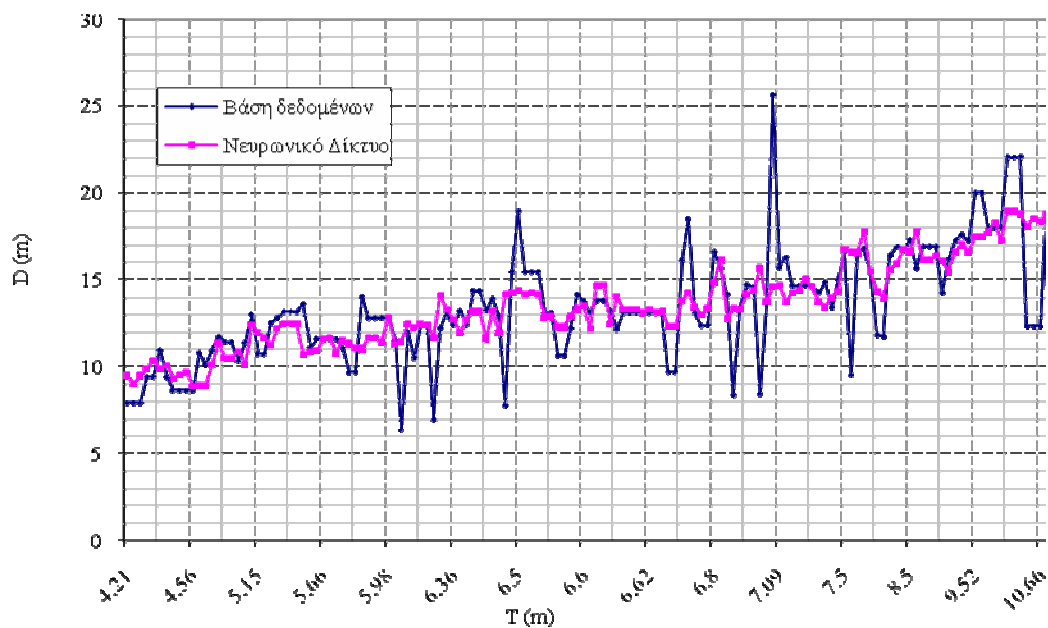




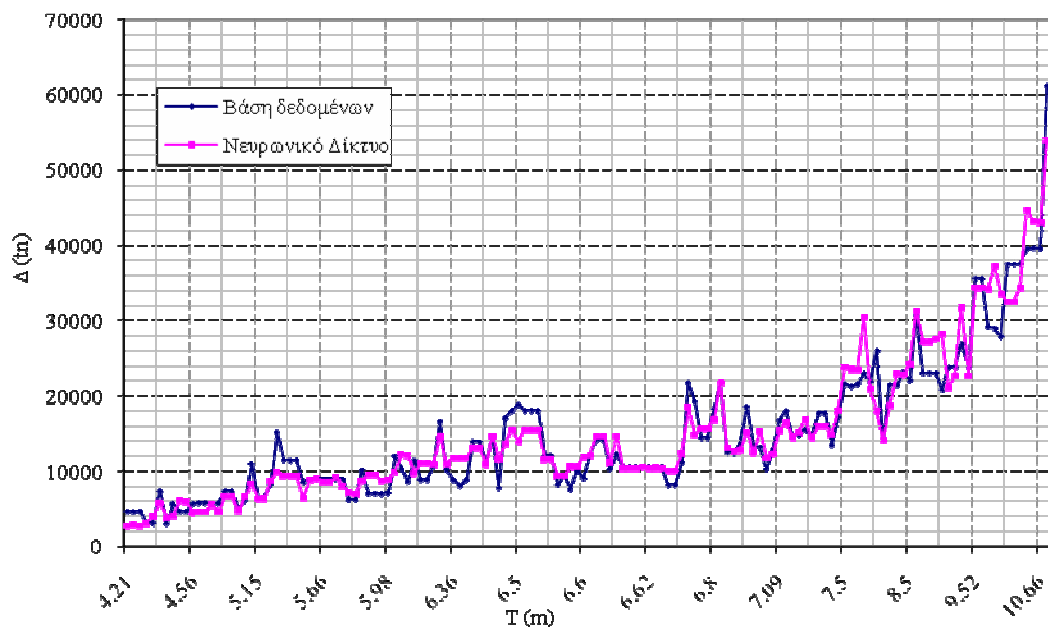
Σχήμα 2.7. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου T προς στοιχείο εξόδου Lbp



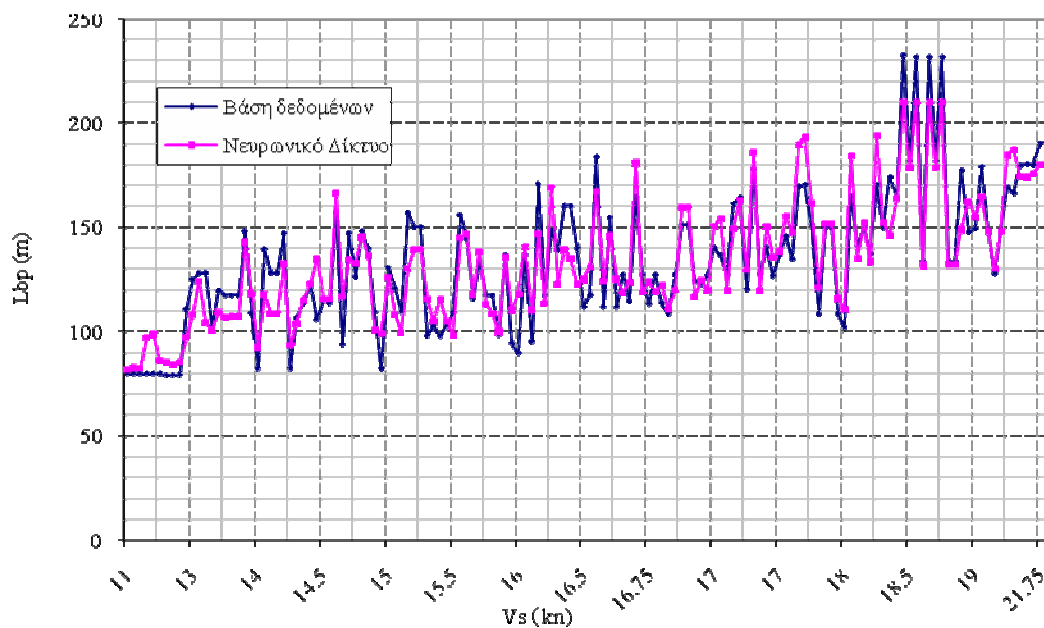
Σχήμα 2.8. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου T προς στοιχείο εξόδου B



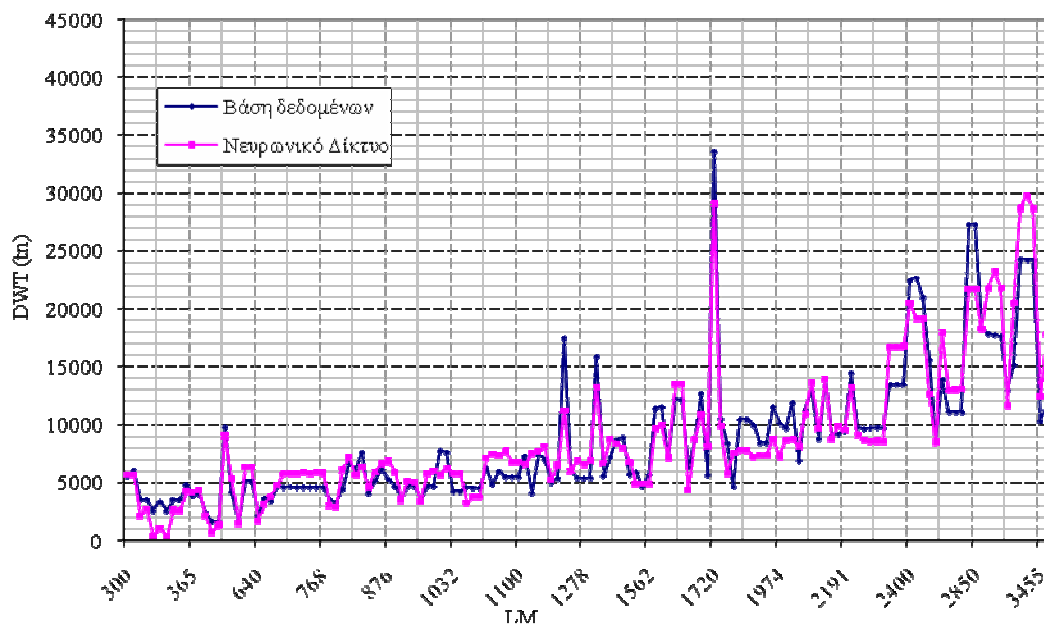
Σχήμα 2.9. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου Τ προς στοιχείο εξόδου D



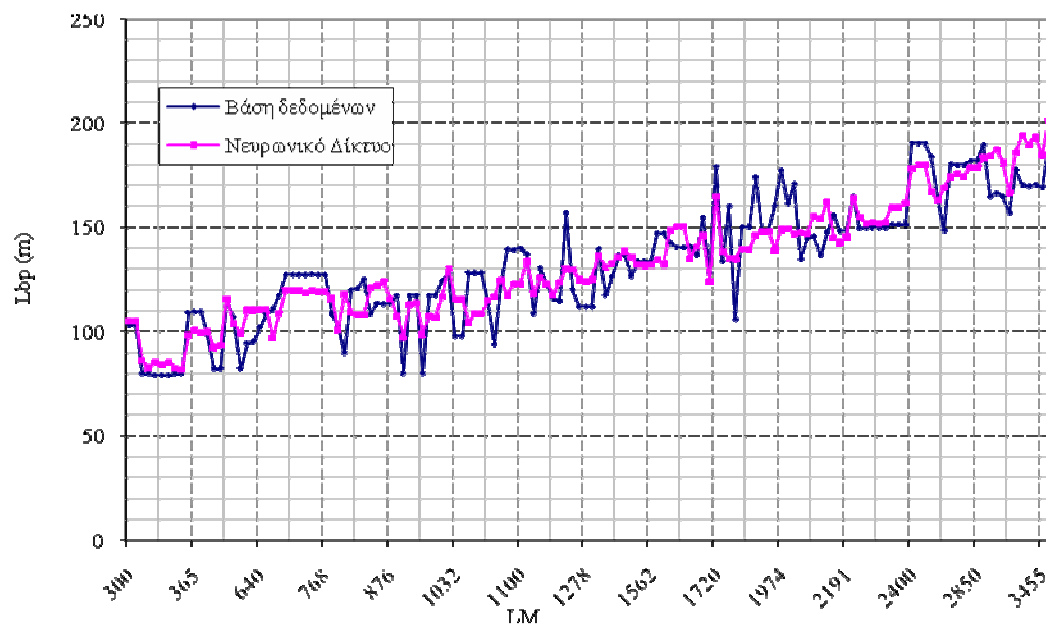
Σχήμα 2.10. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου Τ προς στοιχείο εξόδου Δ



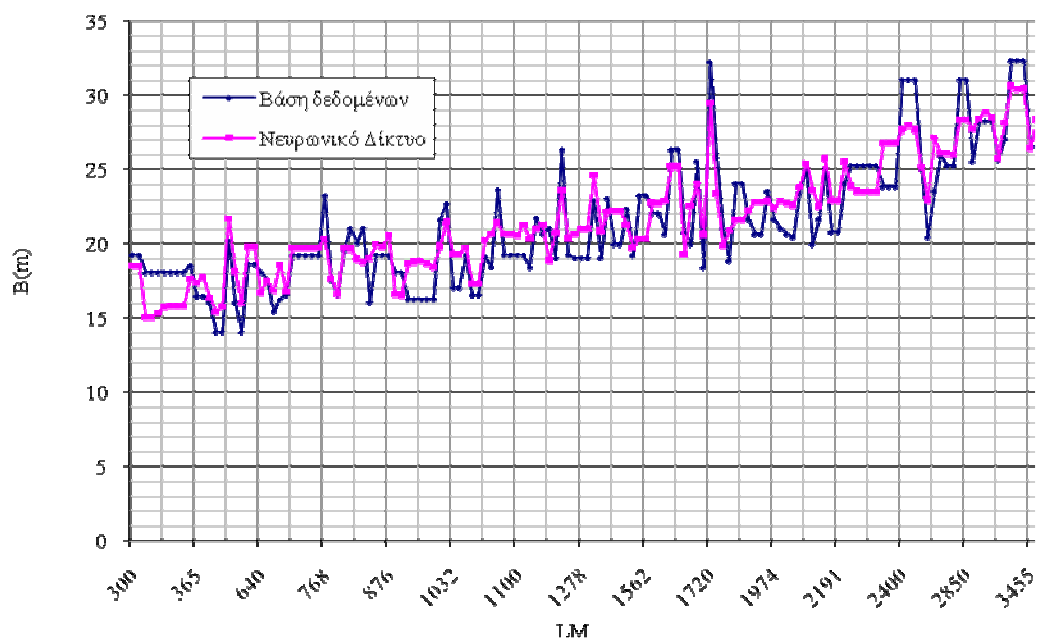
Σχήμα 2.11. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου Vs προς στοιχείο εξόδου Lbp



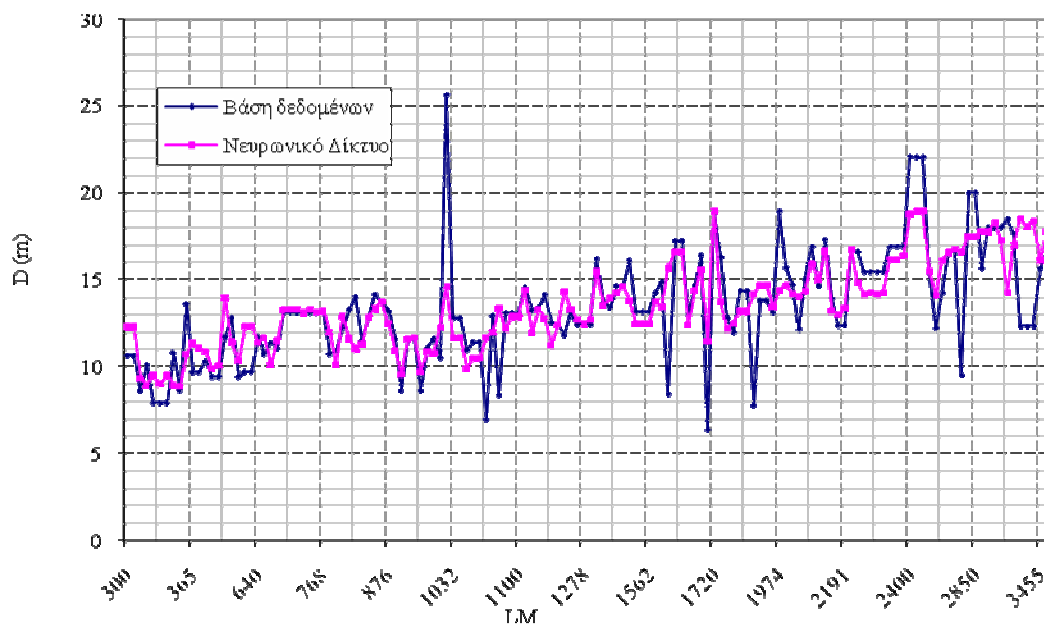
Σχήμα 2.12. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου LM προς στοιχείο εξόδου DWT



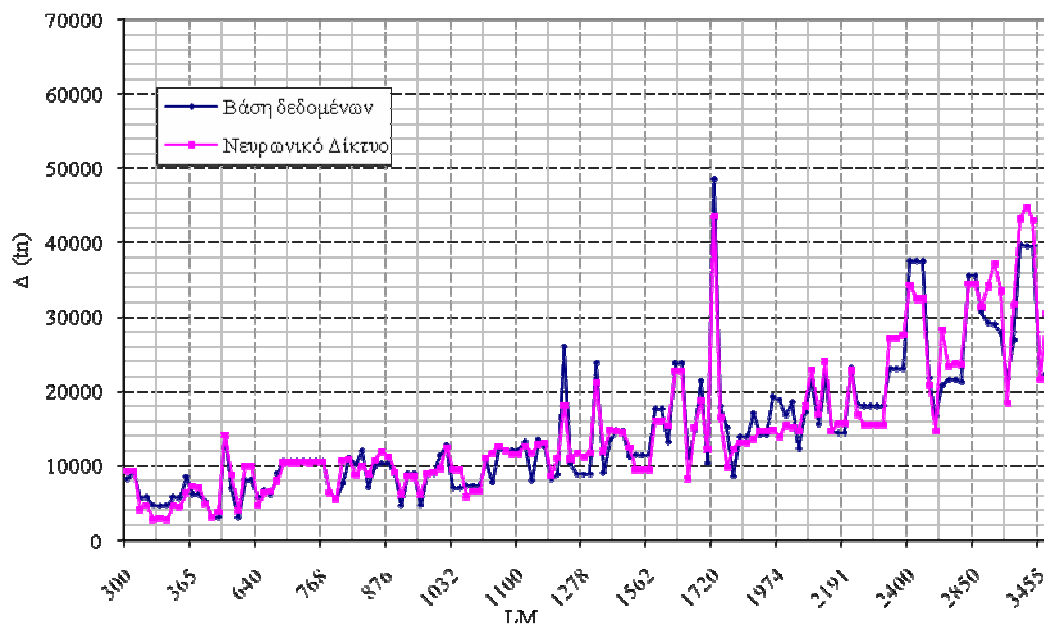
Σχήμα 2.13. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου LM προς στοιχείο εξόδου Lbp



Σχήμα 2.14. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου LM προς στοιχείο εξόδου B



Σχήμα 2.15. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου LM προς στοιχείο εξόδου D



Σχήμα 2.16. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου LM προς στοιχείο εξόδου Δ

## 2.5 ΒΑΣΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΟΙΟΥ

Ξεκινώντας από τις βασικές απαιτήσεις αναφορικά με την μεταφορική ικανότητα, την ταχύτητα, την ακτίνα ενεργείας, το μήκος των λωρίδων, τον περιορισμό βυθίσματος και την εκτίμηση του νευρωνικού δικτύου για τις βασικές παραμέτρους, μια αυτοματοποιημένη βασική μελέτη πραγματοποιείται για κάθε σενάριο σχεδίασης πλοίου. Το αναπτυχθέν εργαλείο για την Βασική Μελέτη (Basic Design Tool BDT) αποτελεί κατ' ουσίαν προσομοίωση της παραδοσιακής διαδικασίας βασικής μελέτης του πλοίου (Schneekluth, 1987, Lewis, 1989).

### 2.5.1 ΒΑΡΟΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Πρότυπες μεθοδολογίες της ναυπηγικής χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της κατανομής του βάρους του κενού πλοίου (Lightship Distribution). Ειδικότερα, το βάρος μεταλλικής κατασκευής ( $W_{ST}$ ) εκτιμήθηκε με βάση την ημιεμπειρική μέθοδο του Schneekluth (1985) ως προς το βάρος έως το κύριο κατάστρωμα και χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των Müller-Köster (1973) για τις υπερκατασκευές. Οι παραπάνω μέθοδοι έχουν αποδειχθεί λίαν επιτυχείς στην πράξη. Για την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων, έγινε προσαρμογή των σχετικών συντελεστών στον συγκεκριμένο τύπο πλοίου.

Ο όγκος κάτωθεν του κυρίου καταστρώματος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$V_U = V_D + V_S + V_b + V_H \quad [2.20]$$

Ο όγκος ως το κοίλο  $V_D$  προκύπτει από τη σχέση:

$$V_D = L * B * D * C_{BD} \quad [2.21]$$

όπου,

$$C_{BD} = C_B + C_1 * ((D-T)/T) * (1 - C_B) \quad [2.22]$$

όπου,  $C_1 \sim 0.40$  για πλοία μη έχοντα μικρό άνοιγμα νομέων υπεράνω της ισάλου

Η αύξηση του όγκου λόγω κυρτότητας καταστρώματος  $V_b$  είναι:

$$V_b = L * B * b * C_3 \quad [2.23]$$

όπου,

$$C_3 = 0.7 * C_{BD} \quad [2.24]$$

Ενώ η αύξηση του όγκου λόγω σιμότητας θεωρήθηκε μηδενική.

Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής χωρίς τις υπερκατασκευές  $W_{ST}$  (tn) δίνεται συναρτήσει του όγκου  $V_U$  (m<sup>3</sup>):

$$W_{ST} = V_U \cdot C_{ST} \cdot [1+0.033(L/D-12)] \cdot [1+0.06(n-D/D_0)] \cdot [1+0.05(1.85-B/D)] \cdot [1+0.2(T/D-0.85)] \cdot [0.92+(1-C_{BD})^2] \cdot [1+0.75 C_{BD} (C_M-0.98)] \quad [2.25]$$

όπου,

$$D_0=4$$

Ο οποίος λόγω ύπαρξης βολβού προσαυξάνεται με το συντελεστή 1.006

Επιπλέον, για το βάρος των υπερκατασκευών θεωρήθηκε πρότυπη υπερκατασκευή σύμφωνα με γενικές διατάξεις πλοίων RoRo η οποία μεταβάλλεται παραμετρικά ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου.

Το βάρος κάθε τμήματος υπερστεγάσματος προκύπτει από τον τύπο:

$$W_{DH} = C_{DH} \cdot A_m \cdot h \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \quad [2.26]$$

όπου,

$C_{DH}$  [kr/m<sup>3</sup>] : ο ογκομετρικός συντελεστής βάρους

AO/AU	I	II	III	IV
1	57	55	52	53

$A_m$  : μ.ο επιφανειών

$$A_m = 0.5(A_0 + A_U) \quad [2.27]$$

$h$  : ύψος στεγάσματος

	I	II	III	IV
$h$	5.75	2.8	2.8	2.8

$k_1, k_2, k_3$  : διορθώσεις

$k_1$  : διόρθωση για μήκος στεγάσματος διάφορο του 2.6 m

$$k_1 = 1 + 0.02(h - 2.6m) \quad [2.28]$$

$k_2$  : διόρθωση για μήκος εσωτερικών τοιχωμάτων διάφορου του κανονισμού

$$k_2 = 1 + 0.05(4.5 - l_l / l_{DH}) \quad [2.29]$$

$k_3$  : διόρθωση για μήκος πλοίου σημαντικά διάφορο του κανονικού

$$L_{pp}=150m, \text{ δηλ } \delta L_{pp} > \pm 30m$$

$$k_3 = 0.95 \text{ για } L_{pp}=100m$$

$$k_3 = 1.10 \text{ για } L_{pp}=230m \text{ (ενδιάμεσες τιμές με παρεμβολή)} \quad [2.30]$$

## 2.5.2 ΒΑΡΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Το βάρος εξοπλισμού ( $W_{OT}$ ) εκτιμήθηκε με προσεγγιστική μέθοδο βάσει της ολικής χωρητικότητας ( $GT$ ) (Παπανικολάου, 2009):

$$W_{OT}=K_{OT} \cdot GT \quad [2.31]$$

όπου,

$$K_{OT}=0.023$$

$GT$ , η ολική χωρητικότητα

Για την εκτίμηση της ολικής χωρητικότητας εκπαιδεύτηκε ΤΝΔ το οποίο έχει βασιστεί στην ίδια βάση δεδομένων υπαρχόντων πλοίων RoRo, που παρουσιάστηκε σε προηγούμενη παράγραφο της διατριβής. Το διάνυσμα εισόδου περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

- Έτος κτήσης
- Βύθισμα
- Ταχύτητα
- Μήκος Λωρίδων
- Πρόσθετο Βάρος
- Μήκος μεταξύ καθέτων
- Πλάτος
- Κοίλο
- Εκτόπισμα

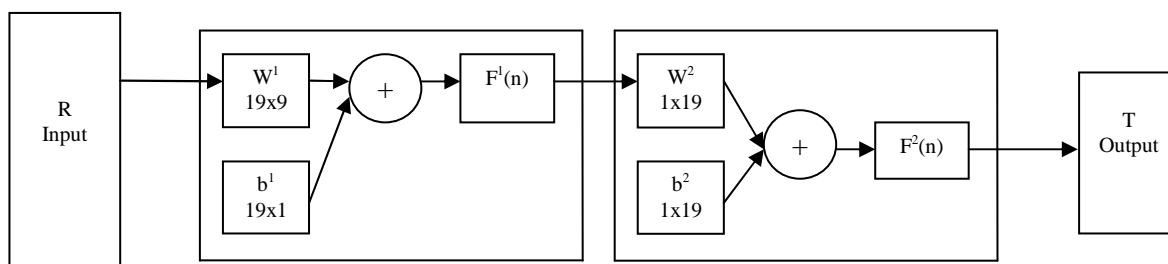
Το δε διάνυσμα εξόδου περιλαμβάνει το εξής στοιχείο:

- Ολική Χωρητικότητα

Το νευρωνικό δίκτυο που εκπαιδεύτηκε είναι ένα δίκτυο multilayer perceptron αποτελούμενο από δύο στρώματα. Στο κρυφό στρώμα, που αποτελείται από 19 νευρώνες, εφαρμόστηκαν η συνάρτηση μεταφοράς tanhaxon και ο κανόνας εκμάθησης momentum. Επίσης, στο στρώμα εξόδου εφαρμόστηκαν η συνάρτηση



μεταφοράς *tanh* και ο κανόνας εκμάθησης *momentum*. Το παραπάνω μοντέλο νευρωνικού δικτύου αποδείχτηκε κατάλληλο για τη φύση του προβλήματος και τα δεδομένα. Επιπλέον τεχνικές όπως *cross validation* αλλά και η προεπεξεργασία των δεδομένων εξασφάλισαν την υψηλή απόδοση του δικτύου, αποφεύγοντας το *overfitting* (*υπέρ-εκπαίδευση*). Η τοπολογία του μοντέλου παρουσιάζεται στο σχήμα 2.17, ενώ τα βάρη και οι σταθερές δίνονται στο Παράρτημα Δ.

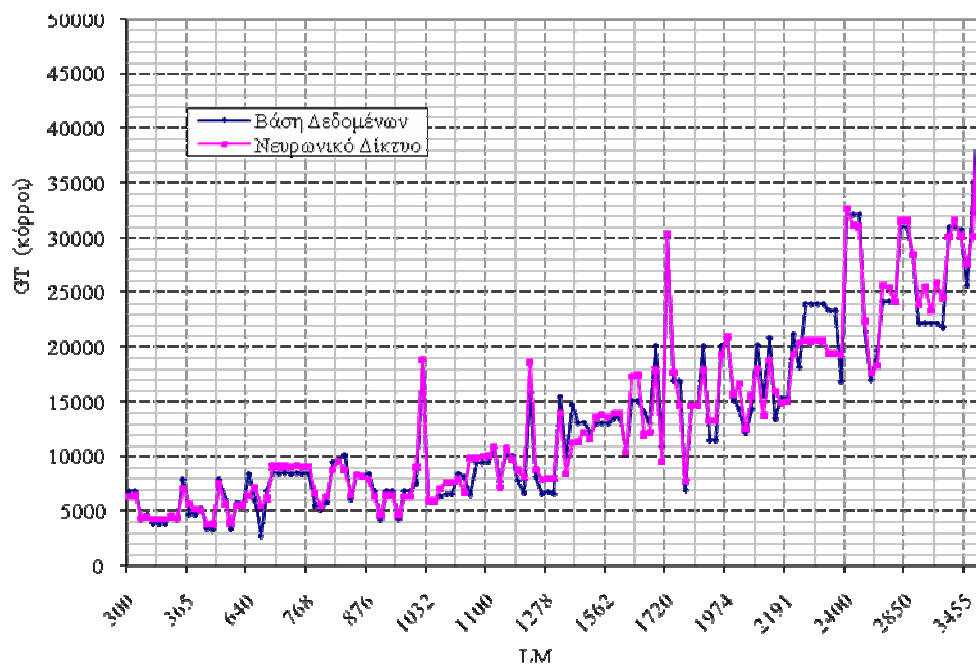


Σχήμα 2.17. Τοπολογία ΤΝΔ για την εκτίμηση GT (πλοία RoRo)

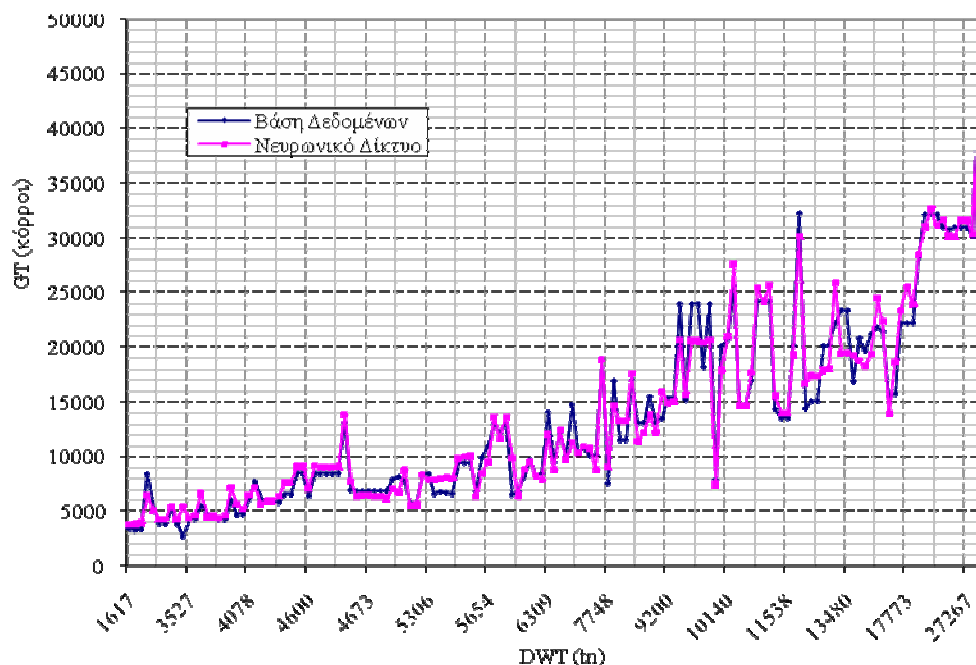
Πίνακας 2.3. Σφάλμα ΤΝΔ για την εκτίμηση GT πλοίων RoRo

Cross Validation	
MSE	0.003987432340
N MSE	0.034011084652
r	0.984740406706
% Error	9.346849422602
Train Set	
MSE	0.003860239908
N MSE	0.023531785990
r	0.988204056336
% Error	9.257272286622

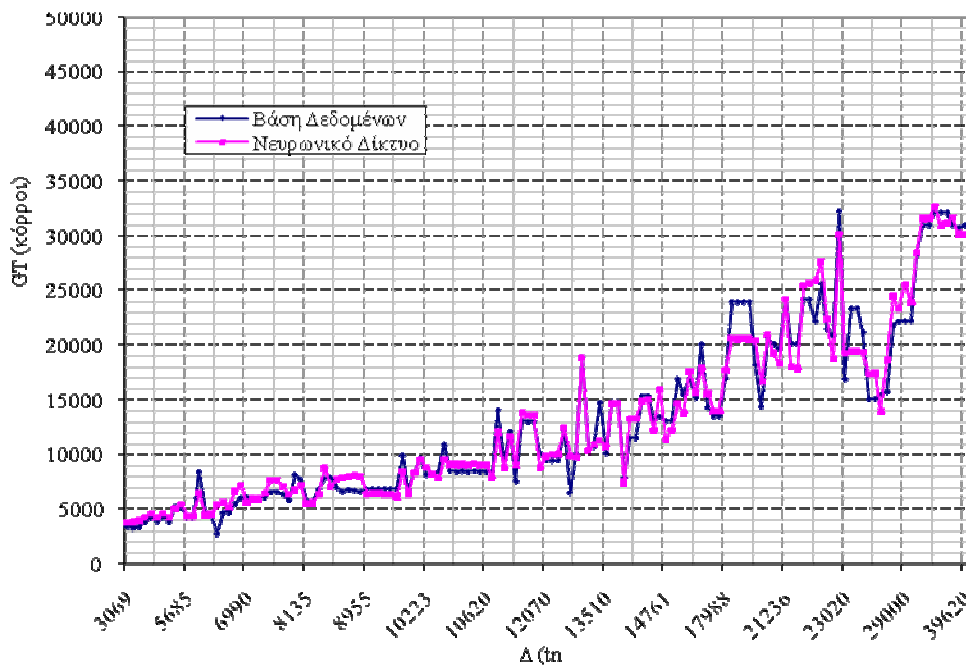
Το σφάλμα, όπως φαίνεται από τα παραπάνω κριτήρια (Πίνακας. 2.3), βρίσκεται σε ικανοποιητικά επίπεδα. Αυτό επιβεβαιώνει την αρχική επιλογή των μεταβλητών εισόδου και της τοπολογίας του ΤΝΔ.



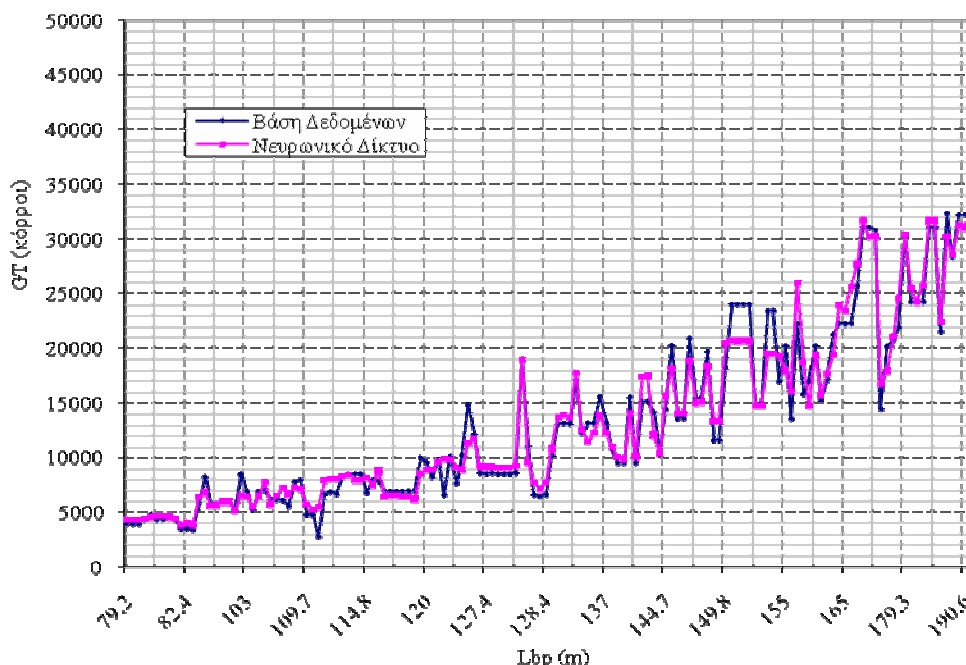
Σχήμα 2.18. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου LM προς στοιχείο εξόδου GT



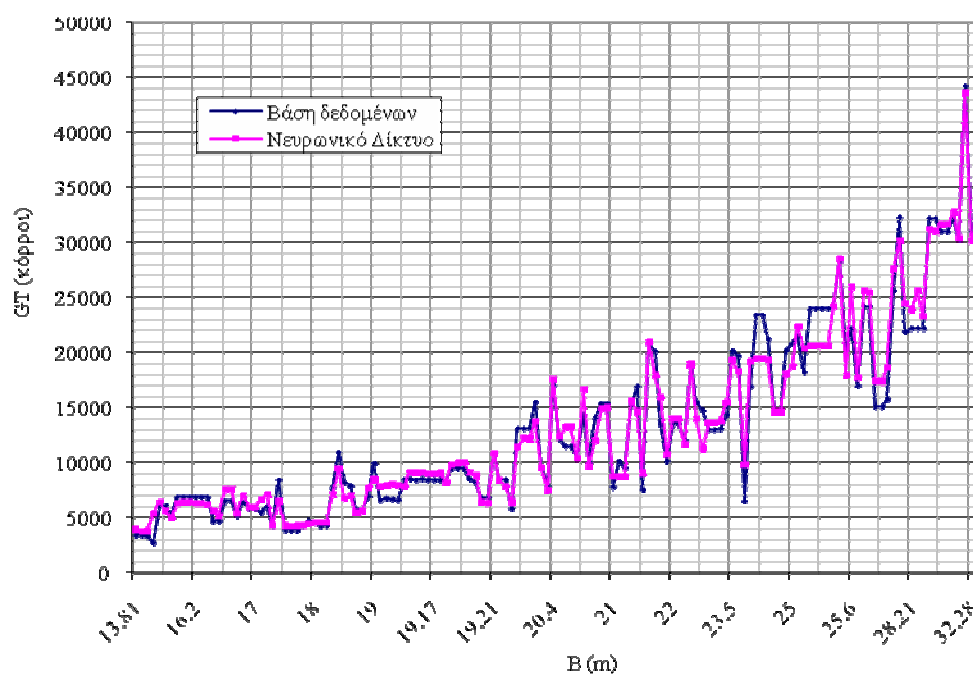
Σχήμα 2.19. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου DWT προς στοιχείο εξόδου GT



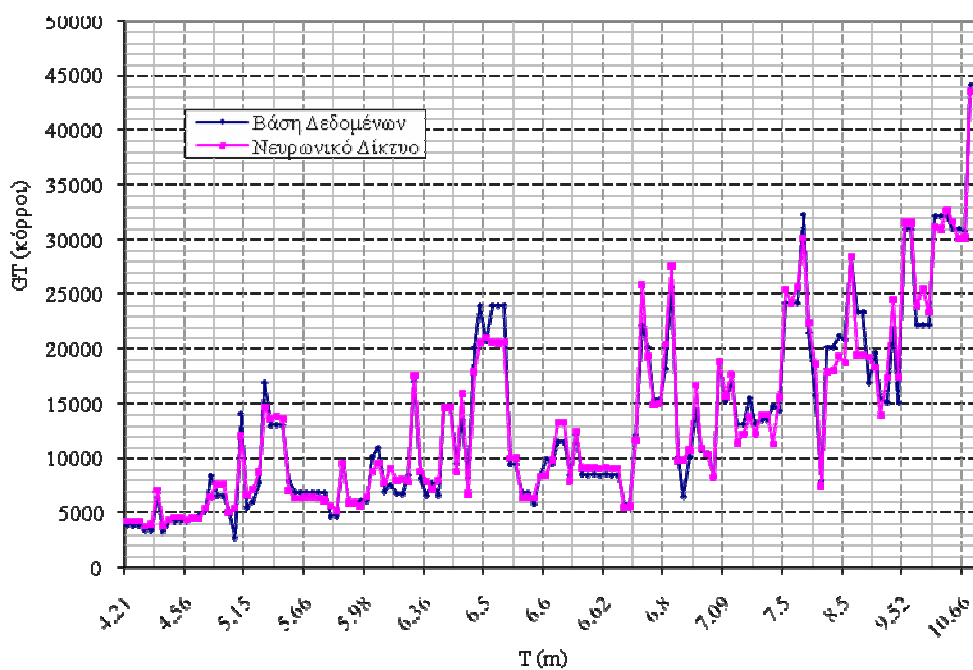
Σχήμα 2.20. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου Δ προς στοιχείο εξόδου GT



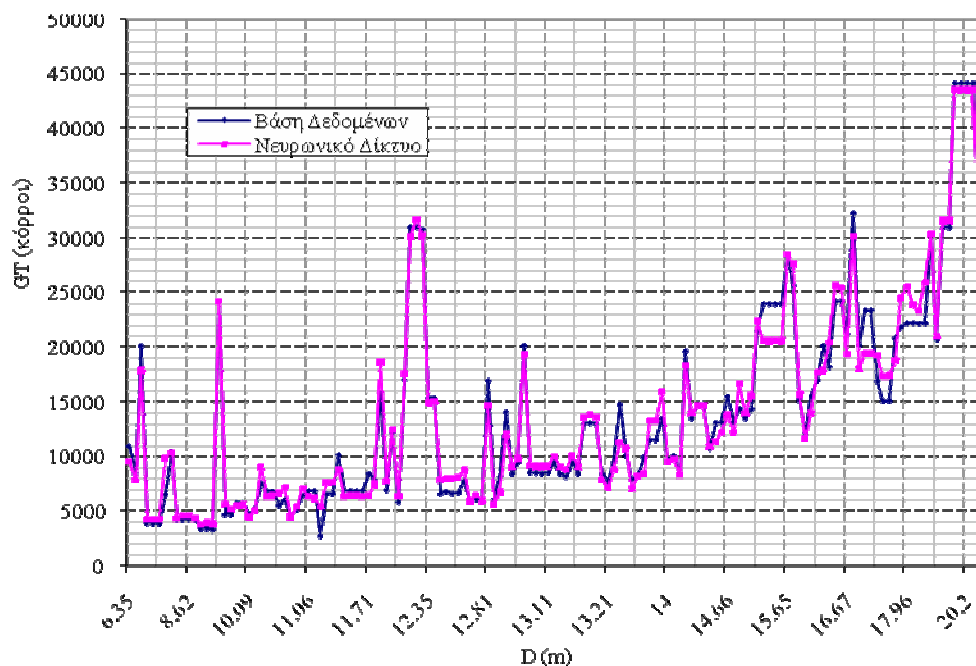
Σχήμα 2.21. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου Lbp προς στοιχείο εξόδου GT



Σχήμα 2.22. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου Β προς στοιχείο εξόδου GT



Σχήμα 2.23. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου Τ προς στοιχείο εξόδου GT



Σχήμα 2.24. ΤΝΔ για πλοία RoRo, στοιχείο εισόδου D προς στοιχείο εξόδου GT

### 2.5.3 ΒΑΡΟΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης ( $W_M$ ) έχει αναχθεί στο βάρος της κύριας μηχανής (συν μειωτήρα) (Παπανικολάου, 2009).

Για νηζελοκινητήριες εγκαταστάσεις χωρίς μειωτήρα το βάρος  $W_M$  υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$W_M = C_{M1} W_{MM} \quad [2.32]$$

όπου,

$C_{M1}$ , συντελεστής βάρους νηζελοκινητήριας εγκατάστασης χωρίς μειωτήρα

$W_{MM}$ , το βάρος της κύριας μηχανής

Ενώ για νηζελοκινητήριες εγκαταστάσεις με μειωτήρα:

$$W_M = C_{M1} (W_{MM} + W_{MG}) \quad [2.33]$$

όπου,

$C_{M2}$ , συντελεστής βάρους νηζελοκινητήριας εγκατάστασης με μειωτήρα

$W_{MM}$ , το βάρος της κύριας μηχανής

$W_{MG}$ , το βάρος του μειωτήρα

Το βάρος του μειωτήρα υπολογίζεται προσεγγιστικά. Για στροφές έλικας πέραν των 100rpm το ειδικό βάρος του μειωτήρα είναι:

$$W_{MG}=3.7*100/n_{P[RPM]}[\text{kp/KW}] \quad [2.34]$$

ενώ για στροφές έλικας έως 100rpm:

$$W_{MG}=4[\text{kp/KW}] \quad [2.35]$$

## 2.5.4 ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

Το Μήκος των Λωρίδων εκτιμήθηκε με τη χρήση προσεγγιστικού τύπου λαμβάνοντας υπόψη το μήκος και το πλάτος των λωρίδων καθώς και τον απαιτούμενο χώρο καταστρώματος. Το μήκος, το πλάτος, ο συντελεστής γάστρας και ο αριθμός των καταστρωμάτων μεταβάλλονται έτσι ώστε να ικανοποιηθεί η απαίτηση και ταυτόχρονα να αποδοθούν ικανοποιητικά περιθώρια.

Επομένως, τα Lane Meters εκτιμώνται με χρήση του παρακάτω τύπου:

$$LM = \text{INT}\{[B - 2*C] / B_{\text{lane}}\} * [0.45*L*C_B + \text{INT}\{C1*L/L_{\text{lane}}\} * L_{\text{lane}} * (N-1)] \quad [2.36]$$

όπου,

B: το πλάτος του πλοίου

C: το περιθώριο από τις πλευρές του καταστρώματος ή τα casings (πλάγια τοιχώματα)

$B_{\text{lane}}$ : το πλάτος των λωρίδων

L: το μήκος μεταξύ καθέτων

$L_{\text{lane}}$ : το μήκος των λωρίδων

$C_B$ : ο συντελεστής γάστρας

C1: το ποσοστό του μήκους του πλοίου που χρησιμοποιείται

N: ο αριθμός των καταστρωμάτων για φόρτωση

## 2.5.5 ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Για την εκτίμηση της αντίστασης χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία των Holtrop και Mennen (1982;1984).

Η ολική αντίσταση ( $R_T$ ) υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$R_T=R_F(1+k_1)+ R_{APP}+ R_W+ R_{TR}+ R_A \quad [2.37]$$

όπου,

$R_F$ : η αντίσταση τριβής σύμφωνα με ITTC-1957

$1+k_1$ : ο συντελεστής μορφής που περιγράφει την ιξώδη αντίσταση της γάστρας σε σχέση με την  $R_F$

$R_{APP}$ : η αντίσταση παρελκομένων

$R_W$ : η αντίσταση κυματισμού

$R_B$ : η πρόσθετη αντίσταση της βολβοειδούς πλώρας κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια

$R_{TR}$ : η πρόσθετη αντίσταση πίεσης της βυθισμένης πρύμνης

$R_A$ : η αντίσταση συσχετισμού πειραματικών αποτελεσμάτων μοντέλου-πλοίου ( $R_A=1/2Vs^2SC_A$ )

## 2.5.6 ΠΡΩΩΣΗ

Οι υπολογισμοί πρόωσης έγιναν ομοίως με βάση τη μεθοδολογία των Holtrop και Mennen (1982; 1984).

Καθορίζονται:

- ο συντελεστής ποσοστού ομόρρου  $w$
- ο συντελεστής ποσοστού μειώσεως ώσεως  $t$
- ο βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής  $\eta_R$
- ο λόγος εκτεταμένης επιφάνειας  $A_E/A_0$  με βάση τον τύπο του Keller

Έτσι, βάσει της εκτιμώμενης αντίστασης, επιλέγονται τα χαρακτηριστικά της έλικας μέγιστης διαμέτρου, η οποία έχει οριστεί ίση με  $0.65T$ .

- Δίδονται οι πίνακες βέλτιστης διαμέτρου έλικας για αριθμό πτερυγίων  $z=4$  και  $5$  και λόγο εκτεταμένης επιφάνειας  $A_E/A_0=0.4$  έως  $1.05$  με βήμα  $0.05$ , βάσει της Διπλωματικής εργασίας του Γ.Κουρματζή (Έδρα Θεωρίας Πλοίου, 1976)
- Επιλέγεται η κατάλληλη σταθερά βέλτιστης διαμέτρου βάση των  $z$ ,  $A_E/A_0$  και καθορίζονται οι τιμές του συντελεστή προχωρήσεως  $J$ , του συντελεστή ώσεως  $K_T$ , του βαθμού απόδοσης της έλικας  $\eta_0$  και του λόγου βήματος  $P/D$ .
- Τέλος, υπολογίζεται η ισχύς άξονα SHP μέσω της ισχύος ρυμούλκησης EHP και των  $\eta_R$ ,  $\eta_0$ ,  $\eta_S$ ,  $\eta_H$  καθώς και οι στροφές της έλικας μέσω των  $J$ , ταχύτητας προχωρήσεως  $U_A$  και διαμέτρου της έλικας  $D$ .

Τέλος, γίνεται έλεγχος σπηλαίωσης. Ο έλεγχος γίνεται με βάση το κριτήριο του Burill και έγινε εφικτός εξάγοντας το άνω όριο για έλικες εμπορικών πλοίων από το διάγραμμα του Burill. Ειδικότερα, ξεκινώντας από την τιμή του τύπου του Keller για λόγο εκτεταμένης επιφάνειας  $A_E/A_0$  κινούμαστε προς μεγαλύτερες τιμές για την ικανοποίηση του παρακάτω περιορισμού:

#### Κριτήριο σπηλαίωσης

$$\tau_c \leq \sigma_{0.7R} * 0.2875 + 0.045 \text{ για } \sigma_{0.7R} < 0.4$$

$$\tau_c \leq \sigma_{0.7R} * 0.183333 + 0.0866667 \text{ για } \sigma_{0.7R} > 0.4$$

[2.38]

## 2.5.7 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΗΧΑΝΗΣ

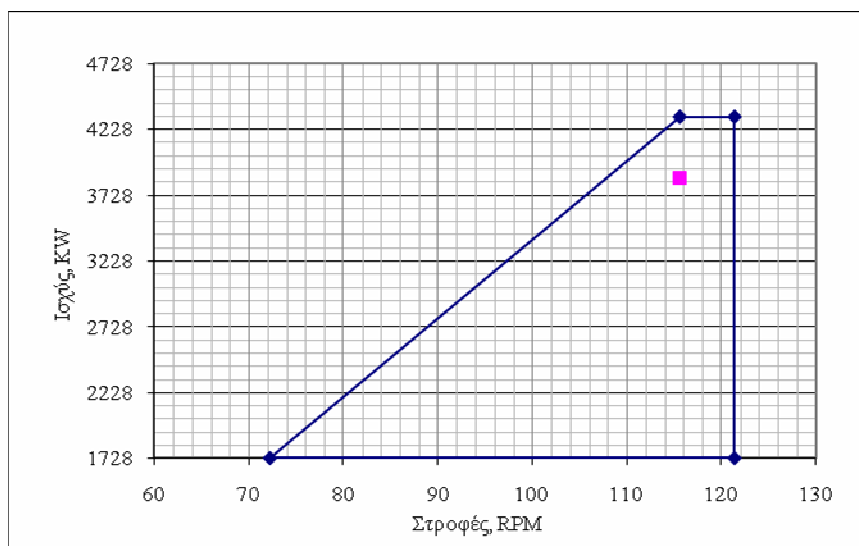
Για την επιλογή της μηχανής αναπτύχθηκε μια πλήρης βάση δεδομένων με τα χαρακτηριστικά αργόστροφων και μεσόστροφων μηχανών MAN και WARTSILA. Τα πλοία RoRo έχουν μικρά βυθίσματα και μπορούν να δεχθούν μόνο σχετικά μικρές έλικες που πρέπει να περιστρέφονται γρηγορότερα για να απορροφήσουν την απαιτούμενη υψηλή ισχύ. Επιπλέον, οι απαιτήσεις χώρου των αργόστροφων μηχανών καθιστούν τις τελευταίες σχεδόν απαγορευτικές γι' αυτόν τον τύπο πλοίου.

Η βάση δεδομένων μεσόστροφων μηχανών, που χρησιμοποιήθηκε για πλοία τύπου RoRo, περιλαμβάνει στοιχεία από 72 μηχανές (Παράρτημα Ε). Τα στοιχεία αυτά είναι:

- Μέγιστη Συνεχής Ισχύς (MCR)
- Ταχύτητα περιστροφής μηχανής (RPM)
- Ειδική κατανάλωση για διάφορα φορτία
- Βάρος μηχανής
- Διαστάσεις μηχανής (l, b, h)

Με βάση την εκτιμώμενη ισχύ άξονα SHP και την ταχύτητα περιστροφής της έλικας  $RPM_{SHP}$ , το εργαλείο BDT ανιχνεύει τη βέλτιστη υπάρχουσα μηχανή, μέσα από ένα μηχανισμό που απεικονίζει το διάγραμμα φόρτισης της εκάστοτε μηχανής με μειωτήρα και το σημείο λειτουργίας. Επιπλέον, υπολογίζεται η ειδική κατανάλωση καυσίμου στο σημείο λειτουργίας της μηχανής (Κυρτάτος, 1993).





Σχήμα 2.25. Load Diagram Μηχανής με μειωτήρα-σημείο λειτουργίας

Το επιμέρους πρόβλημα βελτιστοποίησης έχει οριστεί ως εξής:

Να οριστεί η μηχανή με το ελάχιστο MCR και τη μικρότερη ειδική κατανάλωση, που ικανοποιεί τις παρακάτω απαιτήσεις:

1.  $MCR > 1.2 \text{ SHP}$
2.  $1.2\text{SHP} < [(0.6 \cdot MCR) / (0.375 \cdot \text{RPM})] \cdot (\text{RPM}_{\text{SHP}} - 0.625 \cdot \text{RPM}) + 0.4 \cdot MCR$  (βλ. σχήμα 2.25)
3.  $h_{\text{απαιτούμενο}} \leq h_{\text{διαθέσιμο}}$
4.  $b_{\text{απαιτούμενο}} \leq b_{\text{διαθέσιμο}}$
5.  $l_{\text{απαιτούμενο}} \leq l_{\text{διαθέσιμο}}$
6. περιορισμός του λόγου μείωσης μειωτήρα για  $1.05 \cdot \text{RPM}$  ( $< 5.6$ )

Το πρόβλημα έχει τρεις βαθμούς ελευθερίας: την ισχύ MCR της μηχανής, τις στροφές RPM της μηχανής και τον αριθμό των μηχανών και ελίκων (1 ή 2) αντίστοιχα.

## 2.5.8 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΣΘΕΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ

Το πρόσθετο βάρος DWT εκτιμάται βάσει της απαιτούμενης ισχύος για την ταχύτητα υπηρεσίας:

$$DWT = \text{Payload} + W_{FO} + W_{LO} + W_{FW} + W_{CRE} + W_{PR} + W_{STORES} + W_{BALLAST} \quad [2.39]$$

όπου,

$W_{FO}$  το βάρος καυσίμου (tn)

$W_{LO}$  το βάρος λιπαντικών (tn)

$W_{FW}$  το βάρος πόσιμου νερού (tn)

$W_{CRE}$  το βάρος του πληρώματος και αποσκευών (tn)

$W_{PR}$  το βάρος εφοδίων,  $W_{Stores}$  το βάρος αποθεμάτων (tn)

Αναλυτικά:

$$W_{FO} = \sum_i (C_1 * t_{1i} * b_{1i} * P_{B1i} + C_2 * t_{2i} * b_{2i} * P_{B2i} * \eta_i) \quad [2.40]$$

όπου,

$i$  = καταστάσεις λειτουργίας

$C_{1,2}$ : εφεδρεία για υπερκατανάλωση κύριας μηχανής-ηλεκτρογεννητριών

$t_1$ : χρόνος λειτουργίας κύριας μηχανής (h)

$P_B$ : φορτίο κύριας μηχανής (KW)

$b_1$ : ειδική κατανάλωση κύριας μηχανής στο σημείο λειτουργίας (gr/KWh)

$t_2$ : χρόνος λειτουργίας ηλεκτρογεννητριών (h)

$P_{B2}$ : φορτίο ηλεκτροκινητήρων (KW)

$b_2$ : ειδική κατανάλωση ηλεκτροκινητήρων στο σημείο λειτουργίας (gr/KWh)

$\eta$ : μέσος βαθμός απόδοσης ηλεκτρογεννητριών στο σημείο λειτουργίας.

Ενώ, το μέσο ηλεκτρικό φορτίο,  $P_e$  (KW) εκτιμάται προσεγγιστικά:

$$P_e = 100 + 0,55 * MCR^{0,7} \text{ (KW)} \quad [2.41]$$

$$W_{LO} = 4\% W_{FO} \quad [2.42]$$

$$W_{FW} = C * t * f * N_{crew} \quad [2.43]$$

όπου,

$C$ : εφεδρεία για υπερκατανάλωση

$t$ : χρόνος ταξιδιού (h)

$N_{crew}$ : το πλήρωμα

$f$ : κατανάλωση πόσιμου/καθαριότητας νερού 180 Kg/day

$$W_{CR,E} = N_{crew} * CR \quad [2.44]$$

όπου,

$N_{crew}$ : το πλήρωμα	
$CR=CR_1+CR_2$	[2.45]
$CR_1$ : μέσο βάρος ανθρώπου (75 Kg)	
$CR_2$ : μέσο βάρος αποσκευής (60 Kg)	
$W_{PR} + W_{Stores} = t * N_{crew} * CF$	[2.46]
όπου,	
t: χρόνος ταξιδιού (h)	
$N_{crew}$ : το πλήρωμα	
CF: 12 Kg/day	

## 2.5.9 ΑΡΧΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ

Γίνονται οι υπολογισμοί αρχικής ευστάθειας.

Το μετακεντρικό ύψος υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους:									
$GM = KB + BM - KG$	[2.47]								
$KB = T * (C_{WP} / (C_{WP} + C_B))$	[2.48]								
$BM = (0,008 + 0,0745 * C_{WP}^2) B^2 / (C_B * T)$	[2.49]								
συντελεστής διόρθωσης (KB, BM) $\lambda \approx 1 - 1.05$									
Επιπλέον υπολογίζονται τα παρακάτω μεγέθη:									
- Ο συντελεστής γάστρας στα 80% D: $C_{BD} = (C_B + (1 - C_B) * (0.8 * D - T) / (3 * T))$ , σύμφωνα με Schneekluth	[2.50]								
- Ο συντελεστής ισάλου επιφάνειας: $C_{WP} = (1 + 2 C_B) / 3$ , σύμφωνα με Schneekluth	[2.51]								
- Ο συντελεστής μέσης τομής: $C_M = 1 / (1 + (1 - C_B)^{3.5})$ , σύμφωνα με HSVA	[2.52]								
- Ο πρισματικός συντελεστής: $C_P = C_B / C_M$	[2.53]								
Ως προς την καθ' ύψος θέση του κέντρου βάρους των διαφόρων ομάδων βαρών έχουν γίνει οι παρακάτω υποθέσεις, βάσει Schneekluth:									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RoRo</th> <th><math>W_{ST}</math></th> <th><math>W_{OT}</math></th> <th><math>W_M</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>KG/D</td> <td><math>\approx 0.62</math></td> <td><math>\approx 0.9</math></td> <td><math>\approx 0.45 * h_{μηχανοστ.}</math></td> </tr> </tbody> </table>	RoRo	$W_{ST}$	$W_{OT}$	$W_M$	KG/D	$\approx 0.62$	$\approx 0.9$	$\approx 0.45 * h_{μηχανοστ.}$	
RoRo	$W_{ST}$	$W_{OT}$	$W_M$						
KG/D	$\approx 0.62$	$\approx 0.9$	$\approx 0.45 * h_{μηχανοστ.}$						

## 2.5.10 ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ

Μία έγκυρη σχεδίαση προκύπτει μονάχα όταν ικανοποιείται το κριτήριο αρχικής ευστάθειας, εγκατεστημένης ισχύος, ελαχίστου ύψους πλώρας και μεταφορικής ικανότητας. Με βάση τον τύπο του πλοίου και το μέγεθος του, καθώς και τους περιορισμούς λιμένων καθορίζεται ένα εύρος τιμών για το βύθισμα. Το εκτόπισμα βαρών εξισορροπείται με το γεωμετρικό εκτόπισμα ενώ η σχεδίαση βελτιστοποιείται με κριτήριο την αντίσταση.

Το πρόβλημα έχει οριστεί ως:

Να ολοκληρωθεί η προκαταρκτική μελέτη πλοίου και να βελτιστοποιηθεί η σχεδίαση με κριτήριο την αντίσταση.

Οι μεταβλητές του προβλήματος είναι:

1. Μήκος  $L_{bp}$
2. Πλάτος  $B$
3. Βύθισμα  $T$
4. Συντελεστής γάστρας  $C_B$

ενώ ικανοποιούνται οι παρακάτω περιορισμοί:

$$L_{bp}/D \leq 12$$

$$0.6 \leq C_B$$

$$T \leq T_{max}$$

η απαίτηση εξισορρόπησης των βαρών:

$$\Delta_B = \Delta_G$$

το κριτήριο αρχικής ευστάθειας:

$$GM \geq 1m$$

το κριτήριο μεταφορικής ικανότητας:

$$|LM - LM_{απαιτ}| \leq 0.05 * LM_{απαιτ}$$

$$Payload \geq Payload_{απαιτ}$$

το κριτήριο εγκατεστημένης ισχύος:

$$MCR \geq MCR_{απαιτ}$$

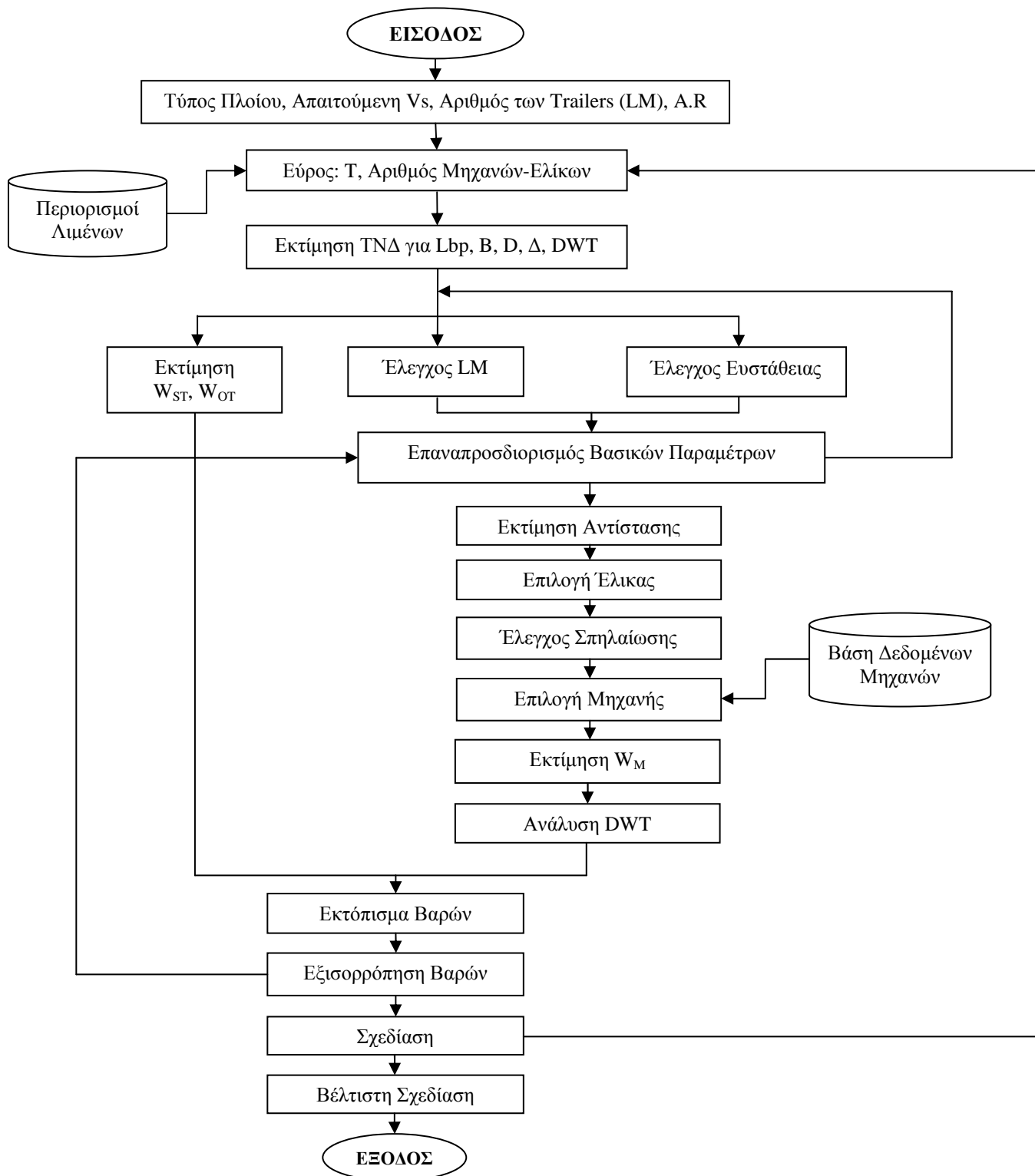
το κριτήριο ελαχίστου ύψους πλώρας, ΕΥΠ:

$$Υπάρχον ΥΠ \geq ΕΥΠ$$

Ειδικότερα για την γραμμή φόρτωσης, τα πλοία RoRo, ως πλοία κυβισμού, κατά κανόνα δεν εκμεταλλεύονται το μέγιστο επιτρεπόμενο βύθισμα.

Η διαδικασία μέσα από την οποία γίνεται η μελέτη και βελτιστοποίηση της σχεδίασης είναι επαναληπτική, με πολλούς βρόχους και παραμετρική για ένα εύρος βυθισμάτων. Για ένα εύρος βυθισμάτων προκύπτουν διαφορετικές σχεδιάσεις από το σύνολο των οποίων επιλέγεται το βέλτιστο σενάριο με βάση την αντίσταση, καθώς κρίνεται η τεχνική τους απόδοση. Η μεταβολή του βυθίσματος επιφέρει μεταβολή όλων των βασικών παραμέτρων του πλοίου.

Για την επίλυση του παραπάνω προβλήματος έγινε χρήση της Visual Basic και του αλγορίθμου βελτιστοποίησης Generalized Reduced Gradient, GRG2 (Excel Solver) (Lasdon, L, 1978; 1980; 1981). Πρόκειται για έναν αλγόριθμο τοπικής βελτιστοποίησης. Όπως δηλώνει το όνομα της, η μέθοδος GRG2 χρησιμοποιεί πληροφορίες για την κλίση της αντικειμενικής συνάρτησης για την επιλογή της διεύθυνσης προς την οποία θα αναζητηθεί η βέλτιστη λύση. Η κλίση μιας συνάρτησης δείχνει προς την πιο απότομη άνοδο. Έτσι για να ελαχιστοποιήσει κανείς μια συνάρτηση πρέπει να κινηθεί στην διεύθυνση της αρνητικής κλίσης. Η μεθοδολογία απεικονίζεται διαγραμματικά στο σχήμα 2.26.



Σχήμα 2.26. Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας βασικής σχεδίασης πλοίων RoRo

## 2.6 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Για την οικονομική αξιολόγηση των εναλλακτικών μεταφορικών σεναρίων, υπολογίζονται οι απαιτούμενοι ναύλοι για τη θαλάσσια και χερσαία μεταφορά (Storford, 1997, Ψαραύτης 2005, Σχινάς, 2002). Για το σκοπό αυτό γίνονται υποθέσεις ή διερευνήσεις σχετικά με το είδος και το ποσό του δανείου (πχ. γραμμική απόσβεση, balloon payment), την περίοδο αποπληρωμής του δανείου, την τελική αξία του πλοίου και την απόσβεση, το επιτόκιο, το φορολογικό συντελεστή και το κόστος κεφαλαίου.

Ο απαιτούμενος ναύλος για την D2D μεταφορά ορίζεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$TFR = RFR + LTF \quad [2.54]$$

όπου,

TFR: ο απαιτούμενος D2D ναύλος (euro/trailer)

RFR: ο απαιτούμενος ναύλος για τη θαλάσσια μεταφορά (euro/trailer)

LTF : ο ναύλος της χερσαίας μεταφοράς (euro/trailer)

Ο απαιτούμενος ναύλος για τη θαλάσσια μεταφορά, RFR ορίζεται ως ο ναύλος που μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία NPV:

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{R_t}{(1+i)^t} \quad [2.55]$$

όπου,

NPV: η καθαρή παρούσα αξία

$t$ : ο χρόνος της χρηματοροής

$i$ : το κόστος κεφαλαίου

$R_t$ : η καθαρή ροή κεφαλαίου

### 2.6.1 ΤΑ ΕΞΟΔΑ ΤΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Τα έξοδα του πλοίου υπολογίζονται με βάση την παρακάτω εξίσωση.

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8 \quad [2.56]$$

όπου,

$C_T$ : Τα συνολικά έξοδα του πλοίου.

$C_1$ : Το κόστος κτήσης του πλοίου. Το κόστος κτήσης του πλοίου καθορίζεται από το μέγεθος του πλοίου χρησιμοποιώντας στοιχεία από τη βάση δεδομένων του Clarkson ([www.clarksons.net](http://www.clarksons.net)). Τα στοιχεία αυτά δίνονται σε σχετικό Παράρτημα (Z).

$C_2$ : Το κόστος μισθοδοσίας. Το κόστος μισθοδοσίας αποτελεί συνάρτηση των DWT, MCR και GT όπως ορίζουν τα ισχύοντα διατάγματα. Ειδικότερα:

$$C_2 = \sum_{i=1}^{N_{crew}} S_i \times i \quad [2.57]$$

όπου,

$N_{crew}$ : το πλήρωμα

$$N_{crew} = N_{crew, deck} + N_{crew, eng} \quad [2.58]$$

$N_{crew, deck}$ : το πλήρωμα καταστρώματος

$$N_{crew, deck} = f\{GT\} \quad [2.59]$$

$N_{crew, eng}$ : το πλήρωμα μηχανής

$$N_{crew, eng} = f\{MCR\} \quad [2.60]$$

$S_i$ : ο μισθός (euro)

$$S_i = f\{DWT\} \quad [2.61]$$

$C_3$ : Τα λιμενικά κόστη. Ο αριθμός του πληρώματος και τα λιμενικά κόστη εκτιμώνται με βάση τα σχετικά διατάγματα, στοιχεία από λιμενικές αρχές και τη σημαία, λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος του πλοίου και των αριθμό των λιμανιών που περιλαμβάνονται στο ταξίδι. Ειδικότερα:

$$C_3 = (C_{3a} + C_{3b} + C_{3c}) * N_{calls} \quad [2.62]$$

όπου,

$N_{calls}$ : αριθμός κατάπλων

$C_{3a}$ : λιμενικά τέλη (euro)

$$C_{3a} = f\{Lbp, GT\} \quad [2.63]$$

$C_{3a}$ : πλοηγικά τέλη (euro)

$$C_{3a} = f\{GT\} \quad [2.64]$$

$C_{3a}$ : φαρικά τέλη (euro)

$$C_{3a} = f\{GT\} \quad [2.65]$$

$C_4$ : Το κόστος καυσίμου. Το κόστος καυσίμου υπολογίζεται με βάση το φορτίο της κύριας και βοηθητικής μηχανής, τις ειδικές καταναλώσεις, το χρόνο στο λιμάνι, το χρόνο εν πλω και το χρόνο αναμονής. Ειδικότερα:



$$C_4 = W_{\text{HFO}} * C_{\text{HFO}} + W_{\text{MDO}} * C_{\text{MDO}} \quad [2.66]$$

όπου,

$W_{\text{HFO}}$ : το συνολικό βάρος καυσίμου (Heavy Fuel Oil) που αναλώνεται από τη μηχανή εν πλω και στο λιμάνι, (tn)

$C_{\text{HFO}}$ : το κόστος καυσίμου Heavy Fuel Oil ανά τόνο καυσίμου (euro/tn)

$W_{\text{MDO}}$ : το συνολικό βάρος καυσίμου (Marine Diesel Oil) που αναλώνεται από την ηλεκτρογεννήτρια εν πλω και στο λιμάνι, (tn)

$C_{\text{HFO}}$ : το κόστος καυσίμου Marine Diesel Oil ανά τόνο καυσίμου (euro/tn)

$C_5$ : Το κόστος λιπαντικού. Το κόστος λιπαντικού τίθεται ίσο με το 10% του κόστους καυσίμου.

$C_6$ : Το κόστος συντήρησης και επισκευών. Το ετήσιο κόστος συντήρησης και επισκευών τίθεται ίσο με το 10% της ετήσιας συνιστώσας του κόστους κτήσεως.

$C_7$ : Οι ασφαλιστικές δαπάνες. Οι ασφαλιστικές δαπάνες του πλοίου τίθενται στο 2% του κόστους κτήσεως.

$C_8$ : Τα υπόλοιπα έξοδα. Τα υπόλοιπα έξοδα τίθενται στο 10% των λειτουργικών εξόδων.

## 2.6.2 ΤΑ ΕΞΟΔΑ ΤΗΣ ΧΕΡΣΑΙΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Οι ναύλοι για τη χερσαία μεταφορά βασίζονται σε πληροφορίες που συλλέχθηκαν από οδηγούς φορτηγών και τις μεταφορικές εταιρίες. Ενδεικτικά δίνονται στον παρακάτω πίνακα οι ναύλοι για τις χερσαίες μεταφορές που αφορούν στις εφαρμογές της παρούσας μεθοδολογίας.

Πίνακας 2.4. Ενδεικτικοί ναύλοι χερσαίας μεταφοράς.

ΝΑΥΛΟΣ (euro/trailer)	ΜΟΝΑΧΟ
ΜΠΡΙΝΤΕΖΙ	1433.75
ΒΕΝΕΤΙΑ	341.25
ΜΠΑΡΙ	1313.75
ΑΝΚΟΝΑ	800.00

### 2.6.3 ΤΑ ΕΣΟΔΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Τα έσοδα της θαλάσσιας μεταφοράς υπολογίζονται από τον υποτιθέμενο ναύλο (εδώ απαιτούμενος ναύλος) και το σύνολο των ρυμουλκούμενων οχημάτων που μεταφέρονται.

$$I_S = Nt \cdot RFR \quad [2.67]$$

όπου,

$I_S$ : τα έσοδα της θαλάσσια μεταφοράς (euro)

$Nt$ : ο αριθμός των ρυμουλκούμενων οχημάτων που μεταφέρονται

$RFR$ : ο απαιτούμενος ναύλος (euro/trailer)

## 2.7 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ

Η εισαγωγή στοιχείων logistics στη σχεδίαση απαιτεί μια ολιστική θεώρηση της επίδοσης της συνδυασμένης λύσης. Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του πλοίου και του ολοκληρωμένου συστήματος συνδυασμένων μεταφορών θα πρέπει να είναι διαθέσιμη από το αρχικό στάδιο της μελέτης προκειμένου να συμπληρώσει την αξιολόγηση του εκάστοτε σεναρίου και να υποβοηθήσει τη λήψη αποφάσεων.

Ένα πλοίο αλλά και ένα φορτηγό, απελευθερώνουν διαφορετικές ποσότητες αερίων ρύπων κατά τη λειτουργία τους. Η εκπομπή αερίων ρύπων εξαρτάται από το φορτίο των μηχανών, την αντίστοιχη ειδική κατανάλωση και την απόσταση που διανύεται. Οι παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν για την βελτιστοποίηση του μεταφορικού συστήματος με περιβαλλοντικά κριτήρια είναι η ταχύτητα μεταφοράς και η αναλογία χερσαίας και θαλάσσιας απόστασης.

Επιπλέον, το είδος καυσίμου (Marine Diesel Oil) που χρησιμοποιείται για τις βοηθητικές μηχανές έχει διαφορετικό ποσοστό εκπομπής αερίων ρύπων από το βαρύ πετρέλαιο (Heavy Fuel Oil) της κύριας μηχανής. Επομένως, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή για να εξασφαλιστεί όσο το δυνατόν ακριβής εκτίμηση της ποσότητας των καυσίμων που καταναλώνεται και των αντίστοιχων εκπομπών αερίων ρύπων (MEPC, 2008).

Επομένως:

$$E = E_S + E_L \quad [2.68]$$

όπου,

$E$ : οι D2D εκπομπές CO<sub>2</sub> (tn)

$E_S$ : οι εκπομπές CO<sub>2</sub> για τη θαλάσσια μεταφορά (tn)

$$E_S = W_{HFO} * a_1 + W_{MDO} * a_2 \quad [2.69]$$

$W_{HFO}$ : το συνολικό βάρος καυσίμου (Heavy Fuel Oil) που αναλώνεται από τη μηχανή (tn)

$W_{MDO}$ : το συνολικό βάρος καυσίμου (Marine Diesel Oil) που αναλώνεται από την ηλεκτρογεννήτρια (tn)

$a_1$ : οι εκπομπές CO<sub>2</sub> καυσίμου Heavy Fuel Oil (tn CO<sub>2</sub>/tn καυσίμου)

$a_2$ : οι εκπομπές CO<sub>2</sub> καυσίμου Marine Diesel Oil (tn CO<sub>2</sub>/tn καυσίμου)

$E_L$ : οι εκπομπές CO<sub>2</sub> για τη χερσαία μεταφορά (tn)

$$E_L = W_{DO} * a_3 \quad [2.70]$$

$W_{DO}$ : το συνολικό βάρος καυσίμου Diesel Oil που αναλώνεται από το φορτηγό (lt)

$a_3$ : οι εκπομπές CO<sub>2</sub> καυσίμου Diesel Oil (kg CO<sub>2</sub>/lt καυσίμου)

Πίνακας 2.5. Εκπομπές CO<sub>2</sub> στην Ναυτιλία (MEPC, 2008).

Θαλάσσιες Μεταφορές	HFO	MDO
CO <sub>2</sub>	3.13 kg CO <sub>2</sub> /kg καυσίμου	3.19 kg CO <sub>2</sub> /kg καυσίμου

Πίνακας 2.6. Εκπομπές CO<sub>2</sub> στις χερσαίες μεταφορές.

Χερσαίες Μεταφορές	DO
CO <sub>2</sub>	2.7 kg CO <sub>2</sub> /lt καυσίμου

## 2.8 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΛΥΣΕΩΝ

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης του συστήματος πλοίο-μεταφορικό σύστημα αποτελεί πρόβλημα βελτιστοποίησης πολλαπλών αλληλοσυγκρουόμενων κριτηρίων. Τα κριτήρια αυτά είναι το RFR, ο χρόνος D2D και οι εκπομπές αέριων ρύπων D2D. Η παραμετρική βελτιστοποίηση του παραπάνω προβλήματος βελτιστοποίησης διαμέσου της παρούσας μεθοδολογίας και για το ορισθέν εύρος ελευθέρων μεταβλητών,

καταλήγει στο Pareto βέλτιστο σύνολο (Pareto Front, βλ Κεφ 1). Η επιλογή της «βέλτιστης λύσης» επαφίεται στην κρίση και προσδοκίες του ιθύνοντα. Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής προτείνεται η παρακάτω *συνάρτηση θυσίας (sacrifice function)* για την υποστήριξη του έργου λήψης αποφάσεων:

$$G = w_1 * T + w_2 * TFR + w_3 * E \quad [2.71]$$

όπου:

T: ο χρόνος D2D

TFR: ο απαιτούμενος ναύλος D2D

E: οι D2D εκπομπές αέριων ρύπων

w<sub>1</sub>: συντελεστής βαρύτητας του χρόνου

w<sub>2</sub>: συντελεστής βαρύτητας του απαιτούμενου ναύλου

w<sub>3</sub>: συντελεστής βαρύτητας των εκπομπών αέριων ρύπων

Σημειώνεται ότι στην παραπάνω εξίσωση τα μεγέθη έχουν κανονικοποιηθεί ως εξής:

$$i_{norm.} = i_n * 1 / (i_{max} - i_{min}) + 1 - 1 / (i_{max} - i_{min}) * i_{max}$$

Οι αντικειμενικές συναρτήσεις της παραπάνω εξίσωσης έχουν ορισθεί με γνώμονα την βελτιστοποίηση της συνδυασμένης λύσης όπως ορίζει ο τίτλος της διατριβής. Βεβαίως, μπορεί κανείς να θεωρήσει ως κριτήριο τον απαιτούμενο ναύλο για την θαλάσσια μεταφορά (RFR) στη θέση του απαιτούμενου ναύλου D2D (TFR) ή ακόμα περισσότερο να λάβει υπόψη και τους δύο αυτούς παράγοντες. Τα κριτήρια που θα επιλεγούν εξαρτώνται από την διατύπωση του προβλήματος δηλ. τη σκοπιά από την οποία θεωρείται το πρόβλημα. Ειδικότερα, για την υποστήριξη επιχειρησιακής έρευνας ενός πλοιοκτήτη προφανώς το RFR είναι αυτό που ενδιαφέρει, ενώ το TFR ορίζει την ανταγωνιστικότητά του. Επιπλέον, ένας πλοιοκτήτης δεν αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των εκπομπών αερίων ρύπων, αρκεί να ικανοποιούνται οι κανονισμοί. Τέτοιου είδους αποφάσεις αναφορικά με τα αντικειμενικά κριτήρια υποστηρίζονται από το λογισμικό πρόγραμμα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής.

Το περιθώριο ζήτησης ή μερίδιο αγοράς αποτελεί κριτήριο λήψης αποφάσεων στα πλαίσια της αποτίμησης ρίσκου και μελέτης ευαισθησίας, με την έννοια ότι μεγαλύτερο μέγεθος πλοίου προσδίδει τη δυνατότητα απορρόφησης μεγαλύτερης πιθανής ζήτησης. Έτσι, η αξιολόγηση των διαφορετικών σεναρίων περιθωρίου ζήτησης επιτρέπει στον ιθύνοντα να ποσοτικοποιήσει τον κίνδυνο που σχετίζεται με την επιλογή της μεταφορικής ικανότητας του στόλου, σε περίπτωση πτώσης της

ζήτησης ή μη κατάκτησης του προσδοκώμενου μεριδίου της αγοράς. Εν προκειμένω, γίνεται μία ανάλυση ευαισθησίας και αποτίμησης ρίσκου για τις προτεινόμενες λύσεις, αναφορικά με την επίπτωση που έχει στον απαιτούμενο ναύλο η μεταβολή της ζήτησης.

## 2.9 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Το λογισμικό υποστήριξης της μεθοδολογίας που παρουσιάστηκε στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής αναπτύχθηκε σε Visual Basic για Excel και αποσκοπεί σε μια αυτοματοποιημένη διαδικασία βελτιστοποίησης. Εντούτοις, η ανάλυση της ζήτησης εξετάζεται χωριστά, ενώ το πρόγραμμα δύναται να υποστηρίξει και ανεξάρτητες μελέτες λχ. στη μελέτη πλοίου.

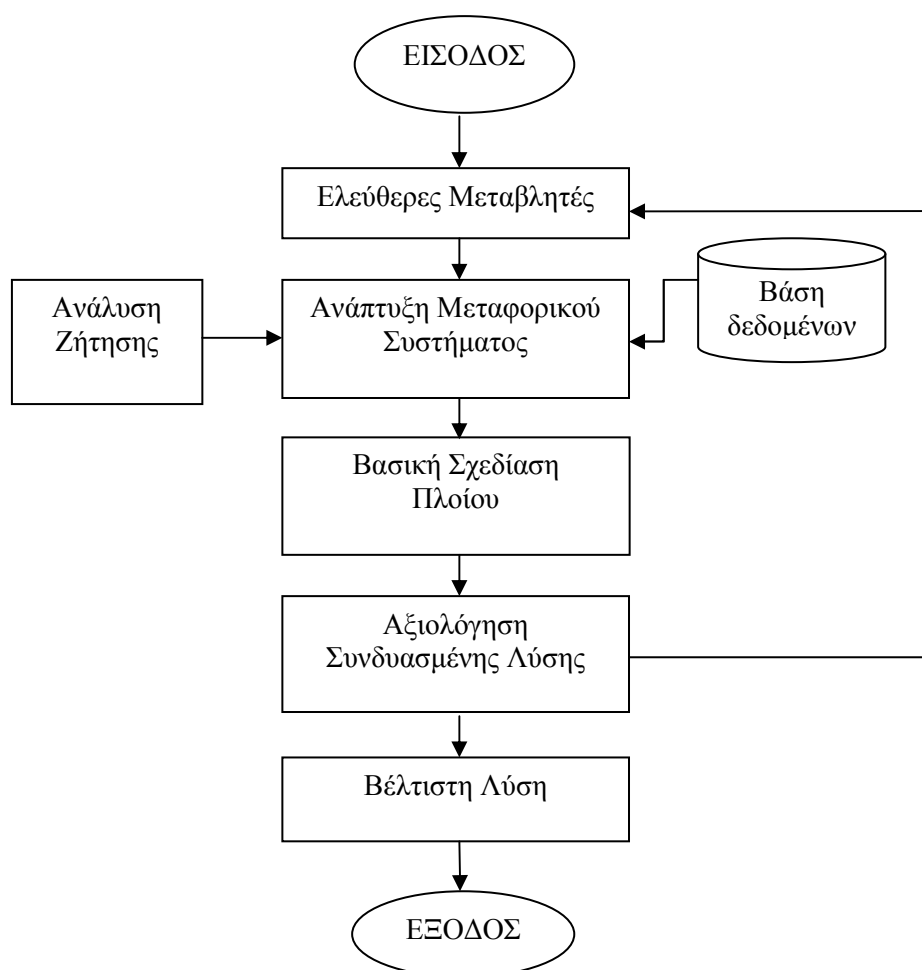
Οι ελεύθερες μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στο ορισθέν πρόβλημα βελτιστοποίησης είναι:

- Η συχνότητα της υπηρεσίας
- Το πλήθος των πλοίων
- Ο χρόνος D2D
- Το περιθώριο ζήτησης/μερίδιο αγοράς
- Οι κόμβοι προέλευσης και προορισμού

Οι παραπάνω ελεύθερες μεταβλητές λαμβάνουν διακριτές τιμές και το γενικό πρόβλημα βελτιστοποίησης επιλύεται παραμετρικά, εφόσον δεν υπάρχει ανάγκη υποστήριξης κάποιου αλγόριθμου βελτιστοποίησης. Συγκεκριμένα, αναπτύσσονται και διερευνώνται αυτόματα όλα τα εναλλακτικά σενάρια συνδυασμένων μεταφορικών συστημάτων, με βάση το εύρος τιμών των παραπάνω ελευθέρων μεταβλητών. Αυτό το εύρος τιμών-εναλλακτικών σεναρίων καθορίζεται από τον ιθύνοντα.

Για κάθε ένα από τα ορισθέντα εναλλακτικά σενάρια μεταφορικών συστημάτων αναπτύσσεται αυτόματα η βέλτιστη σχεδίαση πλοίου όπως περιγράφεται σε προηγούμενες παραγράφους του παρόντος κειμένου. Τέλος, αξιολογείται η συνδυασμένη λύση για κάθε ένα από τα παραπάνω σενάρια και δια της αξιολόγησης αυτής οδηγούμαστε στη βέλτιστη συνδυασμένη λύση.

Τα κύρια βήματα της διαδικασίας βελτιστοποίησης σκιαγραφούνται στο σχήμα 2.27. Η επίλυση ενός χαρακτηριστικού προβλήματος βελτιστοποίησης, όπως περιγράφεται σε επόμενα κεφάλαια, απαιτεί ελάχιστο υπολογιστικό χρόνο περίπου 2-3', σε έναν τυποποιημένο υπολογιστή PC, για κάθε μεμονωμένο σενάριο. Επομένως, ο συνολικός υπολογιστικός χρόνος εξαρτάται από την πολυπλοκότητα της εφαρμογής και το εύρος τιμών των μεταβλητών.



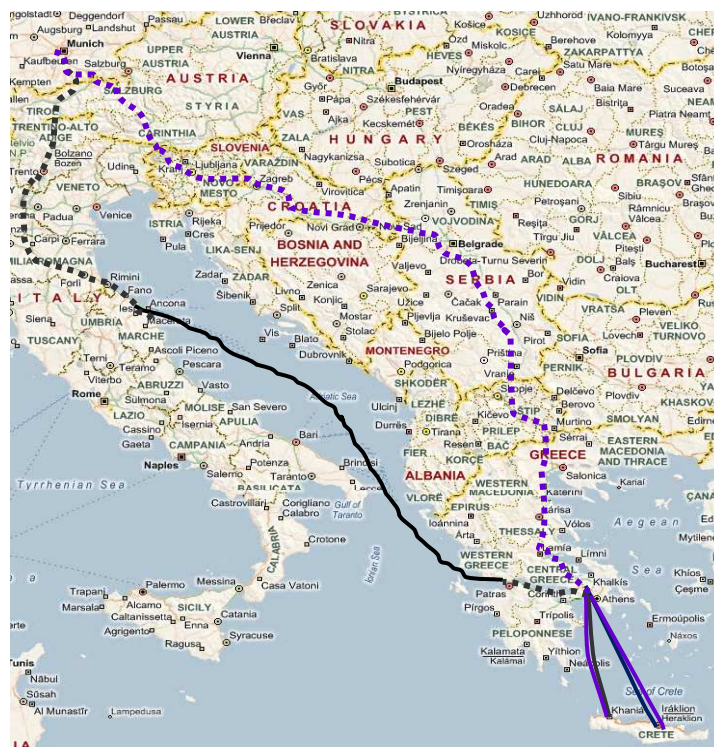
Σχήμα 2.27. Επισκόπηση της Μεθοδολογίας.

### 3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

#### 3.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ SHORT SEA SHIPPING-RORO: Η ΓΡΑΜΜΗ ΚΡΗΤΗ –ΓΕΡΜΑΝΙΑ

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής επιδεικνύεται με την εφαρμογή της στη μεταφορά των προϊόντων από την Κρήτη στις αγορές της Ιταλίας και της Γερμανίας. Το υπάρχον μεταφορικό σύστημα έχει αποδειχθεί ανεπαρκές και για την ανάπτυξη της γραμμής ως επιχειρησιακής δραστηριότητας, απαιτείται ανασχηματισμός του υπάρχοντος δικτύου και θεώρηση παραγόντων συνδυασμένων μεταφορών. (Βαγγελάτος, 1994, Ψαραύτης, 1999; 2007, Λυρίδης, 2005). Μετά την κρίση στην πρώην Γιουγκοσλαβία, η οποία πρακτικά επέφερε τον αποκλεισμό της ηπειρωτικής σύνδεσης της Ελλάδας με την Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη, τα προϊόντα από την Κρήτη ακολουθούν την παρακάτω διαδρομή:

1. Θαλάσσια μεταφορά από την Κρήτη στον Πειραιά με χρήση πλοίων RoPax, σε φορτηγά.
2. Οδική μεταφορά από τον Πειραιά στην Πάτρα, με φορτηγά.
3. Θαλάσσια μεταφορά από την Πάτρα σε κάποιο λιμένα της Ιταλίας (Ανκόνα κυρίως) με χρήση πλοίων RoPax, σε φορτηγά.
4. Οδική μεταφορά από την Ιταλία στην Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη με φορτηγά.



Σχήμα 3.1. Γεωγραφία της υπό μελέτη αγοράς.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα του υπάρχοντος μεταφορικού συστήματος μπορούν να εντοπιστούν στα παρακάτω:

- Μεγάλοι απαιτούμενοι χρόνοι μεταφοράς: Το γεγονός αυτό αποδίδεται κυρίως στις υψηλές καθυστερήσεις, λόγω της ύπαρξης πολλών κόμβων αλλαγής μέσου μεταφοράς και βεβαίως λόγω έλλειψης σωστού προγραμματισμού.
- Υψηλό κόστος μεταφοράς: Το γεγονός αυτό αποτελεί φυσική συνέπεια των παραπάνω.

Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά οι χρόνοι και οι ναύλοι ανά νταλικά για κάθε τμήμα του υπάρχοντος μεταφορικού συστήματος:

Πίνακας 3.1. Στοιχεία Υπάρχοντος Μεταφορικού Συστήματος.

	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΝΑΥΛΟΣ (ελάχιστες τιμές- euro/trailer)
ΚΡΗΤΗ-ΠΕΙΡΑΙΑΣ	175 (nm)	653
ΠΕΙΡΑΙΑΣ-ΠΑΤΡΑ	205 (Km)	100
ΠΑΤΡΑ-ΑΝΚΟΝΑ	516 (nm)	680
ΑΝΚΟΝΑ-ΜΟΝΑΧΟ	1228.5 (Km)	800

	ΧΡΟΝΟΣ (h)
ΧΡΟΝΟΣ D2D	60
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ	9.5

Για τη βελτίωση του υπάρχοντος μεταφορικού συστήματος έχουν γίνει στο παρελθόν κάποιες προσπάθειες, καθότι είναι κοινά αποδεκτό ότι αποτελεί κοινό συμφέρον μεταφορέων και παραγωγών. Πιο συγκεκριμένα, οι μεταφορείς της Κρήτης επιχείρησαν την απόκτηση πλοίου για τη γραμμή Κρήτη-Πειραιά υπό ιδιοκτησιακό καθεστώς εταιρίας λαϊκής βάσης. Επίσης, οι παραγωγοί επιχείρησαν την οργάνωση δικτύου αεροπορικής μεταφοράς των προϊόντων. Και οι δύο αυτές προσπάθειες αποδειχθήκαν ατελέσφορες.

Στην πραγματικότητα η αλλαγή στο συγκεκριμένο σύστημα διακίνησης προϊόντων πρέπει να αποτελεί προϊόν συλλογικής προσπάθειας και σωστής μελέτης του συστήματος. Ο κεντρικός στόχος που πρέπει να τεθεί θα πρέπει να είναι η ανάπτυξη μιας τεχνοοικονομικά βέλτιστης λύσης, η οποία θα εξασφαλίζει τη μείωση του χρόνου



και του κόστους μεταφοράς. Στην πραγματικότητα, η διερεύνηση της λύσης αυτής προϋποθέτει την επιλογή του βέλτιστου μεταφορικού μέσου και την επιλογή της βέλτιστης διαδρομής.

Όσον αφορά στην επιλογή του μεταφορικού μέσου, αυτή έχει άμεση σχέση με το είδος του μεταφερόμενου φορτίου. Η δε γεωγραφική διασπορά της ζήτησης και οι ποσότητες του μεταφερόμενου φορτίου, όπως προκύπτουν από την ανάλυση της ζήτησης, δεν ενδείκνυνται για την οργάνωση ανεξάρτητης μεταφοράς ανά χώρα προορισμού. Τέλος, η διασπορά που παρατηρείται στο είδος της μεταφορικής ζήτησης- πολλοί ανεξάρτητοι παραγωγοί με διαφορετικά είδη προϊόντων -είναι η βάση για την επιλογή του τύπου του πλοίου. Ο πλέον κατάλληλος τρόπος για την ικανοποίηση της παραπάνω ζήτησης είναι η χρήση ανεξάρτητων μέσων, φορτηγών ή φορτηγών ψυγείων, συνεπώς η χρήση πλοίων RoRo.

Επομένως το προτεινόμενο μεταφορικό σύστημα βασίζεται στην εξής φιλοσοφία: συνολική μεταφορά του φορτίου σ' ένα κομβικό σημείο μεταφοράς και στη συνέχεια προώθησή του στους διαφορετικούς τελικούς προορισμούς, μέσα από ένα σύστημα συνδυασμένων μεταφορών. Εφόσον, το μεγαλύτερο ποσοστό εμπορευματικής κίνησης της Κρήτης αναφέρεται στην Ιταλία και τη Γερμανία, η Ιταλία αναδुकνείεται ως κομβικό σημείο όλων των διαδρομών, ενώ ο κεντρικός μεταφορικός άξονας είναι Κρήτη-Ιταλία-Γερμανία. Η διαδικασία από εφοδιαστική άποψη είναι απλή. Ο εξαγωγέας φορτώνει το προϊόν σε ανεξάρτητο φορτηγό. Όλα τα φορτηγά συγκεντρώνονται στο λιμάνι αναχώρησης (Ιταλίας ή Κρήτης) όπου επιβιβάζονται μόνο τα ρυμουλκούμενα οχήματα χωρίς τον τράκτορα-ρυμουλκό ενώ ο οδηγός παραλαμβάνει το εξερχόμενο από το πλοίο ρυμουλκούμενο όχημα για να το κατευθύνει στο τελικό σημείο προορισμού. Το σύστημα εξασφαλίζει κατ' αυτό τον τρόπο καλύτερη λειτουργικότητα και εξοικονόμηση χώρου στο πλοίο, ενώ τα οφέλη από οικονομικής και περιβαλλοντικής άποψης είναι καταφανή.

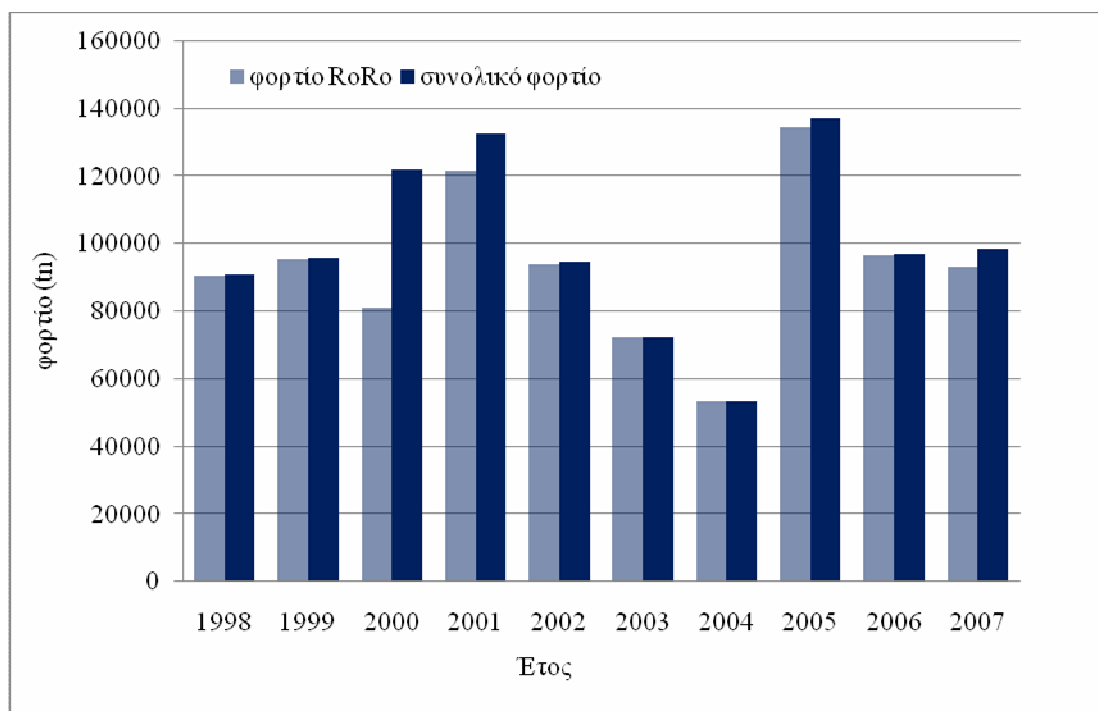
### **3.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΖΗΤΗΣΗΣ**

Τη γενική εικόνα της εμπορευματικής κίνησης της Κρήτης μπορούν να μας δώσουν στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας Ε.Σ.Υ.Ε και της EUROSTAT για τα έτη 1998-2007. Η καταχώρηση των προϊόντων έχει γίνει ανά υποσύνολα ομοειδών προϊόντων (Ε.Σ.Υ.Ε), τα οποία κατηγοριοποιήθηκαν για τις ανάγκες της μελέτης, στο Πίνακα 3.2:

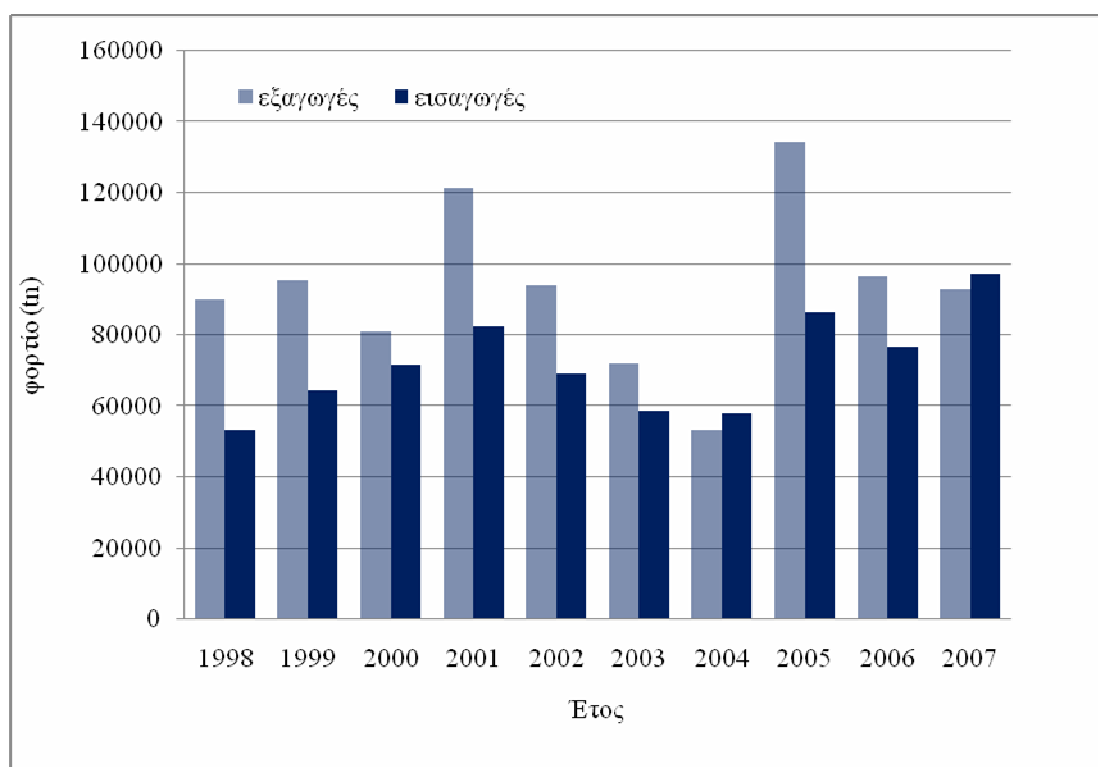
Πίνακας 3.2. Κατηγοριοποίηση προϊόντων RoRo.

<b>RoRo</b>	<b>ΕΥΠΑΘΗ ΠΡΟΪΟΝΤΑ</b>	Κρέατα, Ψάρια, Γάλα, Φυτά, Λαχανικά, Φρούτα και συναφή προϊόντα
	<b>ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ</b>	Γόμες, ρητίνες, Πλεκτικές, ύλες, Καπνά , Φαρμακευτικά, Λιπάσματα, Βαφές, Αιθέρια έλαια, Σαπούνια, Λευκωματώδεις ύλες, Φωτογραφικά προϊόντα, Πλαστικές ύλες, Καουτσούκ, Δέρματα-γούνες, Ξυλεία—κάρβουνα, Φελλός, Τεχνουργήματα σπαρτοπλεχτικής, Χαρτί, Προϊόντα εκδοτικών οίκων, Μετάξι, Μαλλί , Βαμβάκι, Φυσικές υφαντικές ίνες, Τεχνητές-συνθετικές ίνες, Βάτες, Τάπητες , Ειδικά υφάσματα, Υφάσματα εμποτισμένα, Υφάσματα πλεκτά, Ενδύματα, Υφαντουργικά είδη, Υποδήματα, Καλύμματα κεφαλής, Ομπρέλες, Φτερά και πούπουλα, Τεχνουργήματα από πέτρες-γύψο, Προϊόντα κεραμεικής, Γυαλί και τεχνουργήματα, Μαργαριτάρια, Εργαλεία, Μηχανές-συσσκευές, Οχήματα-ελκυστήρες, Όργανα οπτικής, Ωρολογιοποιία, Μουσικά όργανα, Έπιπλα, Παιχνίδια, Αντικείμενα τέχνης, Διάφορα τεχνουργήματα και συναφή προϊόντα
	<b>ΛΟΙΠΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ</b>	Ζώα ζωντανά, Καφές-τσάι-μπαχαρικά, Δημητριακά, Προϊόντα αλευροποιίας, Σπέρματα-καρποί, Λίπη και λάδια, Παρασκευάσματα κρεάτων-ψαριών (κονσέρβες), Ζάχαρα, Κακάο, Παρασκευάσματα λαχανικών-καρπών, Ποτά, ξύδι, Διάφορα παρασκευάσματα και συναφή προϊόντα

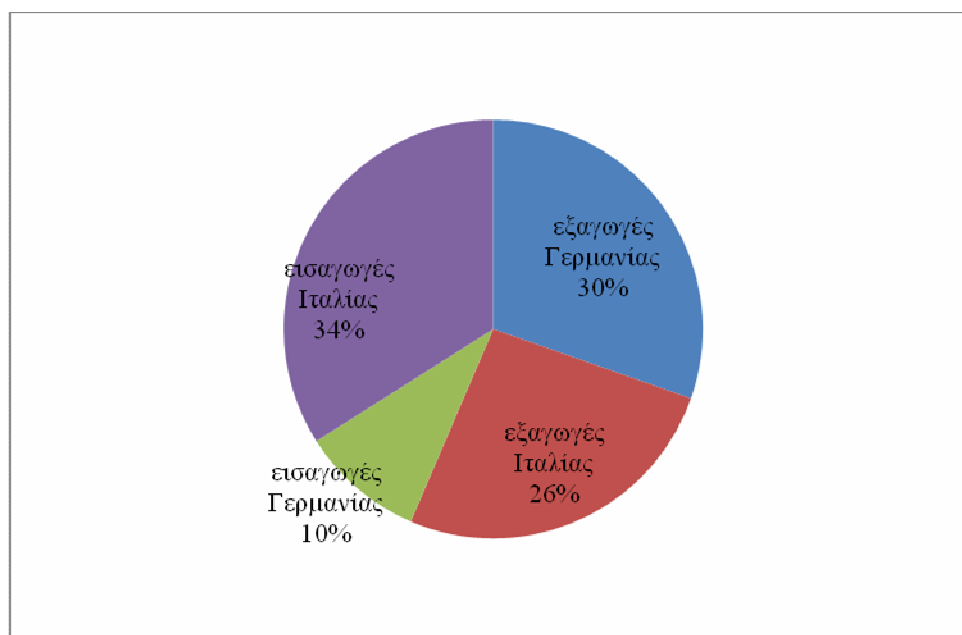
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται ένα δείγμα των στατιστικών αυτών στοιχείων. Στο σχήμα 3.2 φαίνεται η ετήσια ζήτηση από την Κρήτη προς την Ιταλία και Γερμανία, για τα έτη 1998-2007. Το μεγαλύτερο ποσοστό των προϊόντων που μεταφέρονται είναι τύπου RoRo. Επιπλέον, στα σχήματα 3.3 και 3.4 συγκρίνονται οι ετήσιες εισαγωγές και εξαγωγές της Κρήτης από και προς την Ιταλία και τη Γερμανία αντίστοιχα, για την ίδια περίοδο. Είναι φανερό ότι, δεδομένης της ανισορροπίας ανάμεσα στις εισαγωγές και τις εξαγωγές, κάποιο ποσοστό μονάδων φορτίου θα ταξιδεύει κενό στο ταξίδι της επιστροφής προς την Κρήτη.



Σχήμα 3.2. Συνολικές εξαγωγές της Κρήτης προς την Ιταλία και τη Γερμανία (Ε.Σ.Υ.Ε).

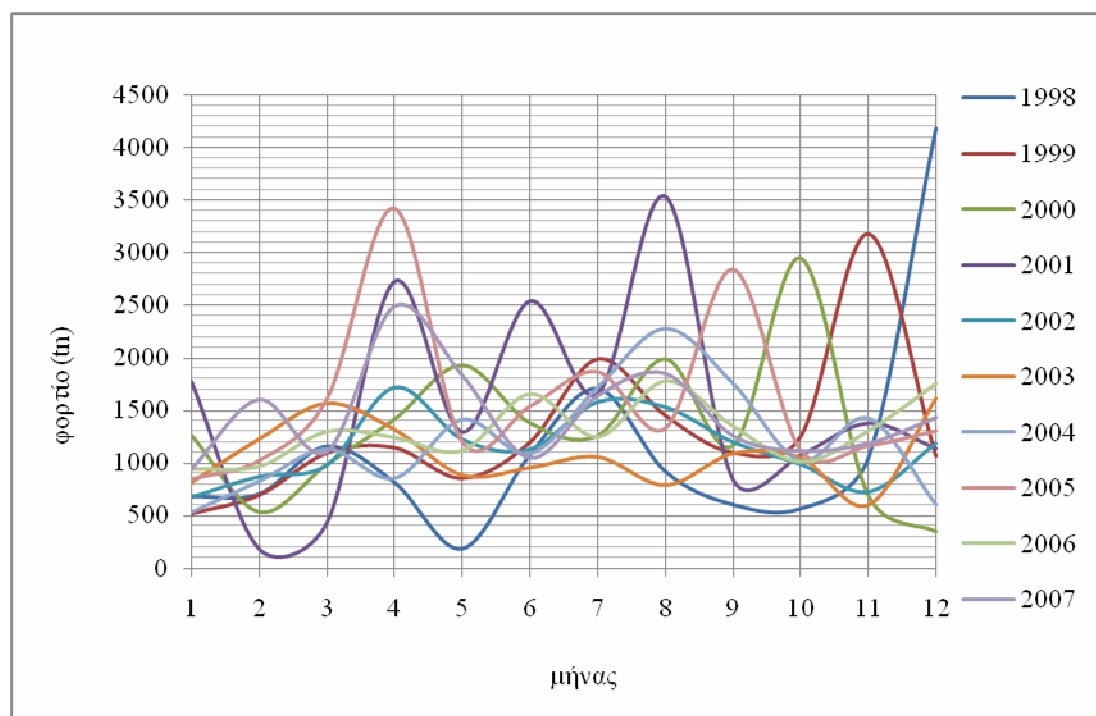


Σχήμα 3.3. Εισαγωγές και εξαγωγές της Κρήτης από και προς την Ιταλία και τη Γερμανία (Ε.Σ.Υ.Ε)

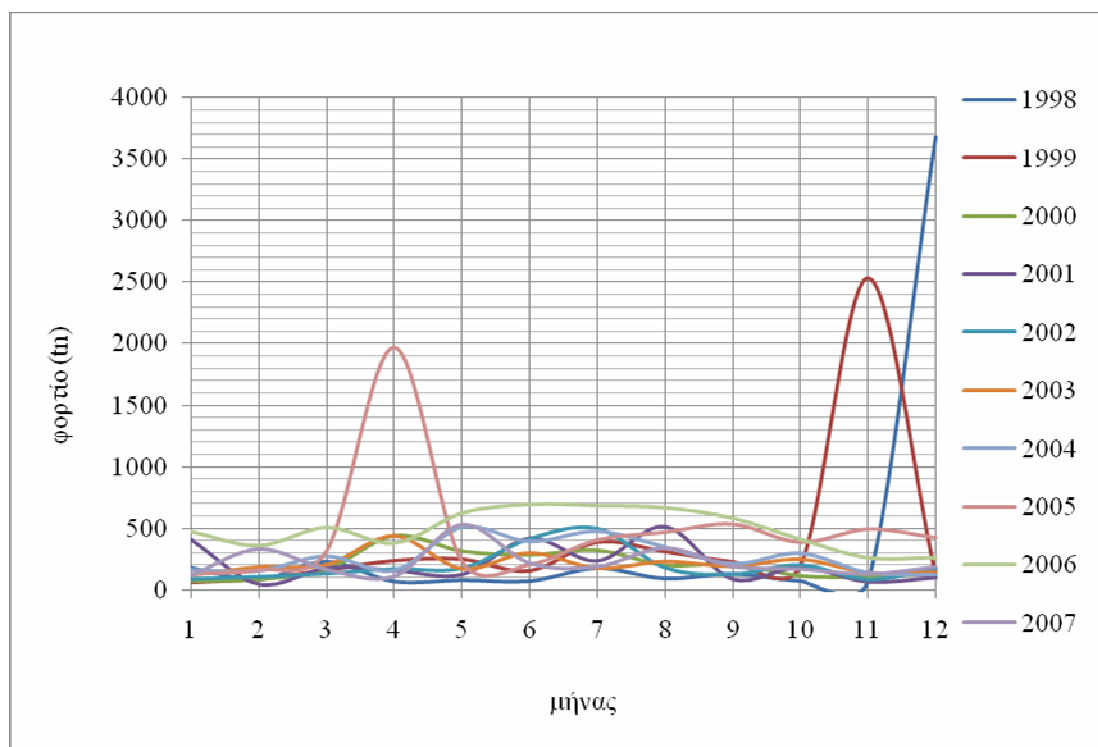


Σχήμα 3.4. Σύγκριση ροών Κρήτης (Ε.Σ.Υ.Ε)

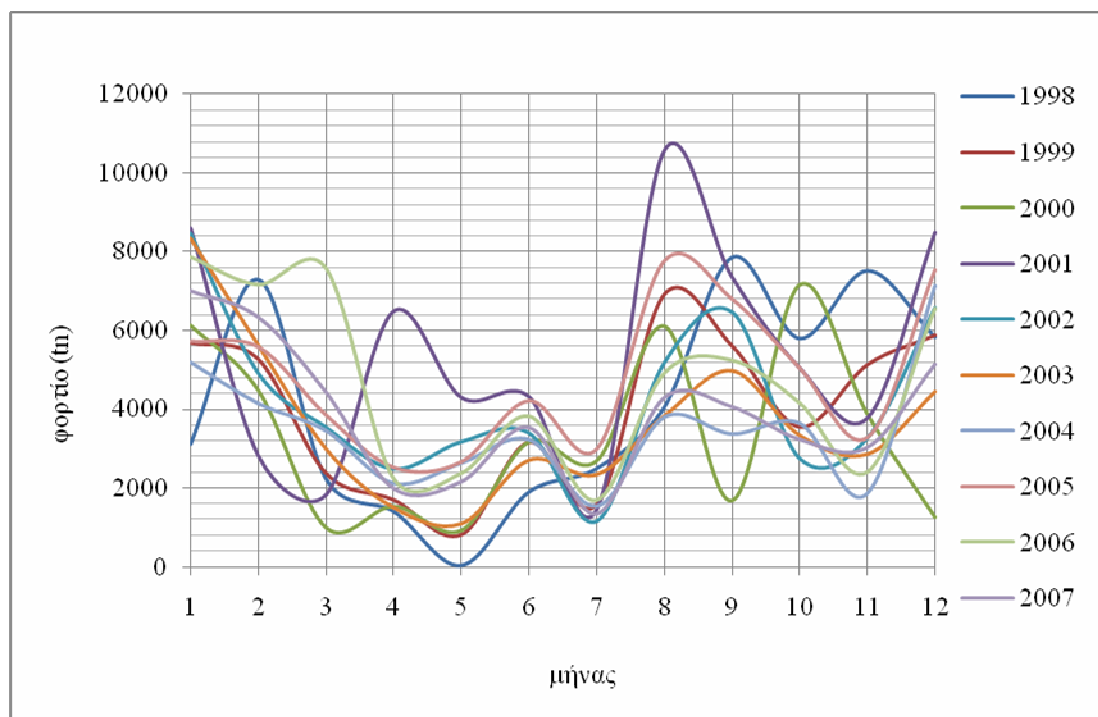
Αντίστοιχα στα παρακάτω σχήματα, φαίνονται οι μηνιαίες εισαγωγές και εξαγωγές της Κρήτης από και προς την Ιταλία και τη Γερμανία από το 1998 έως το 2007. Επιπλέον, αναδεικνύεται το ποσοστό των προϊόντων αυτών που αναφέρεται σε ευπαθή προϊόντα.



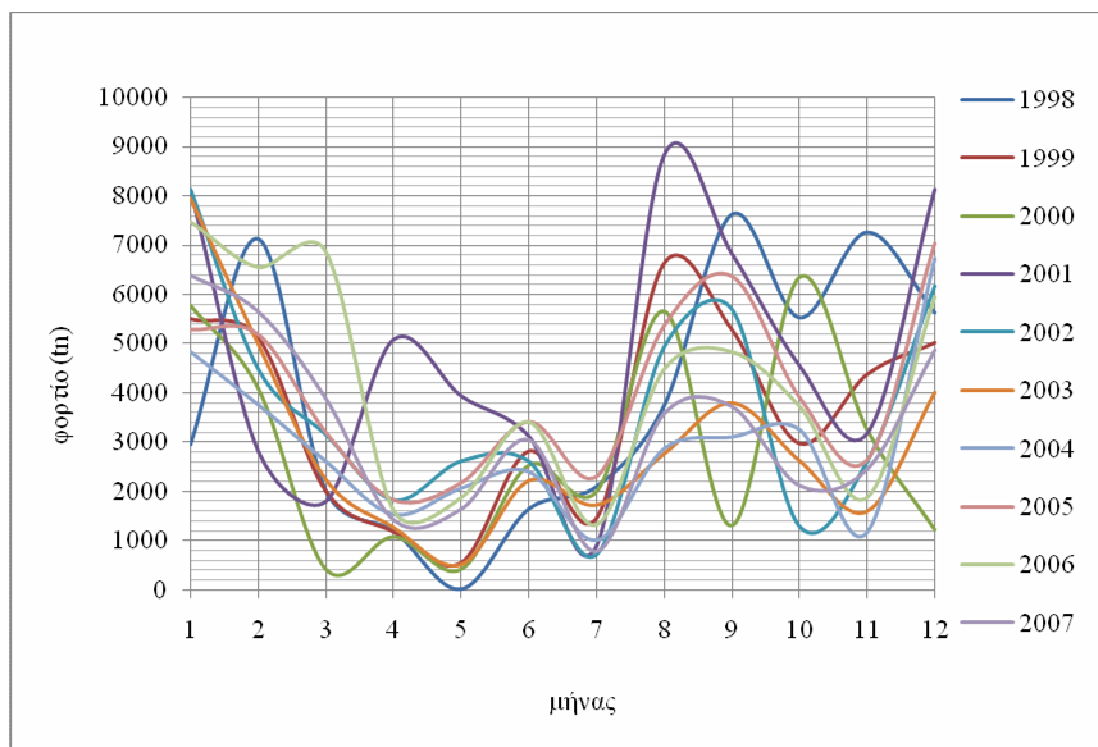
Σχήμα 3.5. Εισαγωγές Κρήτης από Γερμανία



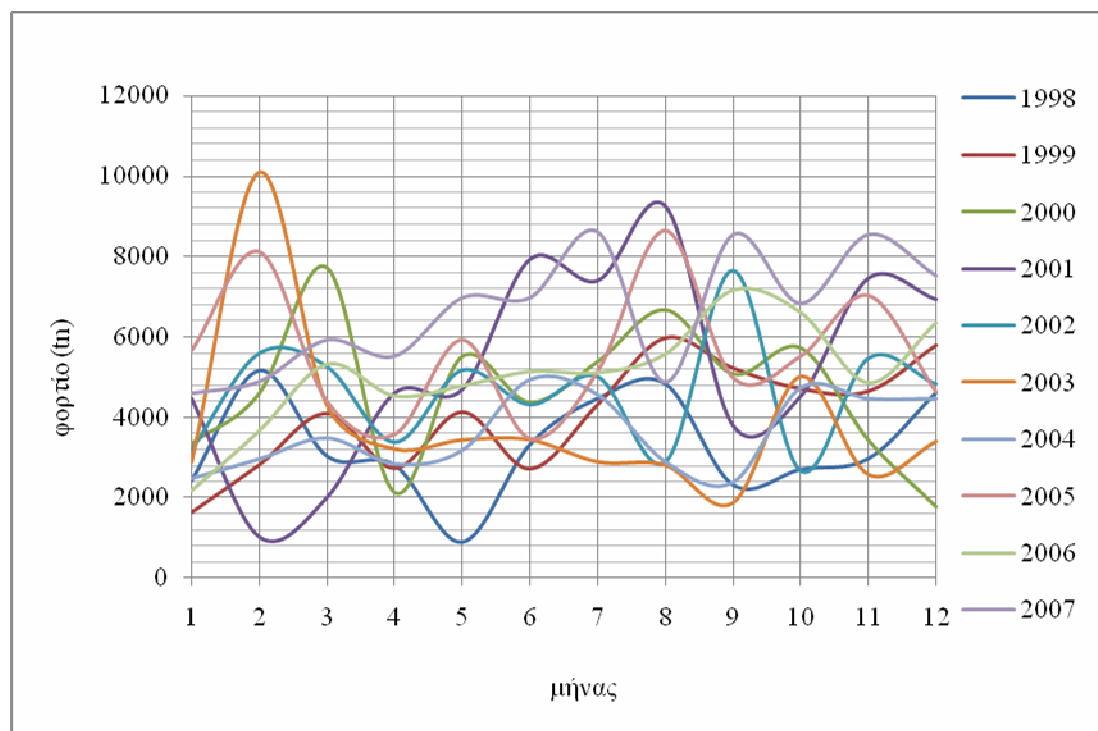
Σχήμα 3.6. Εισαγωγές ευπαθών προϊόντων Κρήτης από Γερμανία



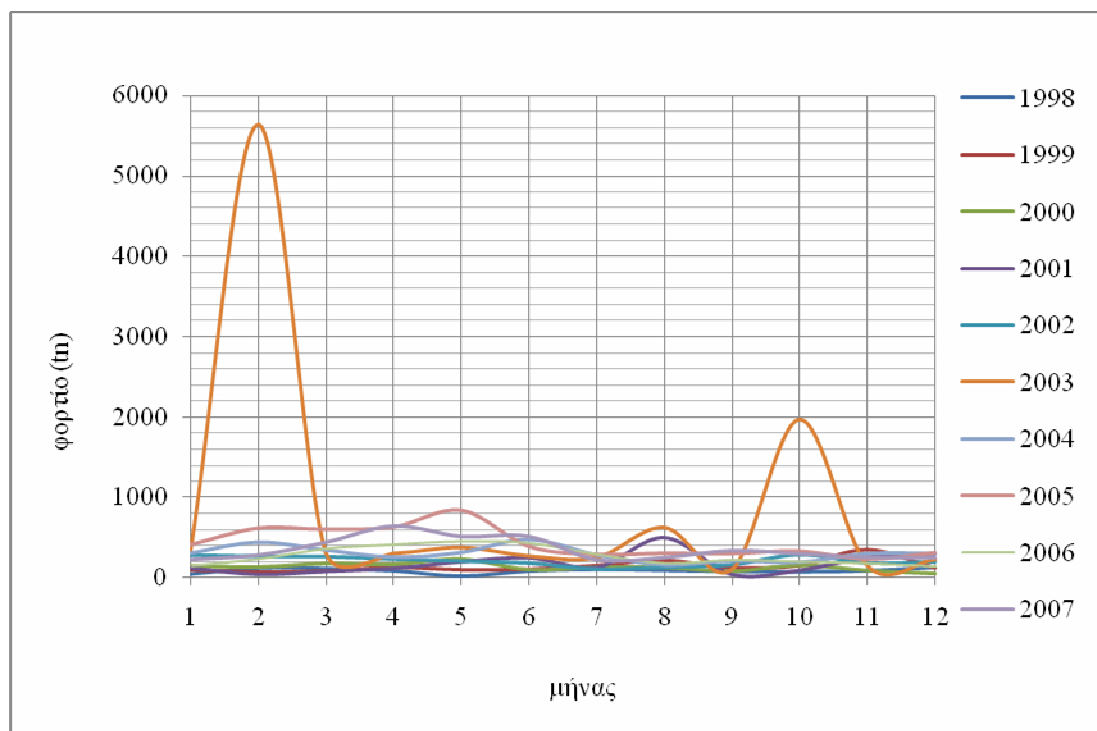
Σχήμα 3.7. Εξαγωγές Κρήτης προς Γερμανία



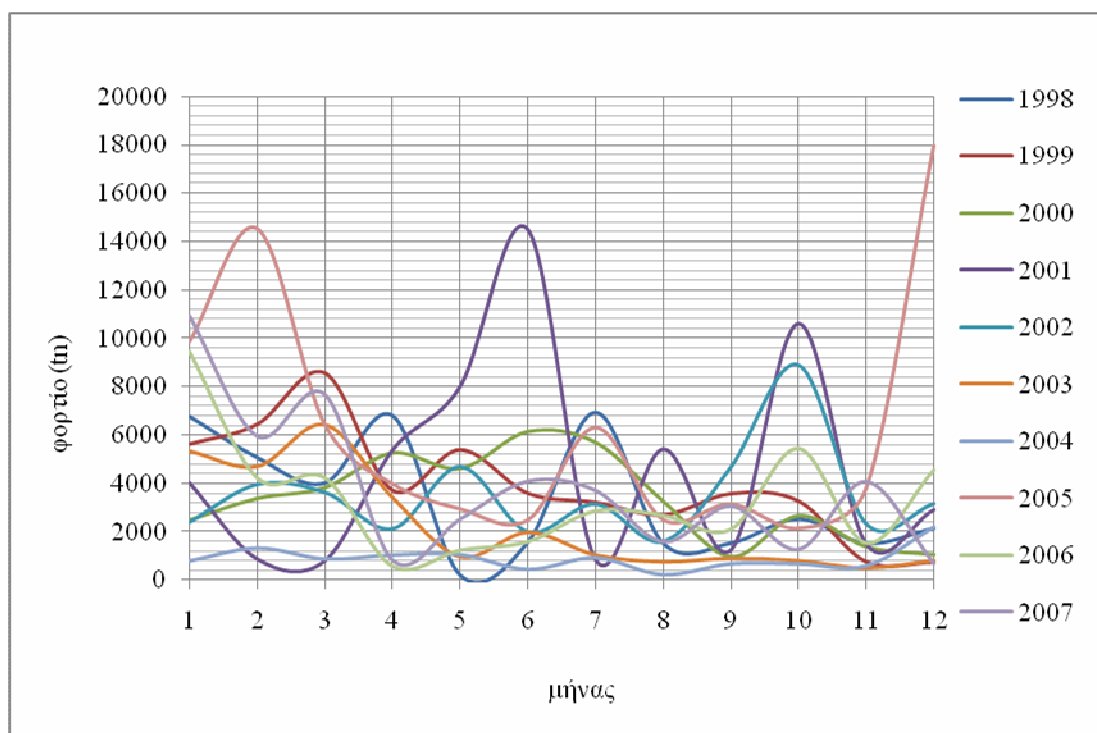
Σχήμα 3.8. Εξαγωγές ευπαθών προϊόντων Κρήτης προς Γερμανία



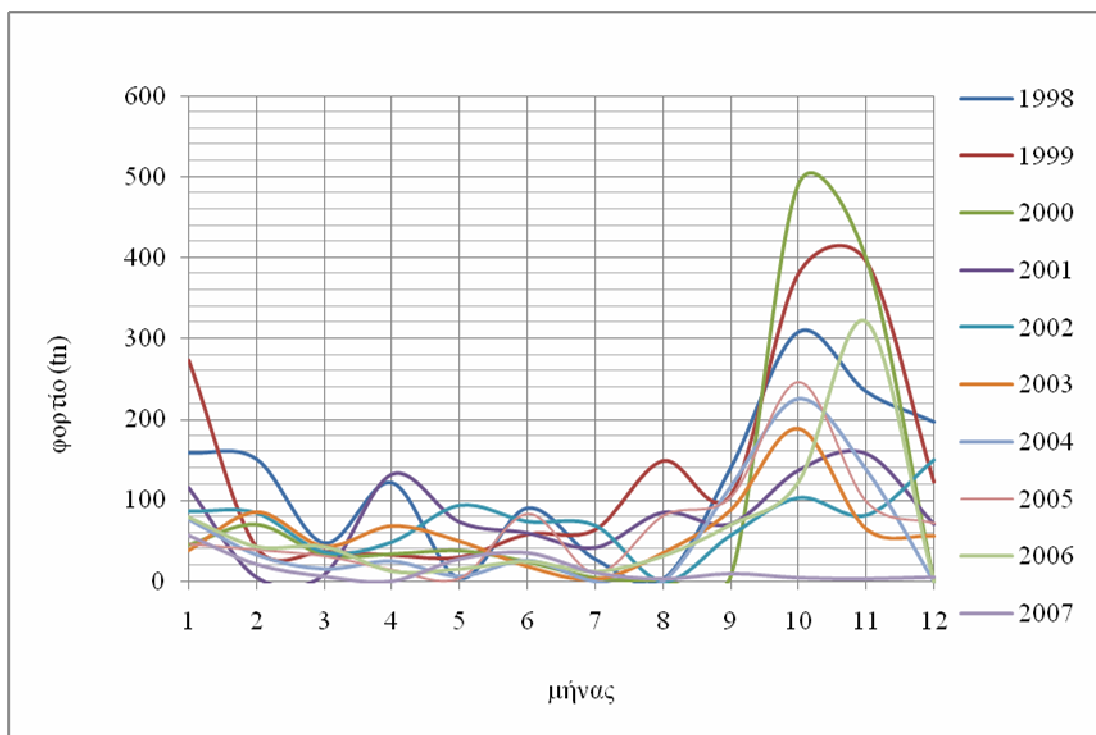
Σχήμα 3.9. Εισαγωγές Κρήτης από Ιταλία



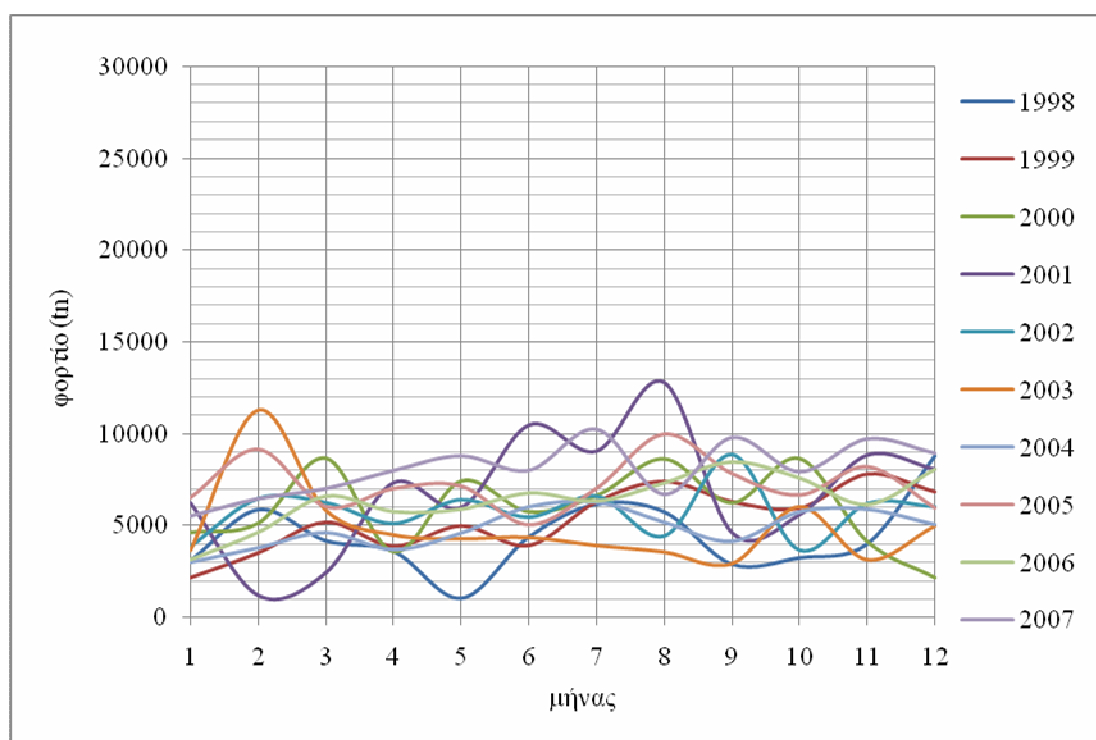
Σχήμα 3.10. Εισαγωγές ευπαθών προϊόντων Κρήτης από Ιταλία



Σχήμα 3.11. Εξαγωγές Κρήτης προς Ιταλία

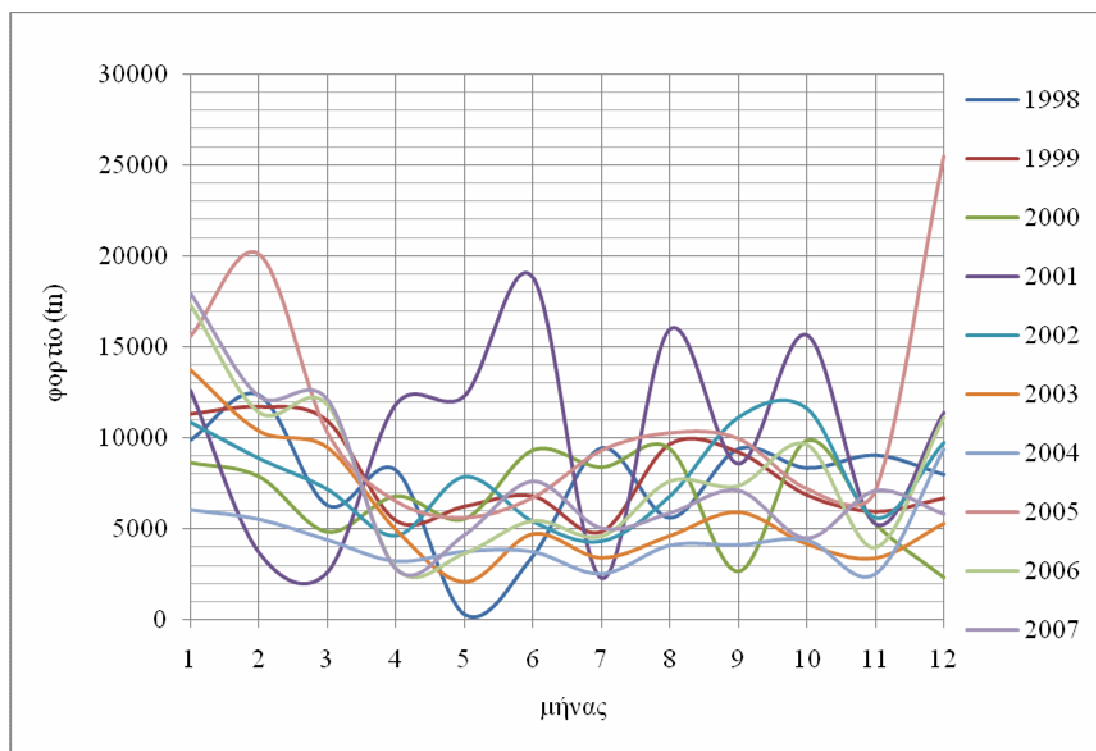


Σχήμα 3.12. Εξαγωγές ευπαθών προϊόντων Κρήτης προς Ιταλία

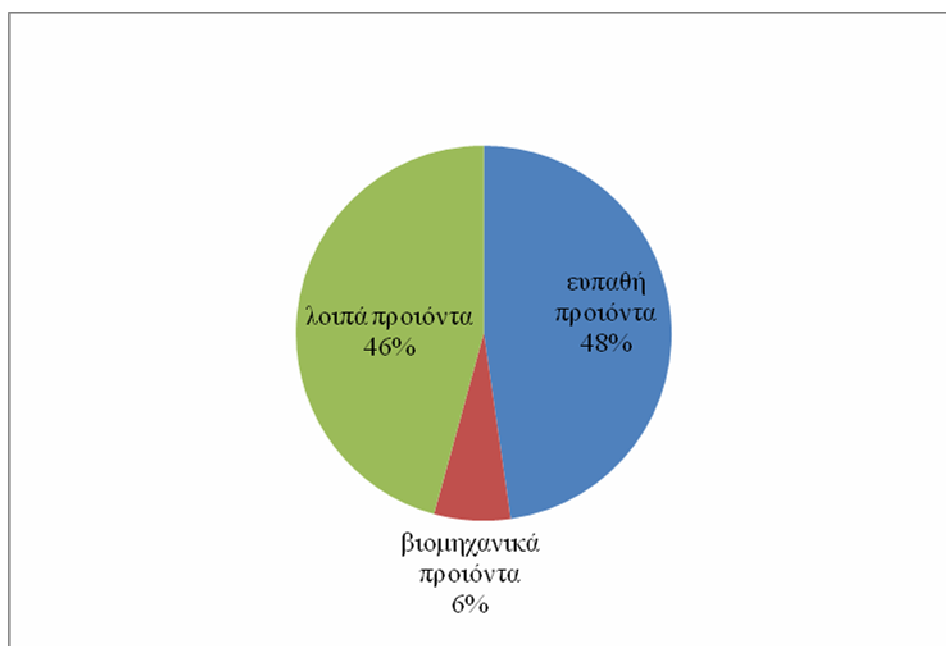


Σχήμα 3.13. Συνολικές εισαγωγές Κρήτης (Ιταλία-Γερμανία)





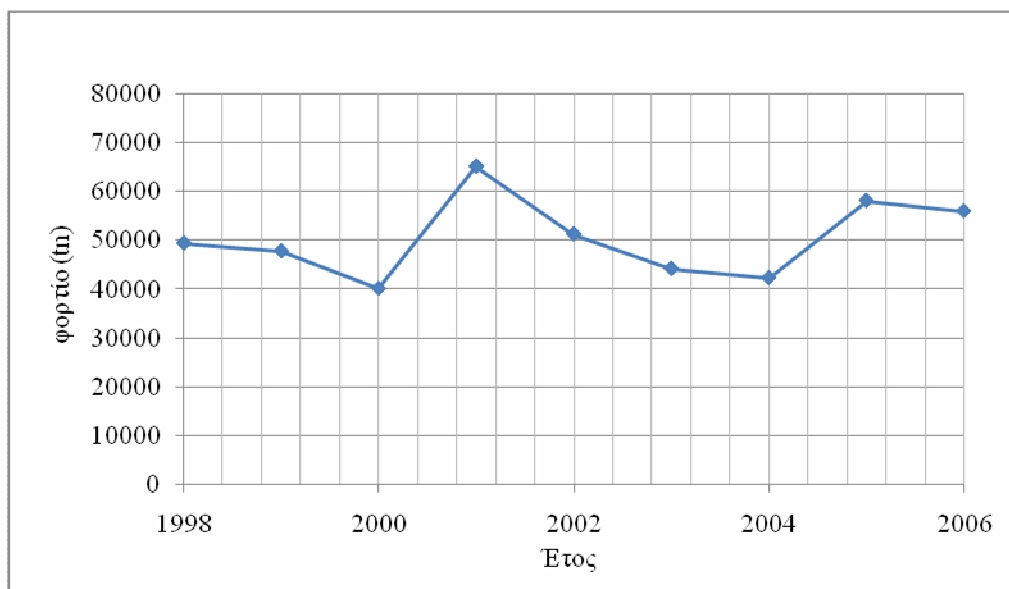
Σχήμα 3.14. Συνολικές εξαγωγές Κρήτης (Ιταλία-Γερμανία)



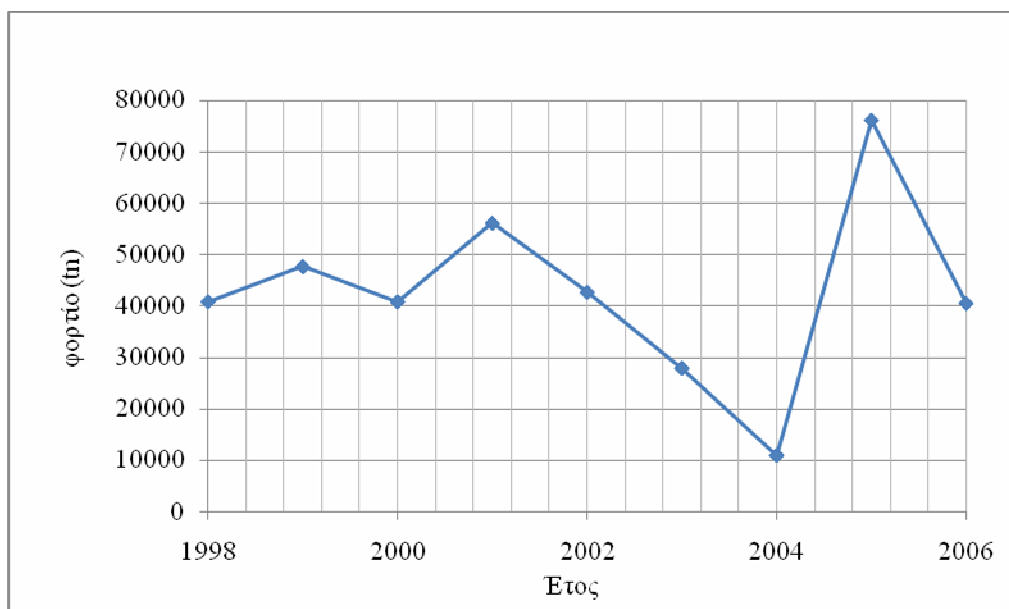
Σχήμα 3.15. Σύγκριση εξαγόμενων προϊόντων

Με βάση τα διαγράμματα αυτά, μπορούμε να θεωρήσουμε κάποια εποχικότητα της ζήτησης στο σενάριο μελέτης, ειδικά στις εξαγωγές, που οφείλεται στα ευπαθή-αγροτικά προϊόντα που εξάγονται από την Κρήτη στη Γερμανία (σχήμα 3.7). Επιπλέον, τα διαγράμματα ετήσιας ζήτησης που παρουσιάζονται παρακάτω δεν δείχνουν θεαματικές διαχρονικές αλλαγές. Μια σημαντική πτώση στις εξαγωγές

έλαβε χώρα το 2004, που αποδίδεται στην αυξανόμενη εγχώρια ζήτηση σε αγροτικά προϊόντα λόγω των Ολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας. Επομένως, μπορούμε να υποθέσουμε κάποια πιθανή ετήσια/μηνιαία απαίτηση για τις εξαγωγές και τις εισαγωγές.



Σχήμα 3.16. Ετήσιες εξαγωγές προς Γερμανία



Σχήμα 3.17. Ετήσιες εξαγωγές προς Ιταλία

Με βάση την κατ' εκτίμηση ροή φορτίου αναπτύσσεται ένας πίνακας συχνότητας της προσφερόμενης υπηρεσίας ανά μήνα προκειμένου να ληφθεί υπόψη η εποχικότητα στη ζήτηση, κρατώντας σταθερή τη μεταφορική ικανότητα του πλοίου.

Πίνακας 3.3. Συχνότητα υπηρεσίας.

μήνας	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
συχνότητα/μήνα	6	5	4	3	3	3	3	4	4	4	3	4

### 3.3 ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΡΗΤΗ-ΙΤΑΛΙΑ

Η μεθοδολογία έχει εφαρμοστεί στη μεταφορά φορτίου RoRo από την Κρήτη στις αγορές της Ιταλίας και του Μονάχου στη Γερμανία. Το υπάρχον μεταφορικό σύστημα απαιτεί τη μεταφορά των αγαθών από το Ηράκλειο στο λιμένα του Πειραιά και οδικώς στην Πάτρα, προκειμένου να μεταφερθεί δια θαλάσσης στην Αγκόνα. Κατόπιν, το φορτίο φτάνει οδικώς στο Μόναχο. Η παρούσα μελέτη διερευνά την εισαγωγή μιας απευθείας θαλάσσιας σύνδεσης της Κρήτης με την Ιταλία, προσφέροντας καλύτερη υπηρεσία στο νησί. Επιπλέον, προτείνεται η μεταφορά του φορτίου με πλοία RoRo cargo σε ρυμουλκούμενα οχήματα έναντι των υπάρχοντων πλοίων RoPax με χρήση φορτηγών.

**Τα εναλλακτικά μεταφορικά σενάρια που διερευνήθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω:**

1. Νέα θαλάσσια διαδρομή Ηράκλειο- Μπρίντεζι και από εκεί χρήση του υπάρχοντος οδικού δικτύου
2. Νέα θαλάσσια διαδρομή Ηράκλειο- Βενετία και από εκεί χρήση του υπάρχοντος οδικού δικτύου
3. Νέα θαλάσσια διαδρομή Ηράκλειο- Μπάρι και από εκεί χρήση του υπάρχοντος οδικού δικτύου
4. Νέα θαλάσσια διαδρομή Ηράκλειο- Ανκόνα και από εκεί χρήση του υπάρχοντος οδικού δικτύου
5. Νέα θαλάσσια διαδρομή Χανιά- Μπρίντεζι και από εκεί χρήση του υπάρχοντος οδικού δικτύου
6. Νέα θαλάσσια διαδρομή Χανιά- Βενετία και από εκεί χρήση του υπάρχοντος οδικού δικτύου
7. Νέα θαλάσσια διαδρομή Χανιά- Μπάρι και από εκεί χρήση του υπάρχοντος οδικού δικτύου
8. Νέα θαλάσσια διαδρομή Χανιά- Ανκόνα και από εκεί χρήση του υπάρχοντος οδικού δικτύου

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι θαλάσσιες και χερσαίες αποστάσεις καθώς και ο μέσος απαιτούμενος χρόνος για τις χερσαίες αποστάσεις, αν λάβει κανείς υπόψη το χρόνο ξεκούρασης του οδηγού.

Πίνακας 3.4. Θαλάσσιες αποστάσεις.

Απόσταση (nm)	ΜΠΡΙΝΤΕΖΙ	ΒΕΝΕΤΙΑ	ΜΠΑΡΙ	ΑΝΚΟΝΑ
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	498	877	562	774
ΧΑΝΙΑ	444	823	508	720

Πίνακας 3.5. Χερσαίες αποστάσεις.

Απόσταση (Κm)	ΜΟΝΑΧΟ
ΜΠΡΙΝΤΕΖΙ	1338.6
ΒΕΝΕΤΙΑ	546
ΜΠΑΡΙ	1228.5
ΑΝΚΟΝΑ	774.2

Πίνακας 3.6. Μέσος απαιτούμενος χρόνος χερσαίων αποστάσεων.

Χρόνος (h)	ΜΟΝΑΧΟ
ΜΠΡΙΝΤΕΖΙ	30.7
ΒΕΝΕΤΙΑ	9.3
ΜΠΑΡΙ	29.1
ΑΝΚΟΝΑ	13.6



Σχήμα 3.18. Διερευνηθέντα μεταφορικά σενάρια

Στόχος της μελέτης είναι η μείωση του κόστους συγκριτικά με το υπάρχον μεταφορικό σύστημα για την απαιτούμενη μεταφορά D2D σε 2.5 μέρες. Η προτεινόμενη λύση εκτιμάται ότι θα προσελκύσει ένα μερίδιο αγοράς της τάξης του 70%, σημειώνοντας ότι διερευνήθηκαν τέσσερις περιπτώσεις περιθωρίου ζήτησης με στόχο την αποτίμηση του σχετικού ρίσκου μέσα από μια μελέτη ευαισθησίας.

Με βάση τα παραπάνω εναλλακτικά σενάρια η αναπτυχθείσα μεθοδολογία κατέληξε σε 88 βέλτιστες σχεδιάσεις πλοίων RoRo που αντιστοιχούν στα παραπάνω σενάρια και τις ακόλουθες περιπτώσεις περιθωρίου ζήτησης, ως ποσοστό της εκτιμώμενης από την στατιστική ανάλυση:

1. 70% της εκτιμώμενης ζήτησης,
2. εκτιμώμενη ζήτηση,
3. 30% προσαύξηση,
4. 50% προσαύξηση.

Κατά συνέπεια, η μεθοδολογία εξετάστηκε για ένα ευρύ φάσμα μεγέθους πλοίων (987, 1410, 1832 και 2114 LM), υποθέτοντας για τα σενάρια αυτά ότι μόνο ένα πλοίο θα ικανοποιήσει ολόκληρη τη ζήτηση φορτίου. Περαιτέρω, ο απαιτούμενος χρόνος D2D μεταβλήθηκε από 2,1 έως 2,9 ημέρες, όπως απεικονίζεται για το βέλτιστο

μεταφορικό σενάριο. Περαιτέρω μείωση του απαιτούμενου χρόνου D2D κατέστη αδύνατο να διερευνηθεί καθότι οι προκύπτουσες απαιτούμενες ταχύτητες των πλοίων και οι αντίστοιχοι αριθμοί Froude αναφέρονται σε μη συμβατικά πλοία, σε αντίθεση με τη βάση δεδομένων συμβατικών πλοίων RoRo που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας. Επιπλέον, περαιτέρω αύξηση του απαιτούμενου χρόνου D2D θεωρήθηκε μη προσοδοφόρα εξαιτίας του τύπου του φορτίου (ευπαθή προϊόντα, υψηλής αξίας). Επομένως, λόγω των διαφορετικών σεναρίων και απαιτούμενων χρόνων D2D η ταχύτητα μεταβλήθηκε από 15 έως 21.5 κόμβους, ανάλογα με τον απαιτούμενο χρόνο D2D και το μεταφορικό σενάριο.

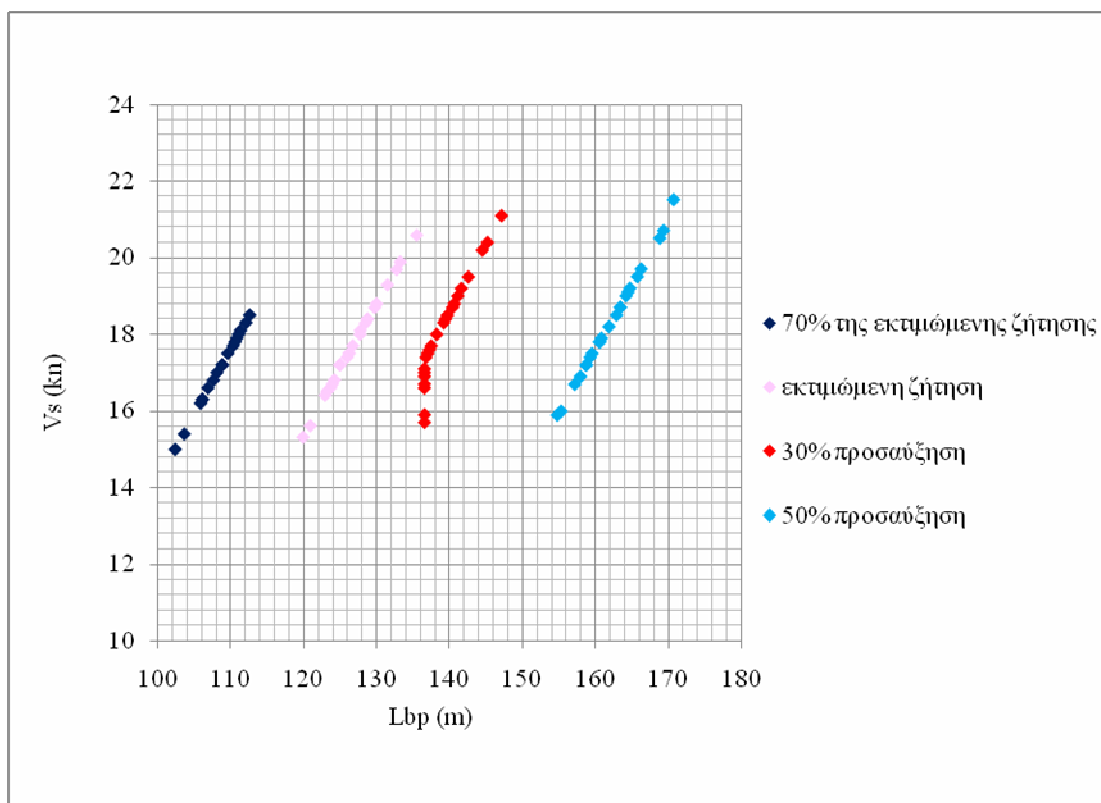
Για την οικονομική ανάλυση των παραπάνω σεναρίων έγιναν οι παρακάτω παραδοχές:

- δάνειο τύπου balloon στο έτος 10
- περίοδος αποπληρωμής δανείου και γραμμική απόσβεση σε 10 έτη
- οικονομική ζωή της επένδυσης 25 χρόνια
- τελική αξία πλοίου 5% του αρχικού κόστους
- φόρος 30%,
- επιτόκιο 10%
- κόστος κεφαλαίου 12%

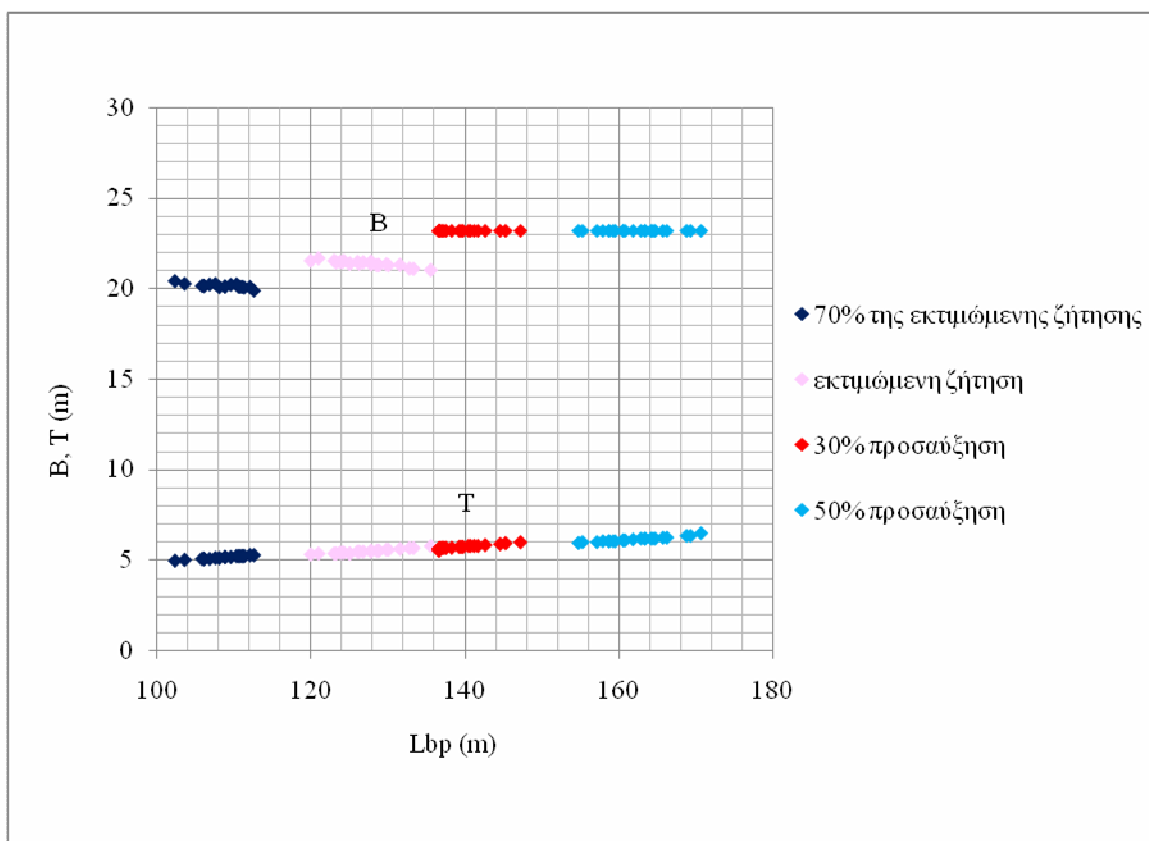
Οι αναπτυχθείσες σχεδιάσεις έχουν συγκριθεί με στοιχεία από υπάρχοντα πλοία RoRo (Friis, 2002). Οι τάσεις για τις βασικές παραμέτρους των πλοίων και την εκτιμώμενη αντίσταση, που παρουσιάζονται στα σχήματα 3.19-3.22, επιβεβαιώνουν την επιτυχία της μεθόδου.

Επιπλέον στα σχήματα 3.23-3.26 απεικονίζεται το RFR σε συνάρτηση με το χρόνο D2D, για κάθε εξεταζόμενη περίπτωση περιθωρίου ζήτησης, ενώ στα σχήματα 3.27-3.30 φαίνεται το TFR σε συνάρτηση με το χρόνο D2D, για κάθε εξεταζόμενη περίπτωση περιθωρίου ζήτησης. Τέλος, στα σχήματα 3.31-3.34 παρουσιάζονται οι εκπομπές αέριων ρύπων (CO<sub>2</sub>) της θαλάσσιας και D2D μεταφοράς σε συνάρτηση με το χρόνο D2D, για κάθε εξεταζόμενη περίπτωση περιθωρίου ζήτησης.

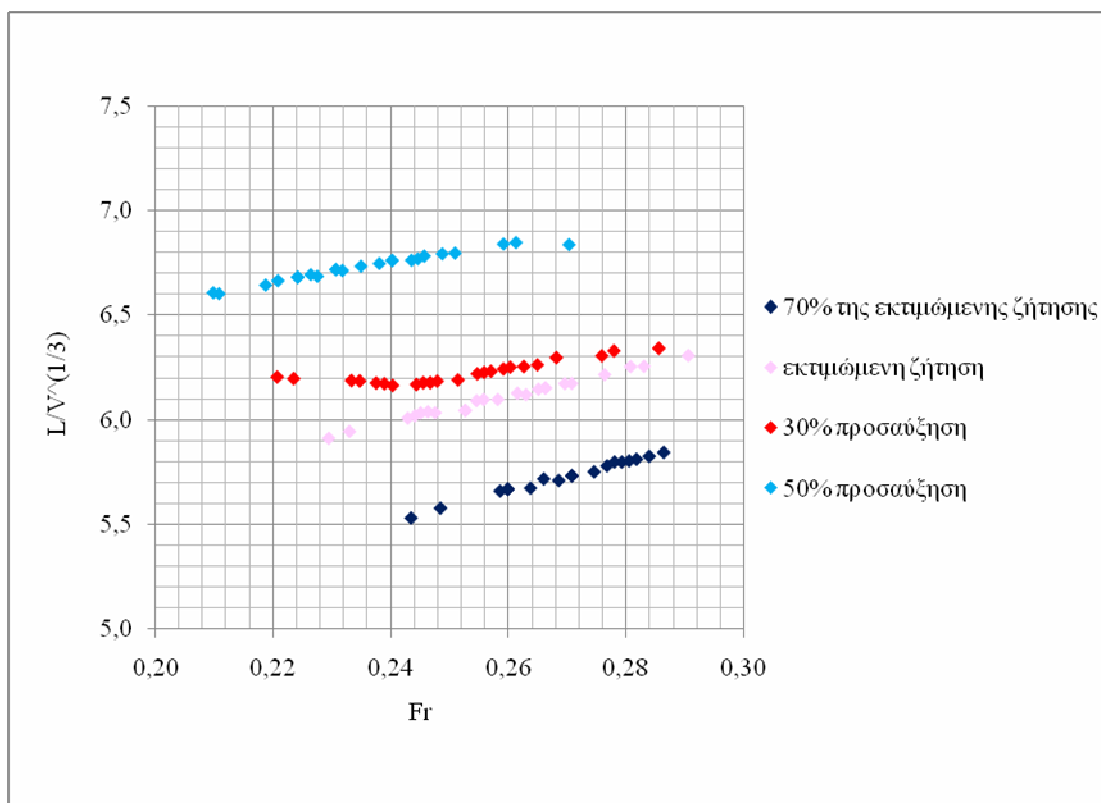
Λεπτομερή στοιχεία για τις σχεδιάσεις αυτές καθώς και τις επιδόσεις των μεταφορικών σεναρίων για τα οποία έχουν βελτιστοποιηθεί δίνονται στο Παράρτημα Η.



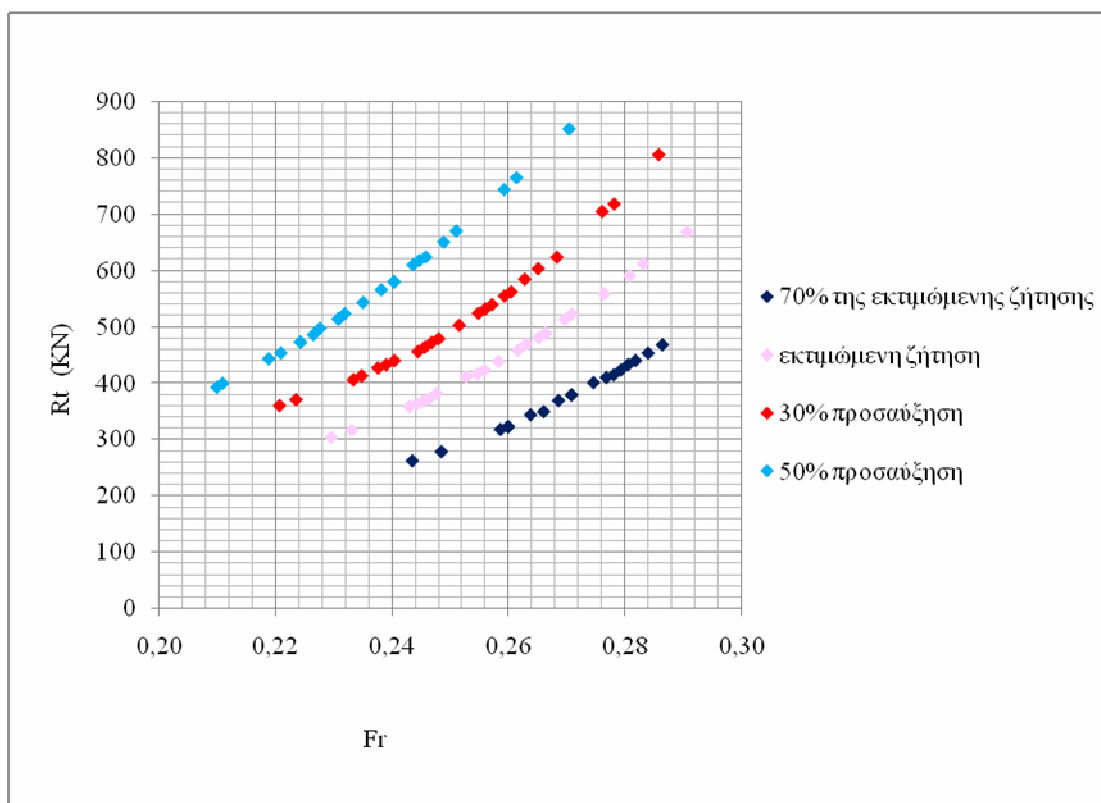
Σχήμα 3.19. Ταχύτητα σε συνάρτηση με το  $L_{bp}$



Σχήμα 3.20. B και T σε συνάρτηση με το  $L_{bp}$

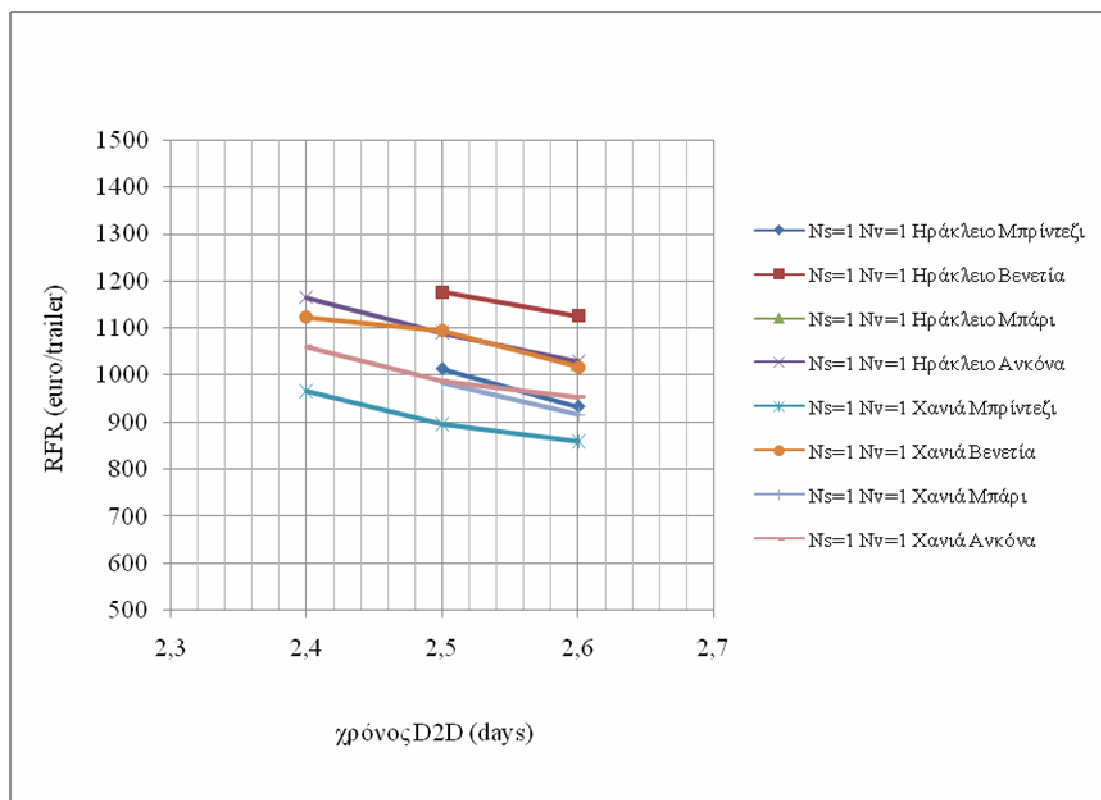


Σχήμα 3.21. Συντελεστής Λυγρότητας σε συνάρτηση με τον αριθμό Froude

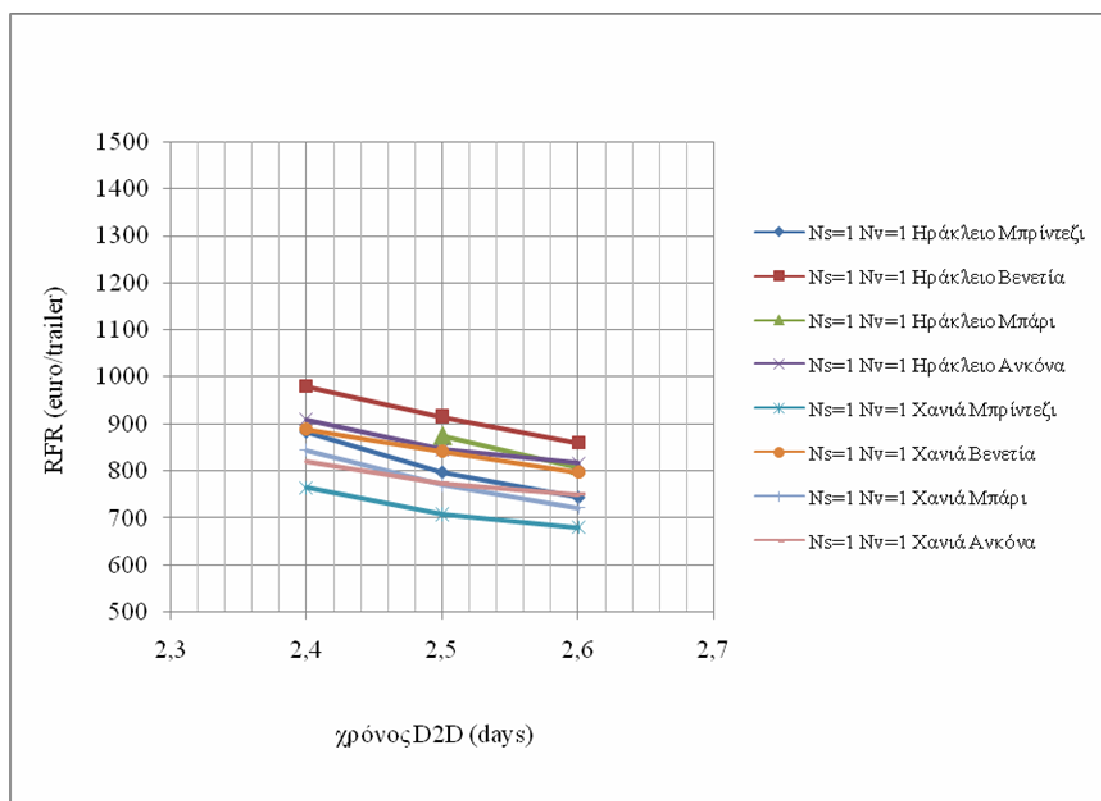


Σχήμα 3.22. Αντίσταση  $R_t$  σε συνάρτηση με τον Αριθμό Froude

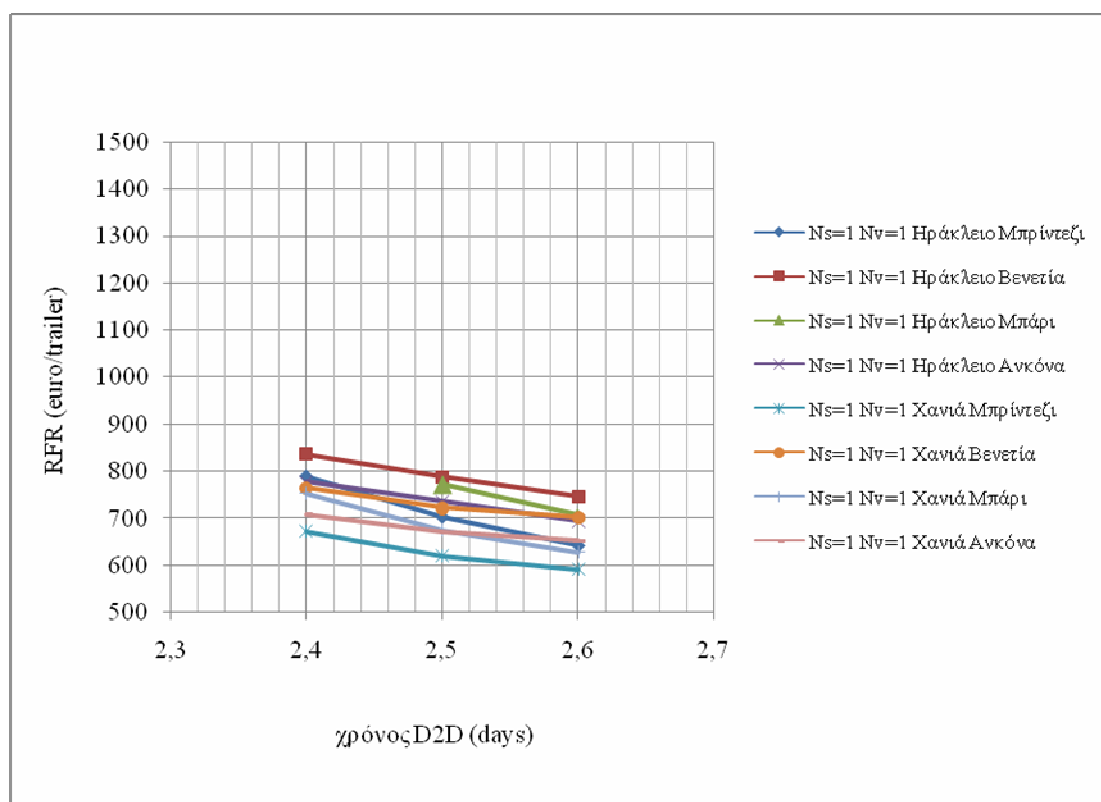




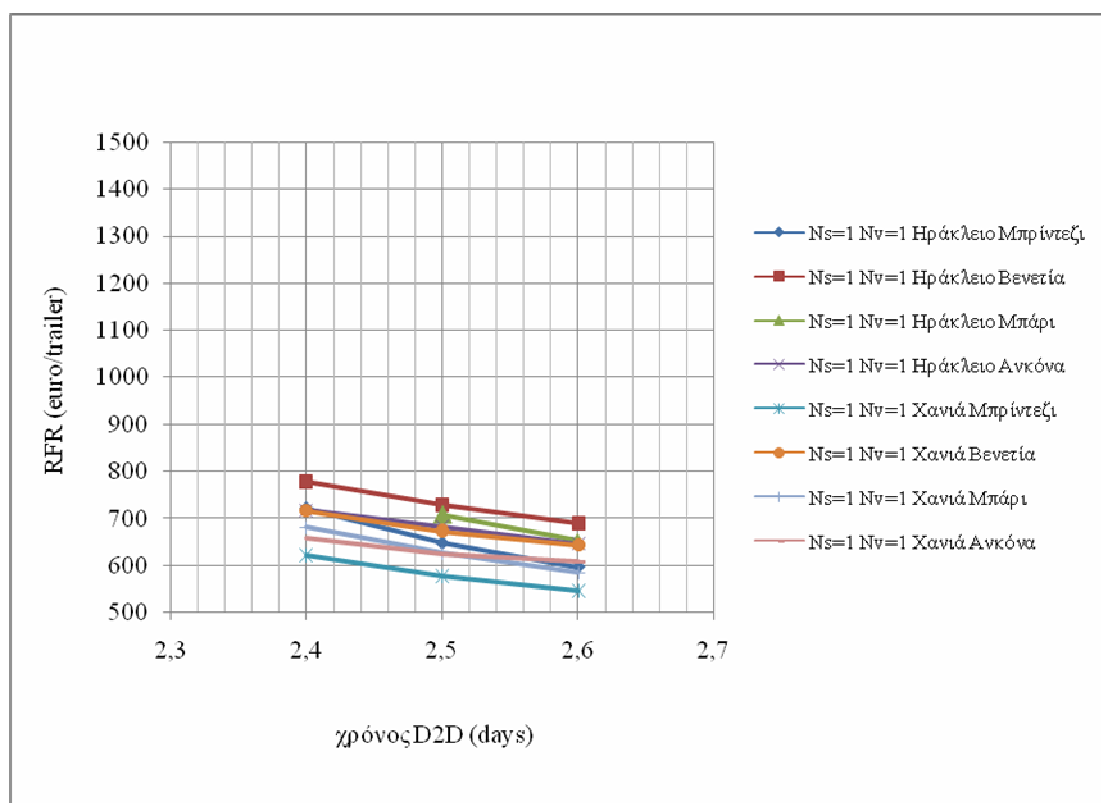
Σχήμα 3.23. Το RFR σε συνάρτηση με το χρόνο D2D για την 1<sup>η</sup> περίπτωση περιθωρίου ζήτησης (70% της εκτιμώμενης ζήτησης)



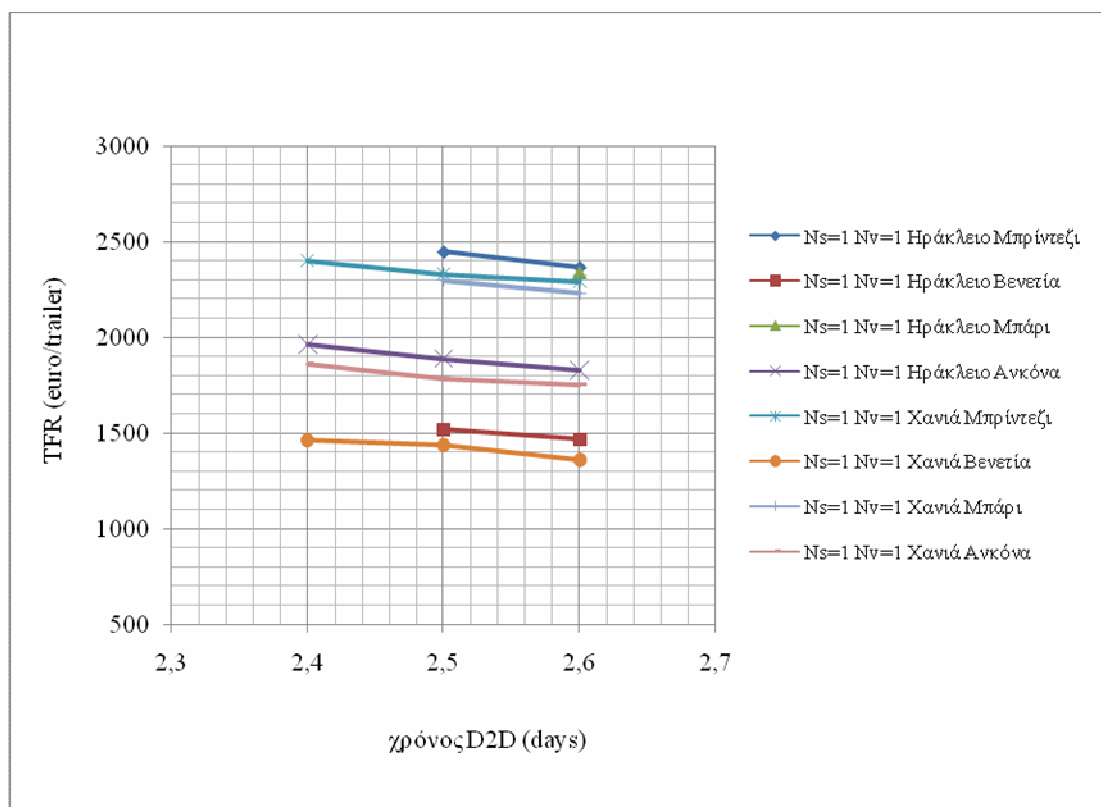
Σχήμα 3.24. Το RFR σε συνάρτηση με το χρόνο D2D για την 2<sup>η</sup> περίπτωση περιθωρίου ζήτησης (εκτιμώμενη ζήτηση)



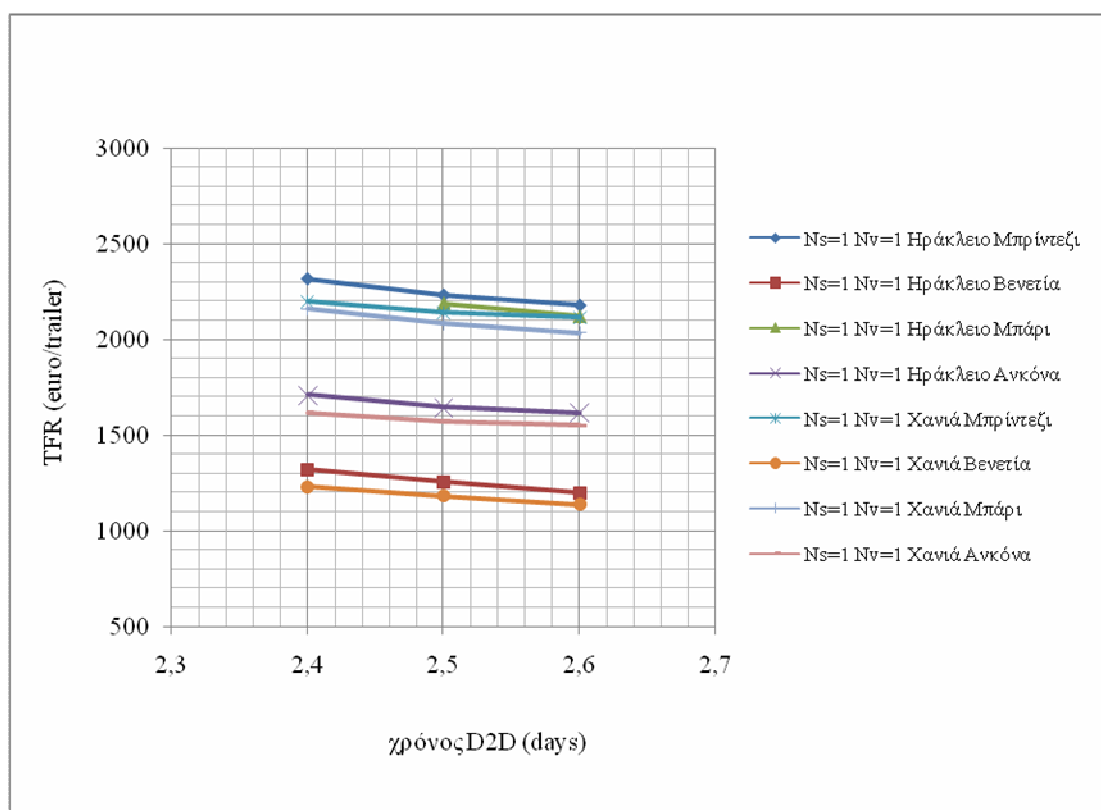
Σχήμα 3.25. Το RFR σε συνάρτηση με το χρόνο D2D για την 3<sup>η</sup> περίπτωση περιθωρίου ζήτησης (30% προσαύξηση)



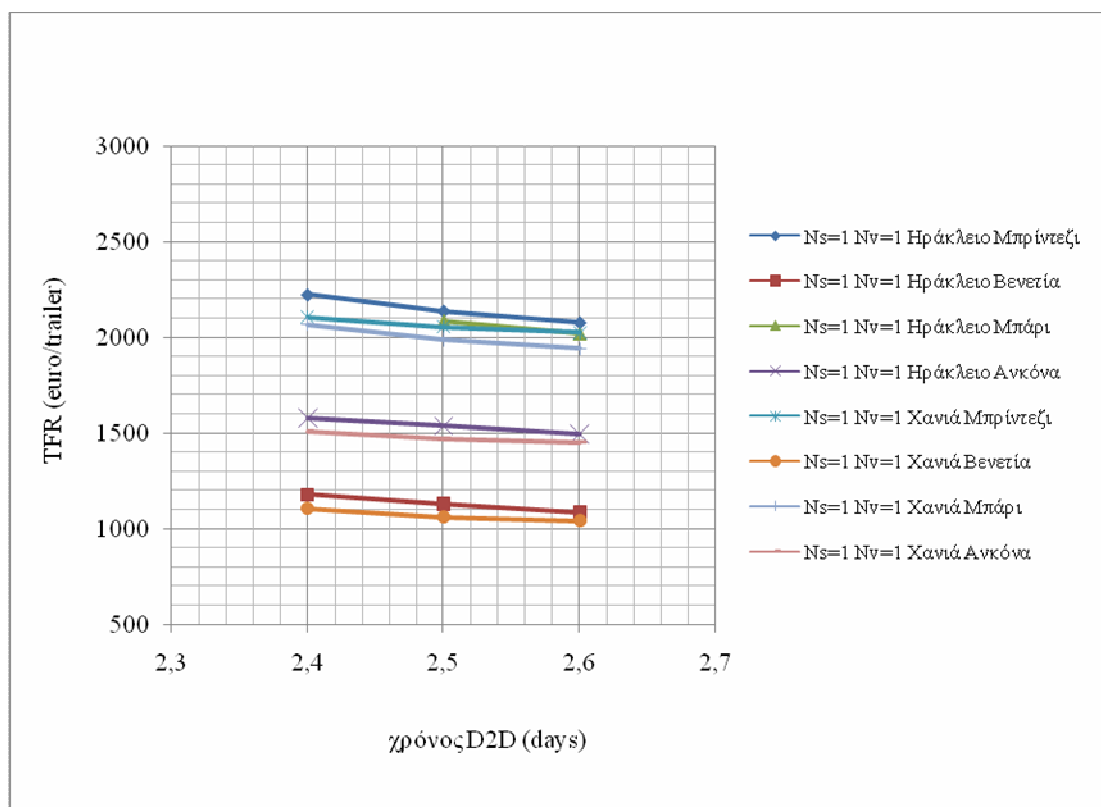
Σχήμα 3.26. Το RFR σε συνάρτηση με το χρόνο D2D για την 4<sup>η</sup> περίπτωση περιθωρίου ζήτησης (50% προσαύξηση)



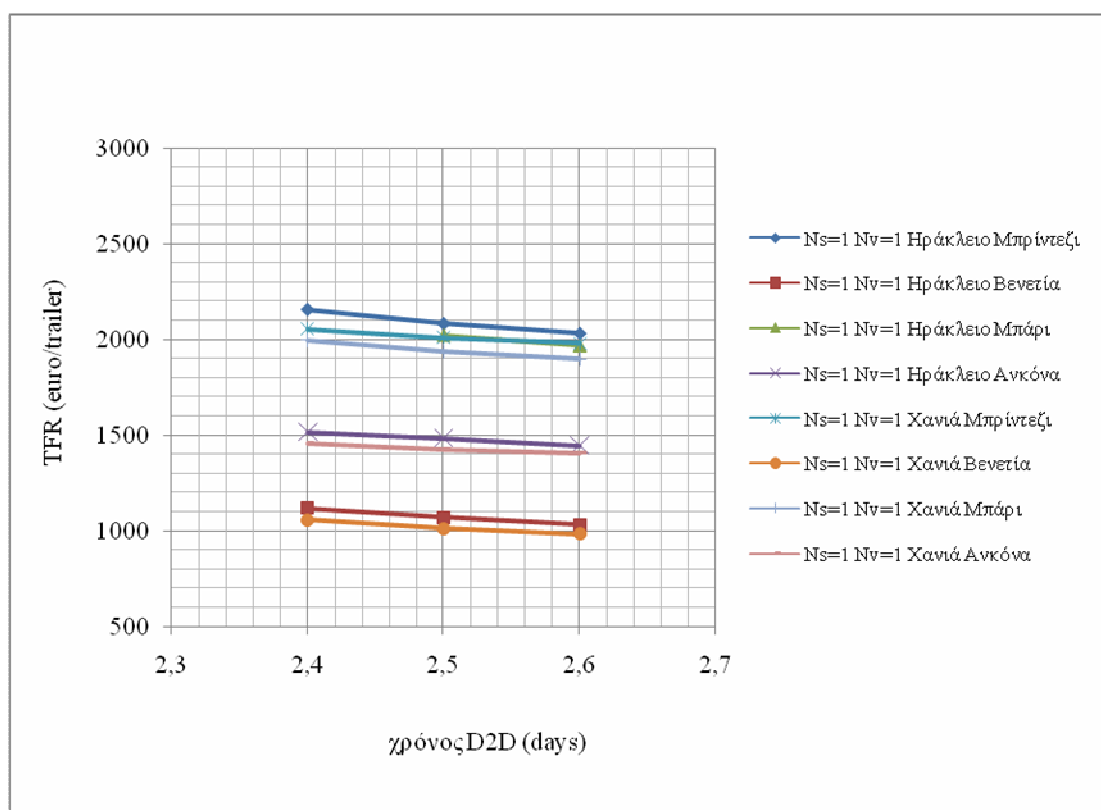
Σχήμα 3.27. Το TFR σε συνάρτηση με το χρόνο D2D για την 1<sup>η</sup> περίπτωση περιθωρίου ζήτησης (70% της εκτιμώμενης ζήτησης)



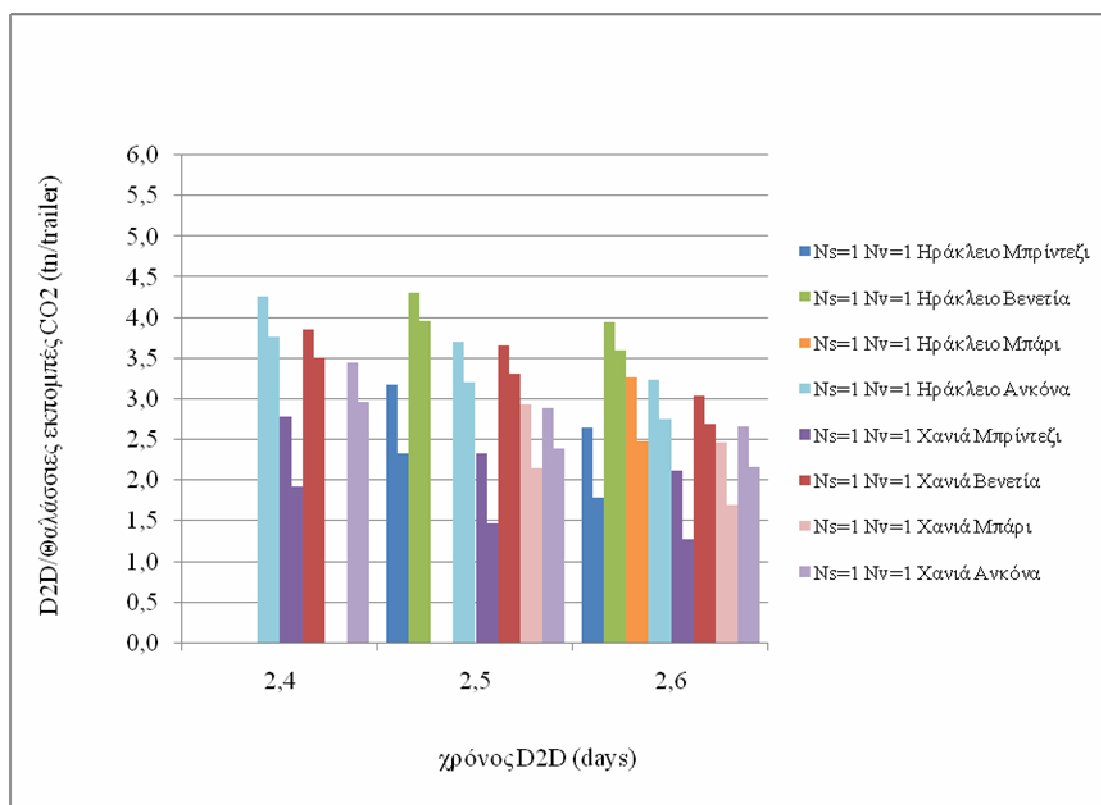
Σχήμα 3.28. Το TFR σε συνάρτηση με το χρόνο D2D για την 2<sup>η</sup> περίπτωση περιθωρίου ζήτησης (εκτιμώμενη ζήτηση)



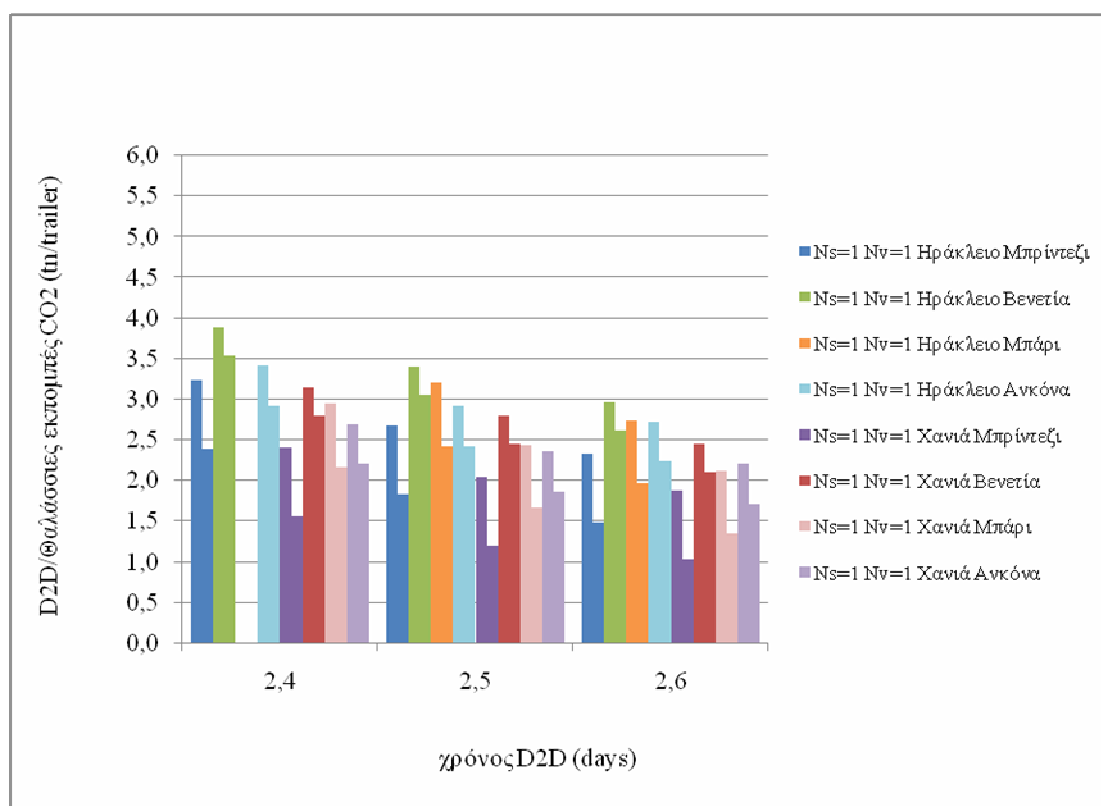
Σχήμα 3.29. Το TFR σε συνάρτηση με το χρόνο D2D για την 3<sup>η</sup> περίπτωση περιθωρίου ζήτησης (30% προσαύξηση)



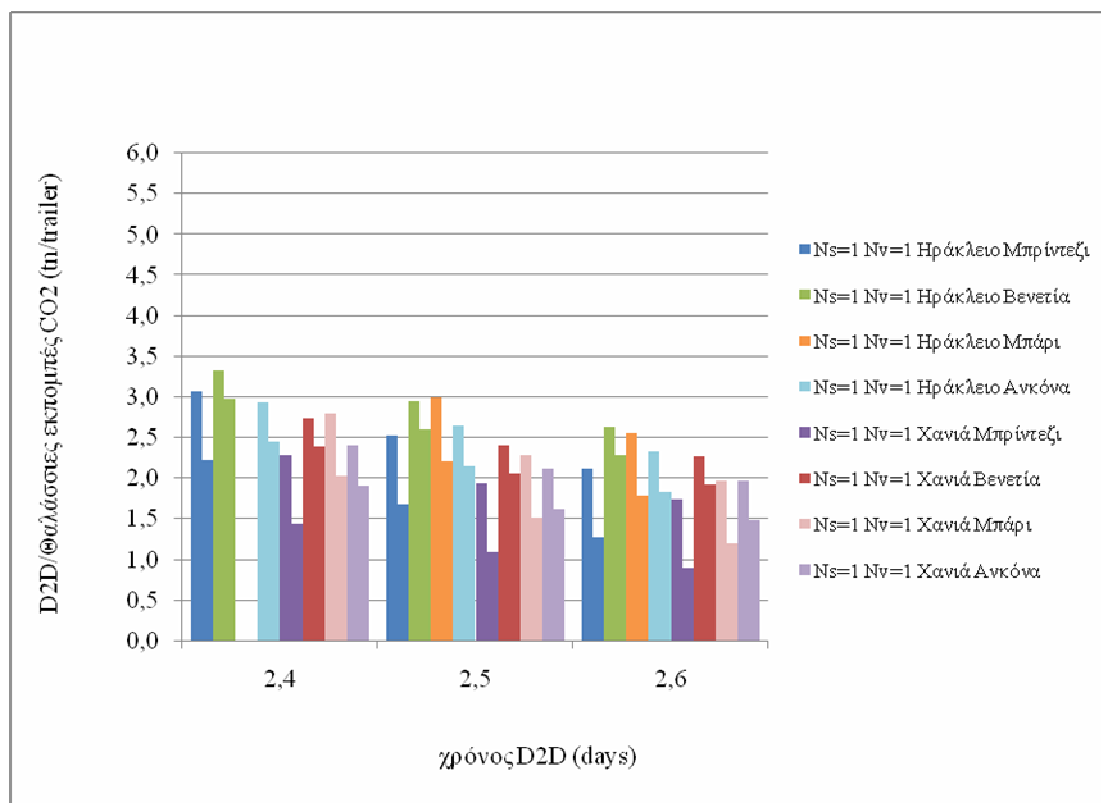
Σχήμα 3.30. Το TFR σε συνάρτηση με το χρόνο D2D για την 4<sup>η</sup> περίπτωση περιθωρίου ζήτησης (50% προσαύξηση)



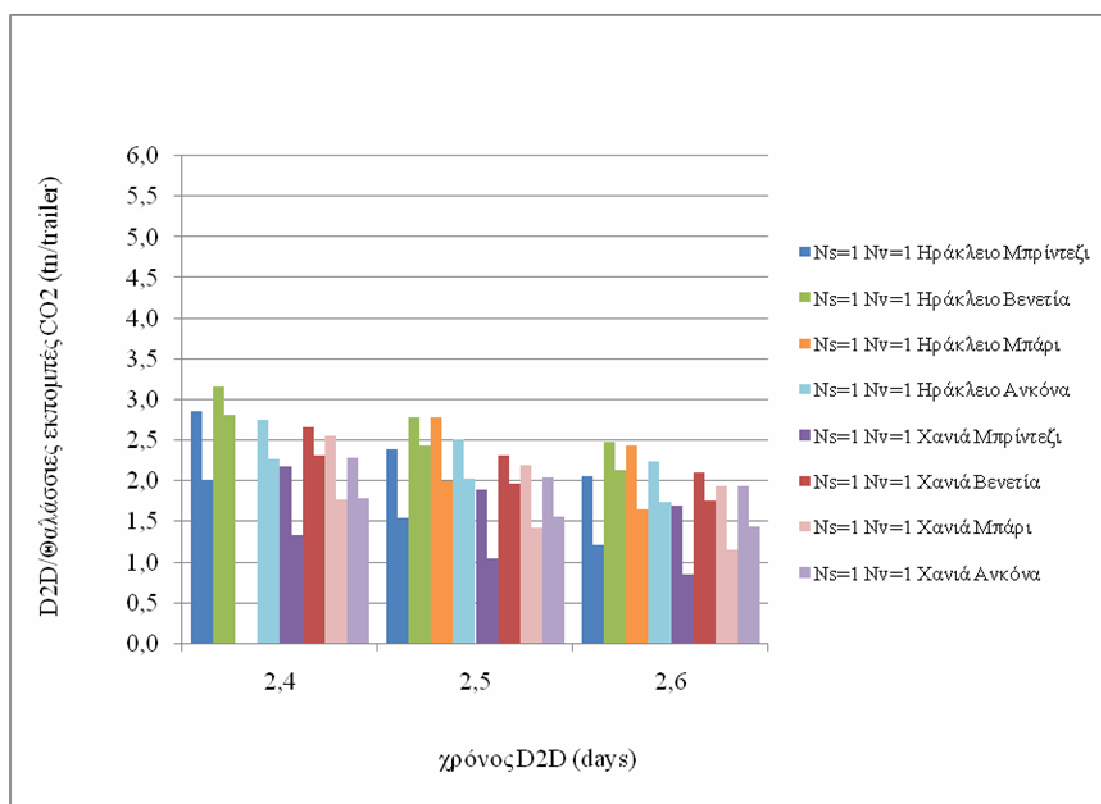
Σχήμα 3.31. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> της θαλάσσιας και D2D μεταφοράς σε συνάρτηση με το χρόνο D2D για την 1<sup>η</sup> περίπτωση περιθωρίου ζήτησης (70% της εκτιμώμενης ζήτησης)



Σχήμα 3.32. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> της θαλάσσιας και D2D μεταφοράς σε συνάρτηση με το χρόνο D2D για την 2<sup>η</sup> περίπτωση περιθωρίου ζήτησης (εκτιμώμενη ζήτηση)



Σχήμα 3.33. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> της θαλάσσιας και D2D μεταφοράς σε συνάρτηση με το χρόνο D2D για την 3<sup>η</sup> περίπτωση περιθωρίου ζήτησης (30% προσαύξηση)



Σχήμα 3.34. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> της θαλάσσιας και D2D μεταφοράς σε συνάρτηση με το χρόνο D2D για την 4<sup>η</sup> περίπτωση περιθωρίου ζήτησης (50% προσαύξηση)

### 3.3.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα συμπεράσματα που απορρέουν από τα παραπάνω διαγράμματα συνοψίζονται στα εξής:

- Το RFR ελαχιστοποιείται για το μεταφορικό σενάριο Χανιά-Μπρίντεζι-Μόναχο και για τις τέσσερις περιπτώσεις περιθωρίου ζήτησης. Το γεγονός αυτό σχετίζεται αφ' ενός με τη θαλάσσια απόσταση αλλά και την απαιτούμενη ταχύτητα του πλοίου.
- Ελαχιστοποίηση του κόστους θαλάσσιας μεταφοράς δεν οδηγεί πάντα στο ελάχιστο D2D κόστος. Το TFR ελαχιστοποιείται για το μεταφορικό σενάριο Χανιά-Βενετία-Μόναχο και για τις τέσσερις περιπτώσεις περιθωρίου ζήτησης.
- Το RFR για ένα μεταφορικό σενάριο μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους του πλοίου, όταν αυτή αντιστοιχεί σε αύξηση της ζήτησης.
- Το RFR για ένα μεταφορικό σενάριο αυξάνεται με τη μείωση του απαιτούμενου χρόνου D2D, που αντιστοιχεί σε αύξηση της απαιτούμενης ταχύτητας υπηρεσίας του πλοίου.
- Οι θαλάσσιες εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά ρυμουλκούμενο όχημα για ένα μεταφορικό σενάριο μειώνονται με την αύξηση του μεγέθους του πλοίου, όταν αυτή αντιστοιχεί σε αύξηση της ζήτησης.
- Οι θαλάσσιες εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά ρυμουλκούμενο όχημα για ένα μεταφορικό σενάριο αυξάνονται με τη μείωση του απαιτούμενου χρόνου D2D, που αντιστοιχεί σε αύξηση της απαιτούμενης ταχύτητας υπηρεσίας του πλοίου.
- Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά ρυμουλκούμενο όχημα αποτελούν συνάρτηση της ταχύτητας του πλοίου, της ποσότητας του μεταφερόμενου φορτίου-μέγεθος πλοίου, της απόστασης, της αναλογίας χερσαίου/θαλάσσιου τμήματος μεταφοράς και του ποσοστού πληρότητας σε κάθε ένα απ' αυτά. Επομένως, δεν μπορεί κανείς να εξάγει εύκολα συμπεράσματα ως προς τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διάφορων μεταφορικών σεναρίων.
- Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά ρυμουλκούμενο όχημα ελαχιστοποιούνται για το μεταφορικό σενάριο Χανιά-Μπρίντεζι-Μόναχο και για τις τέσσερις περιπτώσεις περιθωρίου ζήτησης. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η θαλάσσια μεταφορά εξυπηρετεί ολόκληρη την ποσότητα του φορτίου ενώ μόνο μέρος αυτής συνεχίζει το ταξίδι οδικώς προς την Γερμανία. Επιπλέον, έχει θεωρηθεί ότι οποιοδήποτε λιμάνι της Ιταλίας αποτελεί αρχικό/τερματικό κόμβο της ροής φορτίου από/προς Ιταλία.

Επομένως το Pareto βέλτιστο σύνολο στο οποίο καταλήξαμε δια της βελτιστοποίησης και με κριτήρια τον απαιτούμενο χρόνο D2D, τον απαιτούμενο ναύλο D2D (TFR) και τις εκπομπές αερίων ρύπων CO<sub>2</sub>, περιλαμβάνει τις λύσεις οι επιδόσεις των οποίων παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα, ενώ λεπτομερή στοιχεία μπορεί κανείς να αναζητήσει στο Παράρτημα Η. Οι λύσεις αυτές σύμφωνα με την ενότητα 1.7 ανήκουν στο Pareto βέλτιστο σύνολο επειδή δεν υπάρχει άλλη λύση που επιφέρει βελτίωση ενός κριτηρίου χωρίς να προκαλέσει ταυτόχρονα την μείωση της επίδοσης ενός τουλάχιστον άλλου κριτηρίου. Το δε περιθώριο ζήτησης ή μερίδιο αγοράς αποτελεί κριτήριο λήψης αποφάσεων στα πλαίσια της αποτίμησης ρίσκου και μελέτης ευαισθησίας, με την έννοια ότι μεγαλύτερο μέγεθος πλοίου προσδίδει τη δυνατότητα απορρόφησης μεγαλύτερης πιθανής ζήτησης.

Πίνακας 3.7. Το Pareto βέλτιστο σύνολο για την εφαρμογή της απευθείας σύνδεσης Κρήτης-Ιταλίας

	ΚΡΗΤΗ	ΙΤΑΛΙΑ	ΧΡΟΝΟΣ D2D (days)	TFR (euro)	CO <sub>2</sub> (tn/trailer)	ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΖΗΤΗΣΗΣ
ID 2	Χανιά	Μπρίντεζι	2.4	2399	2.77	70% της εκτιμώμενης ζήτησης
ID 3	Χανιά	Βενετία	2.4	1464	3.85	70% της εκτιμώμενης ζήτησης
ID 8	Χανιά	Μπρίντεζι	2.5	2329	2.32	70% της εκτιμώμενης ζήτησης
ID 9	Χανιά	Βενετία	2.5	1436	3.65	70% της εκτιμώμενης ζήτησης
ID 16	Χανιά	Μπρίντεζι	2.6	2293	2.12	70% της εκτιμώμενης ζήτησης
ID 17	Χανιά	Βενετία	2.6	1359	3.04	70% της εκτιμώμενης ζήτησης
ID 4	Χανιά	Μπρίντεζι	2.4	2198	2.40	εκτιμώμενη ζήτηση
ID 5	Χανιά	Βενετία	2.4	1230	3.15	εκτιμώμενη ζήτηση
ID 12	Χανιά	Μπρίντεζι	2.5	2142	2.05	εκτιμώμενη ζήτηση
ID 13	Χανιά	Βενετία	2.5	1183	2.79	εκτιμώμενη ζήτηση
ID 20	Χανιά	Μπρίντεζι	2.6	2114	1.88	εκτιμώμενη ζήτηση
ID 21	Χανιά	Βενετία	2.6	1139	2.45	εκτιμώμενη ζήτηση
ID 4	Χανιά	Μπρίντεζι	2.4	2106	2.28	30% προσαύξηση
ID 5	Χανιά	Βενετία	2.4	1105	2.73	30% προσαύξηση
ID 12	Χανιά	Μπρίντεζι	2.5	2054	1.94	30% προσαύξηση
ID 13	Χανιά	Βενετία	2.5	1062	2.41	30% προσαύξηση
ID 20	Χανιά	Μπρίντεζι	2.6	2025	1.75	30% προσαύξηση
ID 21	Χανιά	Βενετία	2.6	1043	2.27	30% προσαύξηση
ID 4	Χανιά	Μπρίντεζι	2.4	2055	2.17	50% προσαύξηση
ID 5	Χανιά	Βενετία	2.4	1057	2.65	50% προσαύξηση



ID 12	Χανιά	Μπρίντεζι	2.5	2010	1.89	50% προσαύξηση
ID 13	Χανιά	Βενετία	2.5	1014	2.32	50% προσαύξηση
ID 20	Χανιά	Μπρίντεζι	2.6	1979	1.69	50% προσαύξηση
ID 21	Χανιά	Βενετία	2.6	985	2.10	50% προσαύξηση

Για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση θυσίας της εξίσωσης 2.71. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι βέλτιστες λύσεις για διάφορα σύνολα βαρών-σχετικής σημασίας των κριτηρίων.

Πίνακας 3.8. Βέλτιστες λύσεις με βάση την συνάρτηση θυσίας 2.71 και διάφορα σύνολα βαρών για την εφαρμογή της απευθείας σύνδεσης Κρήτης-Ιταλίας (70% της ζήτησης).

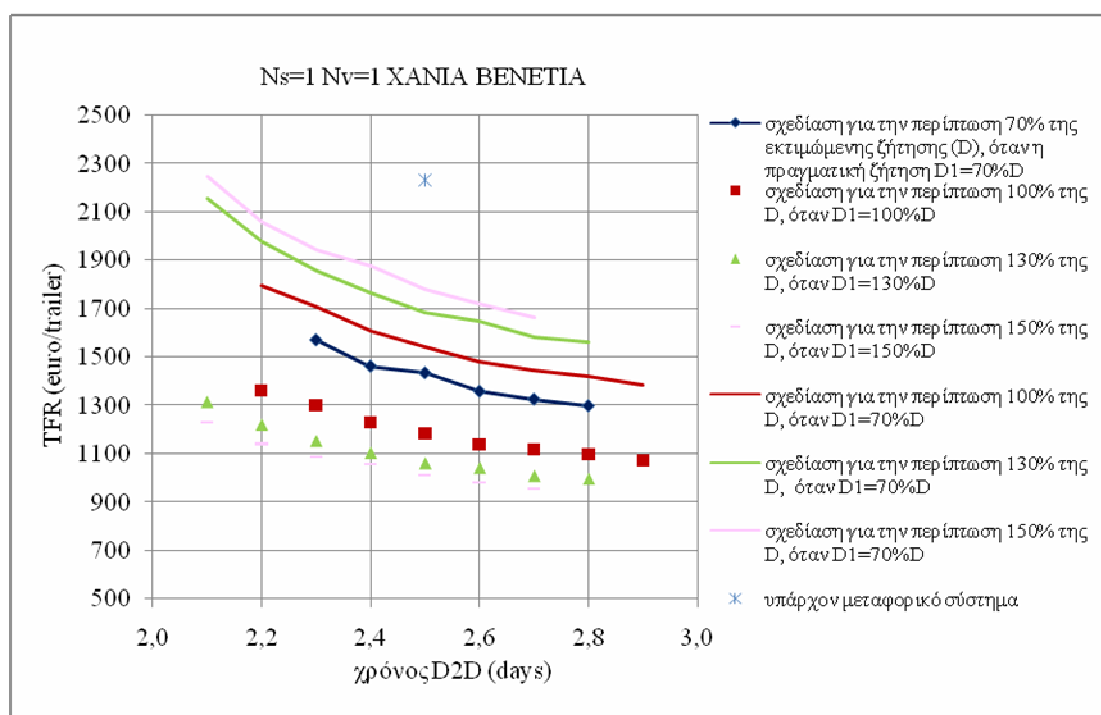
w1 (βάρος χρόνου D2D)	w2 (βάρος TFR)	w3 (βάρος CO2 D2D)	ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ
0.33	0.33	0.33	Χανιά Βενετία σε 2.4 μέρες
0.2	0.2	0.6	Χανιά Μπρίντεζι σε 2.5 μέρες
0.6	0.2	0.2	Χανιά Βενετία σε 2.4 μέρες
0.2	0.4	0.4	Χανιά Βενετία σε 2.4 μέρες
0.4	0.2	0.4	Χανιά Μπρίντεζι σε 2.4 μέρες
0.4	0.4	0.2	Χανιά Βενετία σε 2.4 μέρες
0.2	0.6	0.2	Χανιά Βενετία σε 2.4 μέρες

Με την υποστήριξη του παραπάνω πίνακα, κάποιος θα κατέληγε πιθανώς στο μεταφορικό σενάριο «Χανιά Βενετία», ενώ η μείωση του απαιτούμενου χρόνου D2D από 2.6 σε 2.4 δεν φαίνεται να φέρει σημαντικές επιπτώσεις, ως αναμενόμενο. Ενδεικτικά στον παρακάτω πίνακα δείχνουμε τη μεταβολή σε περίπτωση που ως κριτήριο ληφθεί υπόψη (και) το RFR.

Πίνακας 3.9. Μεταβολή των αποτελεσμάτων του πίνακα 3.6 αν ληφθεί υπόψη (και) το RFR (70% της ζήτησης).

w1 (βάρος χρόνου D2D)	w2 (βάρος RFR)	w3 (βάρος CO2 D2D)	w4 (βάρος TFR)	ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ
0.33	0.33	0.33	0	Χανιά Μπρίντεζι σε 2.4 μέρες
0.25	0.25	0.25	0.25	Χανιά Μπρίντεζι σε 2.4 μέρες
0.1	0.7	0.1	0.1	Χανιά Μπρίντεζι σε 2.6 μέρες
0.1	0.4	0.1	0.4	Χανιά Βενετία σε 2.6 μέρες
0.2	0.3	0.2	0.3	Χανιά Ανκόνα σε 2.5 μέρες

Στη συνέχεια, ο απαιτούμενος χρόνος D2D μεταβλήθηκε από 2,1 έως 2,9 ημέρες για το βέλτιστο μεταφορικό σενάριο «Χανιά-Βενετία» (με βάση τα κριτήρια TFR, CO<sub>2</sub> D2D, χρόνος D2D), στα πλαίσια μιας μελέτης ευαισθησίας και αποτίμησης ρίσκου. Για το σκοπό αυτό συγκρίνονται, στο σχήμα 3.35, τα TFR για όλα τα σενάρια περιθωρίου ζήτησης-αντίστοιχων βέλτιστων σχεδιάσεων πλοίων με την επίδοση που θα έχει η εκάστοτε προσφερόμενη υπηρεσία σε περίπτωση που το μερίδιο αγοράς που θα κατακτήσει δεν θα είναι το προσδοκώμενο αλλά το 70% της εκτιμώμενης ζήτησης. Τέλος, στο ίδιο σχήμα φαίνεται ο πραγματικός ναύλος D2D για το υπάρχον μεταφορικό σύστημα.



Σχήμα 3.35. TFR σε συνάρτηση με το χρόνο D2D

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το παραπάνω διάγραμμα συνοψίζονται στα εξής:

- Οι απαιτούμενοι ναύλοι μπορούν να μειωθούν ουσιαστικά σε συγκρίσιμους και ακόμα χαμηλότερους D2D χρόνους παράδοσης.
- Το ποσοστό κέρδους από την αύξηση της μεταφορικής ικανότητας είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ποσοστό ενδεχόμενης απώλειας σε περίπτωση που η ζήτηση αποδειχθεί μικρότερη από την προσδοκώμενη ή δεν απορροφηθεί το προσδοκώμενο μερίδιο. Ενώ, το μικρότερο ρίσκο αναφέρεται στην περίπτωση της σχεδίασης για την ικανοποίηση της εκτιμώμενης ζήτησης.

- Σε περίπτωση που δεν απορροφηθεί η προσδοκώμενη ζήτηση, μια μεγαλύτερη μεταφορική χωρητικότητα ακόμα και αυτή της τάξεως του 50%, μπορεί να αποδειχθεί προσοδοφόρα για τη χρονική απαίτηση της μεταφοράς, με χαμηλότερο περιθώριο κέρδους.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στην παρούσα εφαρμογή έχουν ληφθεί υπόψη ροές φορτίου από και προς Ιταλία και Γερμανία, όπου συγκεντρώνεται η μεγαλύτερη ροή φορτίου. Στην πραγματικότητα, η συγκεκριμένη γραμμή θα εξυπηρετούσε τη σύνδεση της Κρήτης και προς τις υπόλοιπες Ευρωπαϊκές χώρες. Επομένως, η εκτιμώμενη ζήτηση αναμένεται σημαντικά μεγαλύτερη. Ο τελευταίος είναι ένας σημαντικός λόγος για την εξέταση-επιλογή μεγαλύτερων περιθωρίων ζήτησης και αντίστοιχων μεριδίων αγοράς. Τέλος, δεν έχει ληφθεί υπόψη η δυνατότητα χρήσης του πλοίου και σε άλλες γραμμές, όπως προκύπτει από το μηνιαίο χρονοδιάγραμμά του. Ο απαιτούμενος ναύλος για τη θαλάσσια μεταφορά (RFR) αναμένεται να μειωθεί.

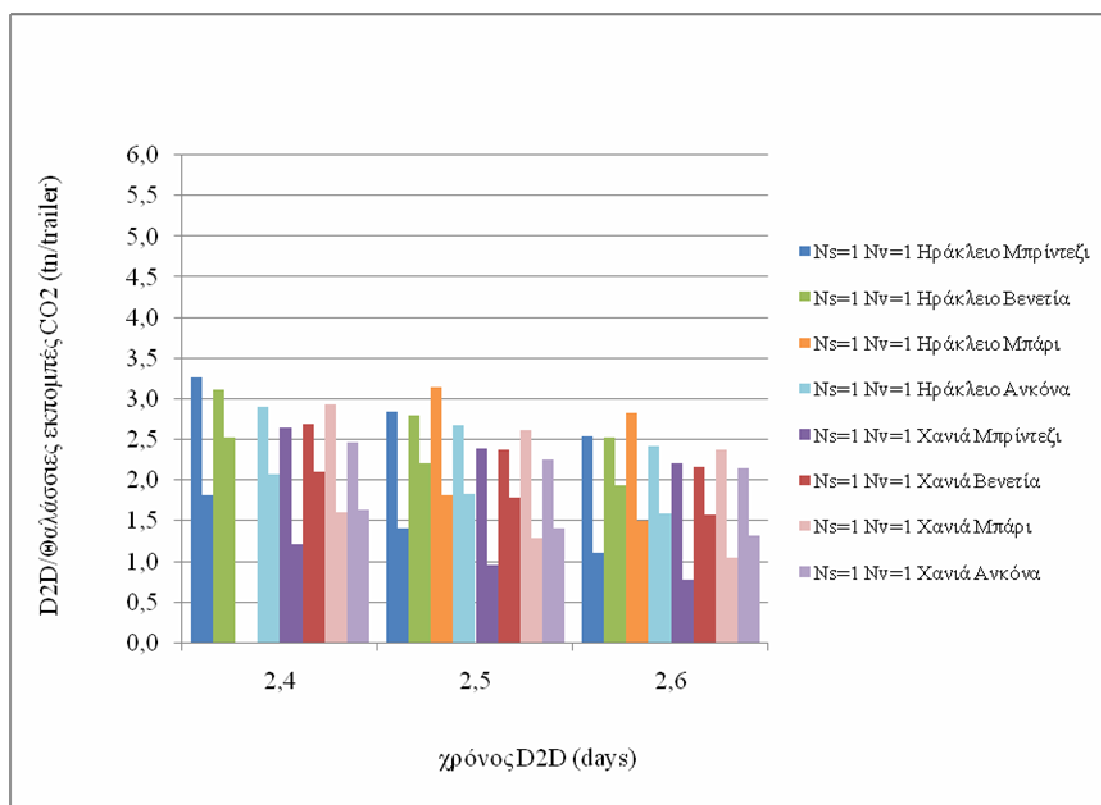
### **3.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ**

Στην εφαρμογή που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο, η θαλάσσια μεταφορά εξυπηρετεί ολόκληρη την ποσότητα του φορτίου ενώ μόνο μέρος αυτής συνεχίζει το ταξίδι οδικώς προς την Γερμανία. Επομένως, δεν μπορεί να γίνει δίκαιη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Το γεγονός αυτό γίνεται ιδιαίτερα εμφανές στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Προκειμένου να εξάγουμε πιο σωστά συμπεράσματα σχετικά με τους συντελεστές περιβαλλοντικής απόδοσης εξετάσαμε την παραπάνω εφαρμογή, υποθέτοντας όμως ότι ολόκληρη η ροή φορτίου μεταφέρεται στη Γερμανία. Η περίπτωση περιθωρίου ζήτησης για την οποία έγινε η εφαρμογή ήταν αυτή της 50% προσαύξησης. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συντελεστές περιβαλλοντικής απόδοσης του θαλάσσιου και χερσαίου τμήματος της μεταφοράς, για κάθε εναλλακτικό μεταφορικό σενάριο.

Πίνακας 3.10. Συντελεστές περιβαλλοντικών αποδόσεων θαλάσσιου και χερσαίου τμήματος.

ΣΕΝΑΡΙΟ	50% ΠΡΟΣΑΥΞΗΣΗ		
	Vs (kn)	Χερσαίο CO2 (gr/ tn*Km)	Θαλάσσιο CO2 (gr/ tn*Km)
Ηράκλειο Μπρίντεζι σε 2.4 μέρες	21.5	54	98.00
Ηράκλειο Βενετία σε 2.4 μέρες	19.7	54	78.00
Ηράκλειο Ανκόνα σε 2.4 μέρες	19.2	54	72.00
Χανιά Μπρίντεζι σε 2.4 μέρες	19.1	54	72.00
Χανιά Βενετία σε 2.4 μέρες	18.5	54	68.00
Χανιά Μπάρι σε 2.4 μέρες	20.5	54	85.00
Χανιά Ανκόνα σε 2.4 μέρες	17.9	54	61.00
Ηράκλειο Μπρίντεζι σε 2.5 μέρες	19.5	54	76.00
Ηράκλειο Βενετία σε 2.5 μέρες	18.7	54	68.00
Ηράκλειο Μπάρι σε 2.5 μέρες	20.7	54	87.00
Ηράκλειο Ανκόνα σε 2.5 μέρες	18.2	54	64.00
Χανιά Μπρίντεζι σε 2.5 μέρες	17.4	54	58.00
Χανιά Βενετία σε 2.5 μέρες	17.5	54	59.00
Χανιά Μπάρι σε 2.5 μέρες	18.7	54	68.00
Χανιά Ανκόνα σε 2.5 μέρες	16.9	54	53.00
Ηράκλειο Μπρίντεζι σε 2.6 μέρες	17.8	54	59.00
Ηράκλειο Βενετία σε 2.6 μέρες	17.8	54	59.00
Ηράκλειο Μπάρι σε 2.6 μέρες	19	54	72.00
Ηράκλειο Ανκόνα σε 2.6 μέρες	17.2	54	55.00
Χανιά Μπρίντεζι σε 2.6 μέρες	15.9	54	46.00
Χανιά Βενετία σε 2.6 μέρες	16.7	54	51.00
Χανιά Μπάρι σε 2.6 μέρες	17.2	54	55.00
Χανιά Ανκόνα σε 2.6 μέρες	16	54	49.00

Επομένως, στην περίπτωση αυτή η συνδυασμένη λύση με την μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση είναι αυτή της Χανιά-Ανκόνα με οριακό πλεονέκτημα από το σενάριο Χανιά-Βενετία για την μικρότερη απαιτούμενη ταχύτητα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.36. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> της θαλάσσιας και D2D μεταφοράς σε συνάρτηση με το χρόνο D2D για την 4<sup>η</sup> περίπτωση περιθωρίου ζήτησης (50% προσαύξηση)

### 3.5 ΠΡΟΣΘΕΣΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΠΑΤΡΑΣ

Στη συνέχεια διερευνάται η εισαγωγή ενός εσωτερικού κόμβου στο παραπάνω μεταφορικό σενάριο, με στόχο την εξυπηρέτηση μέρους της ηπειρωτικής ζήτησης. Ελλείπει στοιχείων από την Ε.Σ.Υ.Ε και για λόγους πρακτικότητας, θεωρήθηκε ότι η νέα γραμμή θα προσφέρει 30% προσαύξηση στη ζήτηση για κάθε μία από τις δύο κατευθύνσεις της ροής.

#### Οι ακόλουθες εναλλακτικές λύσεις μελετήθηκαν:

1. Νέα θαλάσσια διαδρομή Ηράκλειο- Πάτρα-Μπρίντεζι-Πάτρα και από εκεί χρήση του υπάρχοντος οδικού δικτύου
2. Νέα θαλάσσια διαδρομή Ηράκλειο- Πάτρα - Βενετία- Πάτρα και από εκεί χρήση του υπάρχοντος οδικού δικτύου
3. Νέα θαλάσσια διαδρομή Ηράκλειο- Πάτρα - Μπάρι- Πάτρα και από εκεί χρήση του υπάρχοντος οδικού δικτύου
4. Νέα θαλάσσια διαδρομή Ηράκλειο- Πάτρα - Ανκόνα- Πάτρα και από εκεί χρήση του υπάρχοντος οδικού δικτύου

5. Νέα θαλάσσια διαδρομή Χανιά- Πάτρα - Μπρίντεζι- Πάτρα και από εκεί χρήση του υπάρχοντος οδικού δικτύου
6. Νέα θαλάσσια διαδρομή Χανιά- Πάτρα - Βενετία- Πάτρα και από εκεί χρήση του υπάρχοντος οδικού δικτύου
7. Νέα θαλάσσια διαδρομή Χανιά- Πάτρα - Μπάρι- Πάτρα και από εκεί χρήση του υπάρχοντος οδικού δικτύου
8. Νέα θαλάσσια διαδρομή Χανιά- Πάτρα - Ανκόνα- Πάτρα και από εκεί χρήση του υπάρχοντος οδικού δικτύου

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι θαλάσσιες αποστάσεις.

Πίνακας 3.11(α) (β). Θαλάσσιες αποστάσεις (πηγή Dataloy)

(α).

Απόσταση (nm)	ΠΑΤΡΑ
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	317
ΧΑΝΙΑ	264

(β).

Απόσταση (nm)	ΜΠΡΙΝΤΕΖΙ	ΒΕΝΕΤΙΑ	ΜΠΑΡΙ	ΑΝΚΟΝΑ
ΠΑΤΡΑ	240	619	304	516



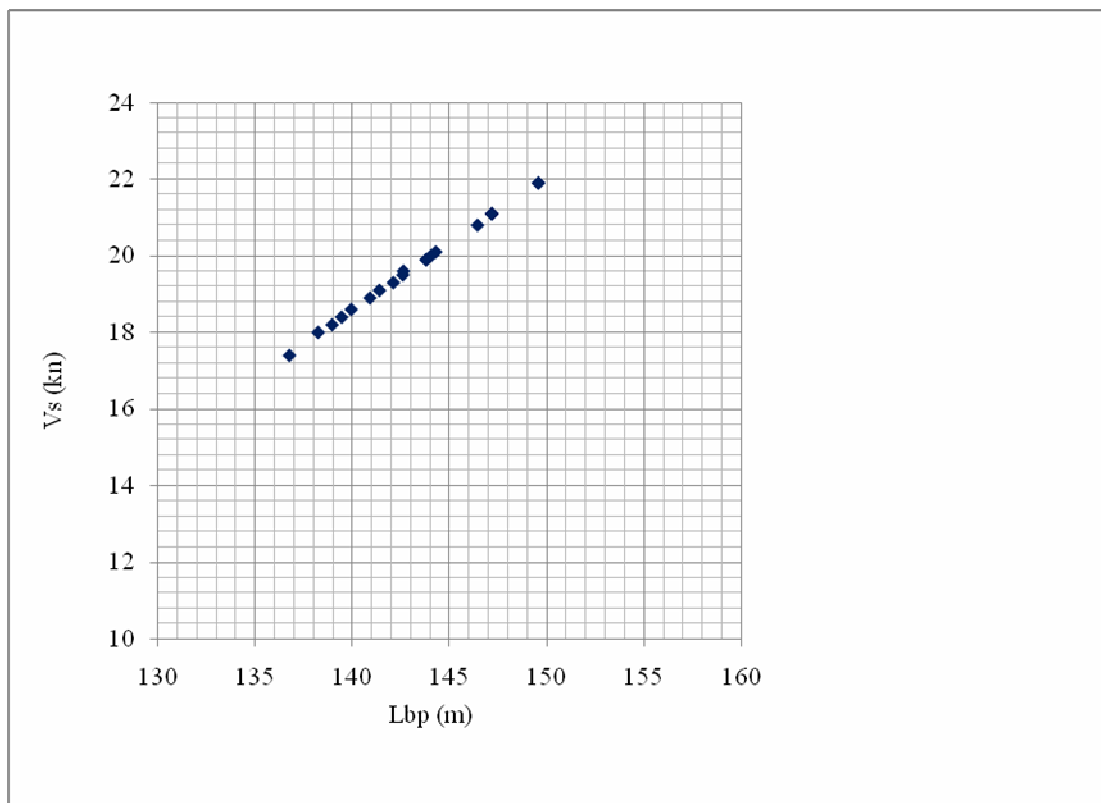
Σχήμα 3.37. Διερευνηθέντα μεταφορικά συστήματα

Με βάση τα παραπάνω εναλλακτικά σενάρια η αναπτυχθείσα μεθοδολογία κατέληξε σε 20 βέλτιστες σχεδιάσεις πλοίων RoRo. Η περίπτωση ζήτησης που διερευνήθηκε ήταν αυτή της εκτιμώμενης ζήτησης, συν 30% από Πάτρα. Έτσι, η ταχύτητα μεταβλήθηκε από 17.4 σε 21.9 κόμβους ανάλογα με τον απαιτούμενο χρόνο D2D και το μεταφορικό σενάριο.

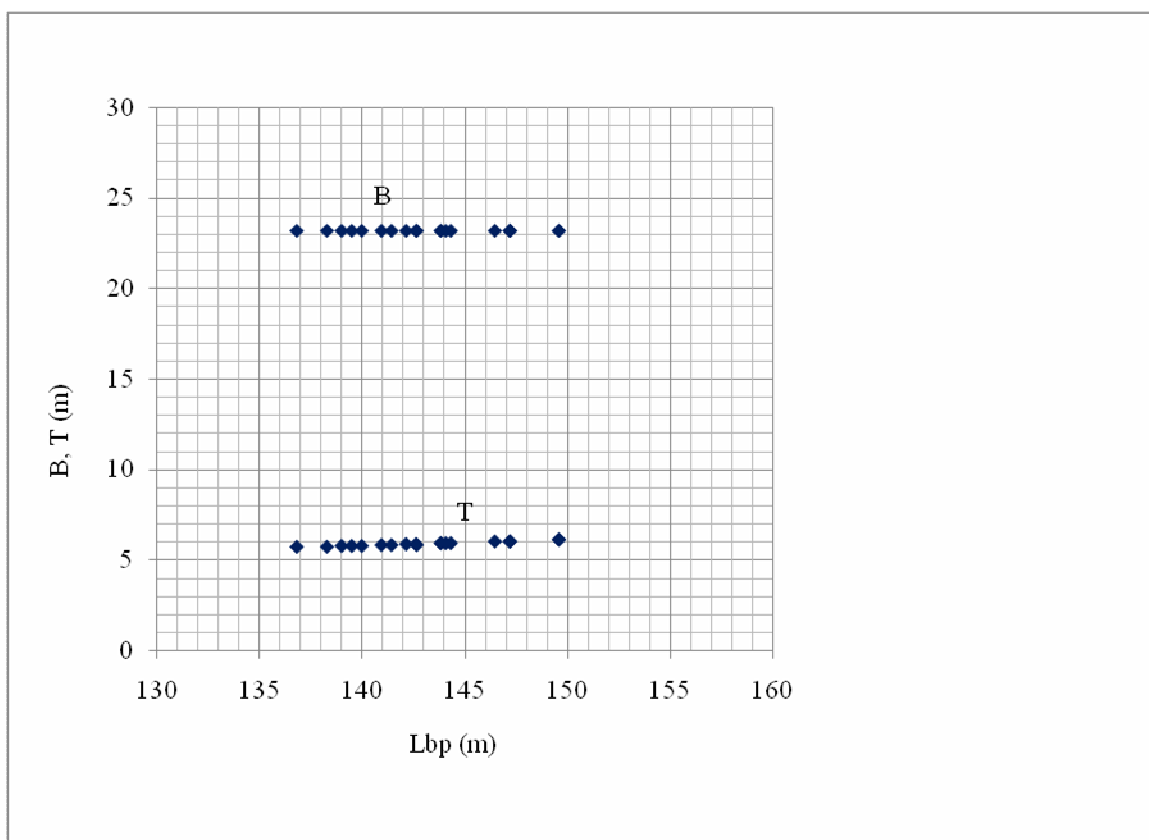
Για την οικονομική ανάλυση των παραπάνω σεναρίων έγιναν οι παρακάτω παραδοχές:

- δάνειο τύπου balloon στο έτος 10
- περίοδος αποπληρωμής δανείου και γραμμική απόσβεση σε 10 έτη
- οικονομική ζωή της επένδυσης 25 χρόνια
- τελική αξία πλοίου 5% του αρχικού κόστους
- φόρος 30%,
- επιτόκιο 10%
- κόστος κεφαλαίου 12%

Οι τάσεις για τις βασικές παραμέτρους των πλοίων και η εκτιμώμενη αντίσταση παρουσιάζονται στα ακόλουθα σχήματα, ενώ λεπτομερή στοιχεία δίνονται στο Παράρτημα Θ.

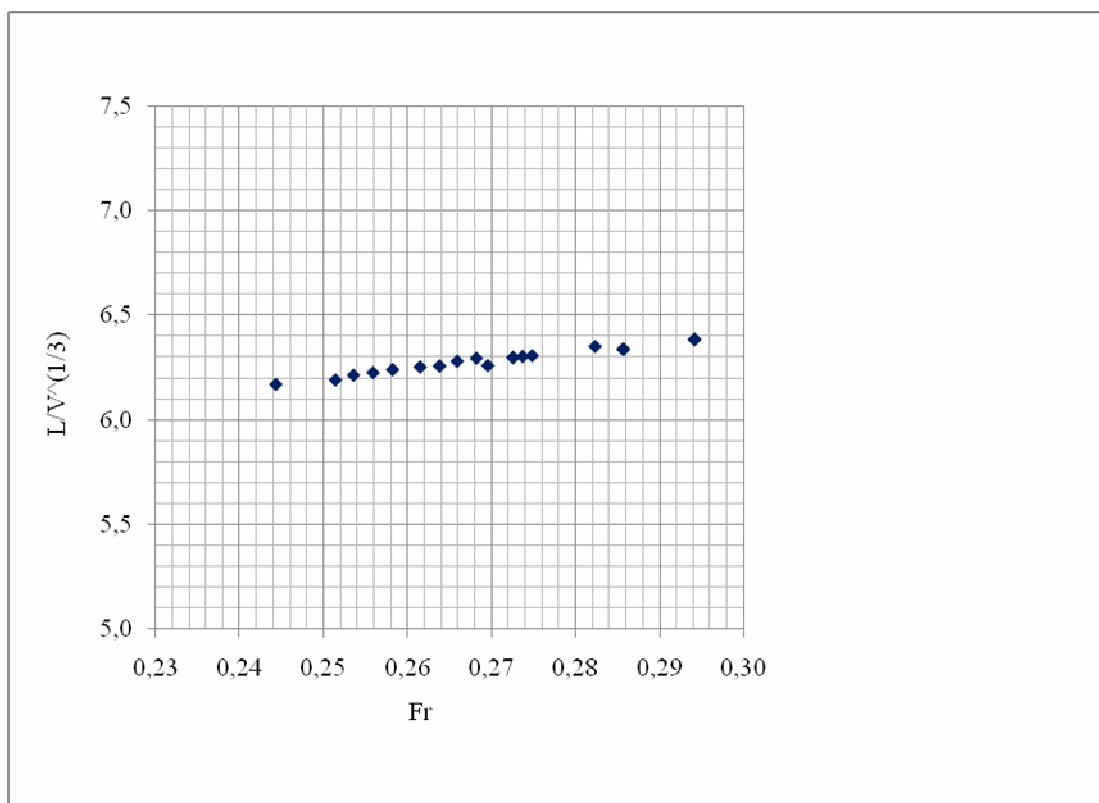


Σχήμα 3.38. Vs σε συνάρτηση με το Lbp

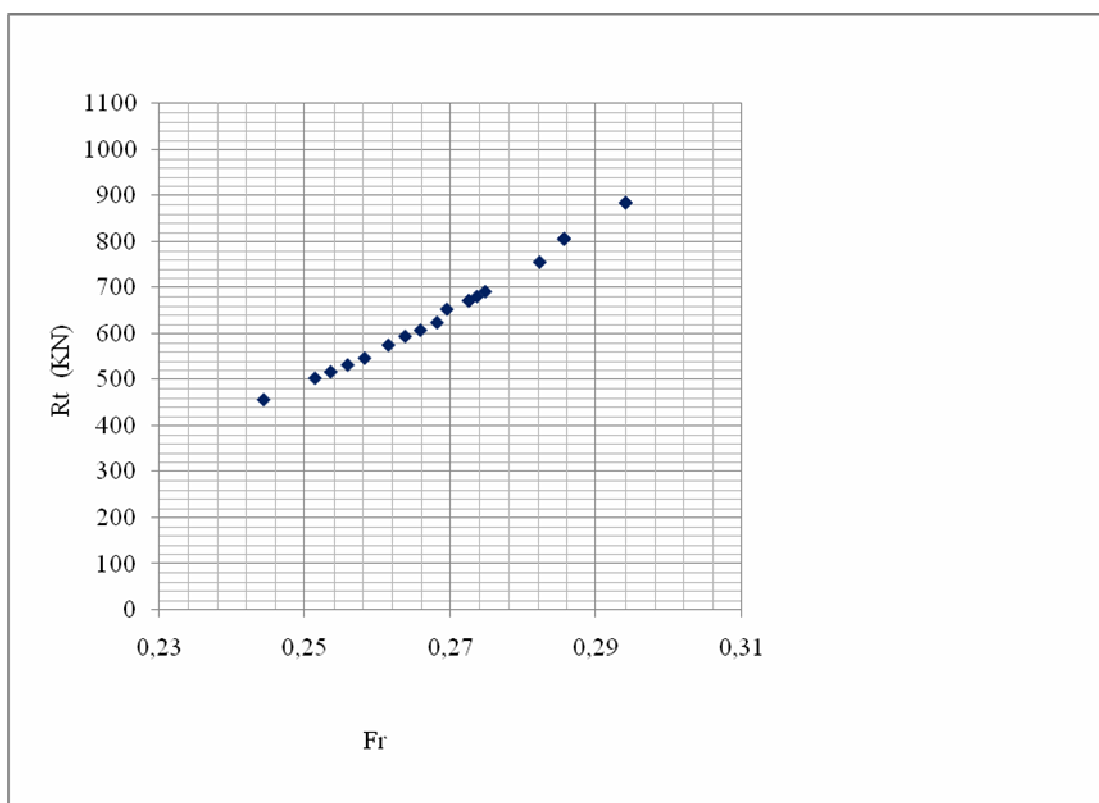


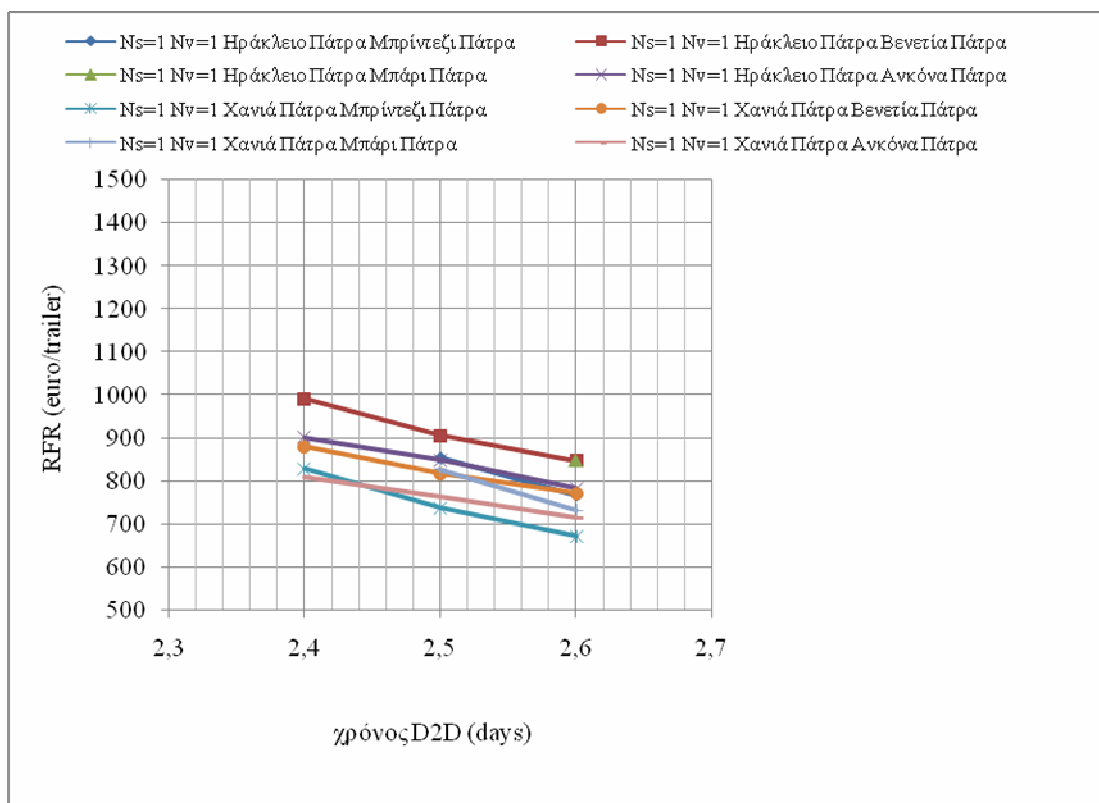
Σχήμα 3.39. B και T σε συνάρτηση με το Lbp



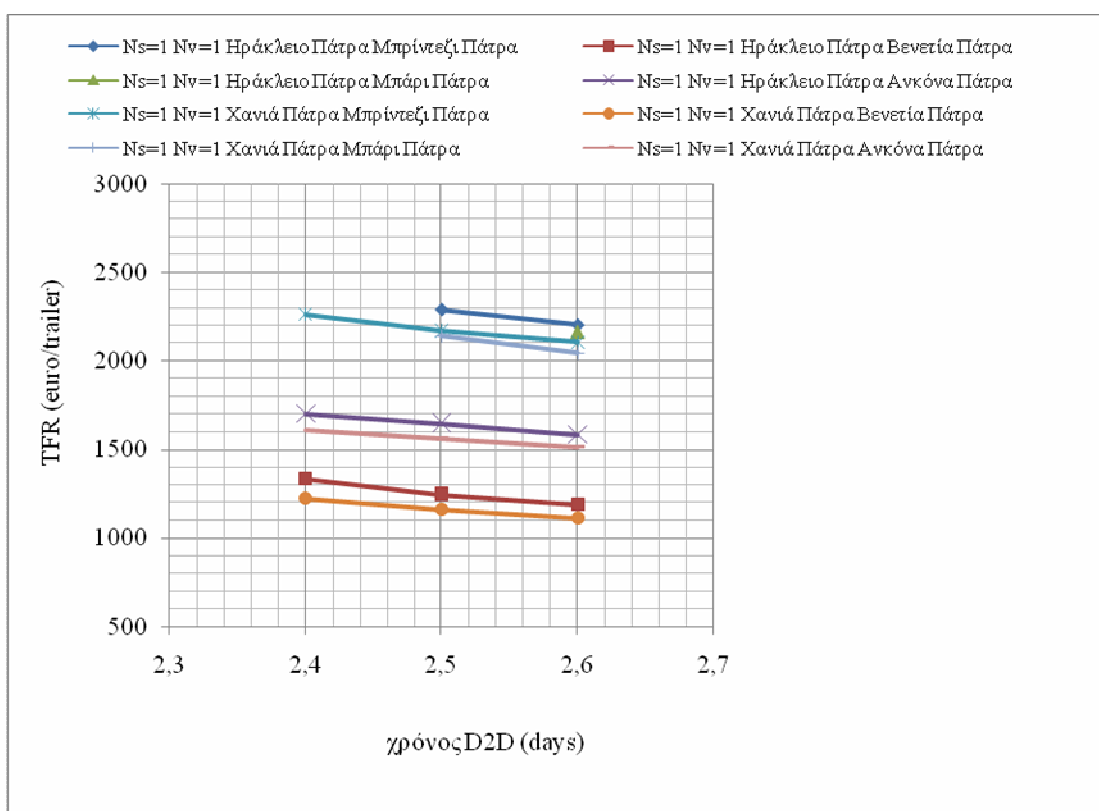


Σχήμα 3.40. Συντελεστής Λυγηρότητας σε συνάρτηση με τον Αριθμό Froude

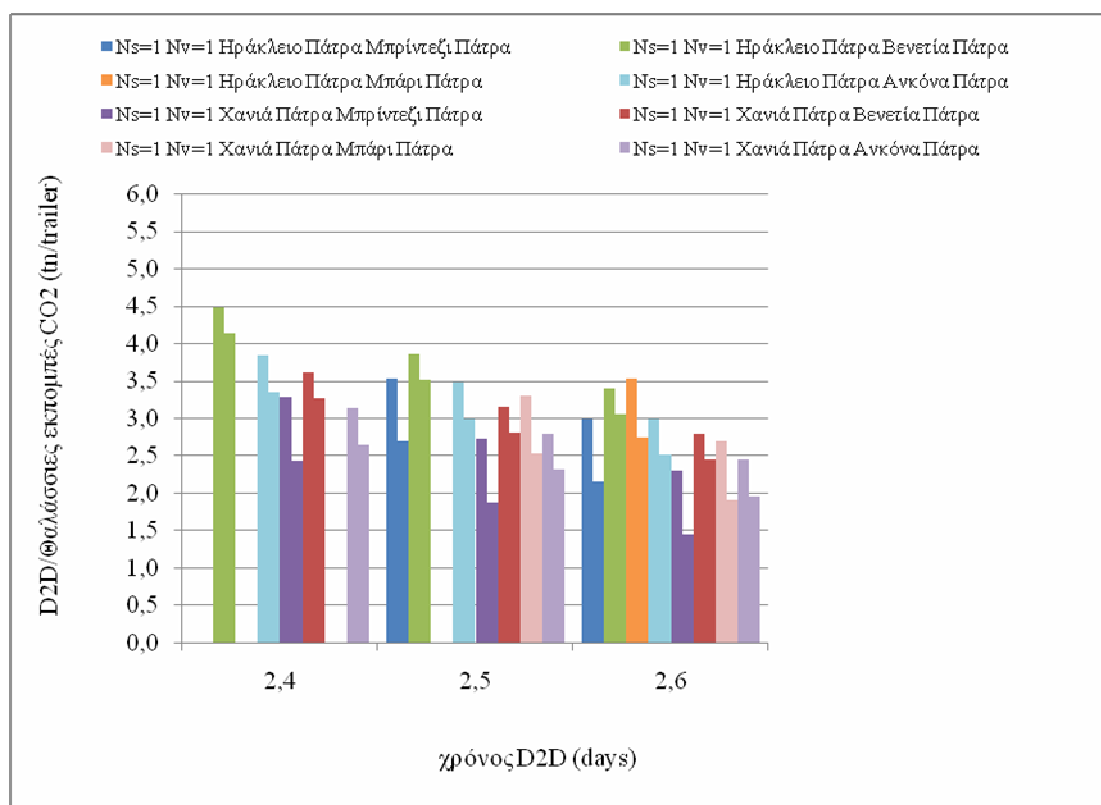
Σχήμα 3.41. Αντίσταση  $R_T$  σε συνάρτηση με τον Αριθμό Froude



Σχήμα 3.42. RFR σε συνάρτηση με το χρόνο D2D



Σχήμα 3.43. TFR σε συνάρτηση με το χρόνο D2D

Σχήμα 3.44. Εκπομπές CO<sub>2</sub> σε συνάρτηση με το χρόνο D2D

### 3.5.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Επομένως το Pareto βέλτιστο σύνολο στο οποίο καταλήξαμε δια της βελτιστοποίησης και με κριτήρια τον απαιτούμενο χρόνο D2D, τον απαιτούμενο ναύλο D2D (TFR) και τις εκπομπές αερίων ρύπων CO<sub>2</sub>, παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 3.12. Το Pareto βέλτιστο σύνολο για την εφαρμογή της σύνδεσης Κρήτης-Ιταλίας με ενδιάμεσο κόμβο την Πάτρα (εκτιμώμενη ζήτηση + 30% προσαύξηση).

	ΚΡΗΤΗ	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ ΚΟΜΒΟΣ	ΙΤΑΛΙΑ	ΧΡΟΝΟΣ D2D (days)	TFR (euro)	CO <sub>2</sub> (tn/trailer)
ID 5	Χανιά	Πάτρα	Ανκόνα	2.4	1609	3.14
ID 4	Χανιά	Πάτρα	Βενετία	2.4	1221	3.62
ID 9	Χανιά	Πάτρα	Μπρίντεζι	2.5	2172	2.73
ID 10	Χανιά	Πάτρα	Βενετία	2.5	1159	3.15
ID 17	Χανιά	Πάτρα	Μπρίντεζι	2.6	2107	2.30
ID 18	Χανιά	Πάτρα	Βενετία	2.6	1114	2.80

Για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση θυσίας της εξίσωσης 2.71. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι βέλτιστες λύσεις για διάφορα σύνολα βαρών-σχετικής σημασίας των κριτηρίων.

Πίνακας 3.13. Βέλτιστες λύσεις με βάση την συνάρτηση θυσίας 2.71 και διάφορα σύνολα βαρών για την εφαρμογή της σύνδεσης Κρήτης-Ιταλίας με ενδιάμεσο κόμβο την Πάτρα (εκτιμώμενη ζήτηση + 30% προσαύξηση).

w1 (βάρος χρόνου D2D)	w2 (βάρος TFR)	w3 (βάρος CO2 D2D)	ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ
0.33	0.33	0.33	Χανιά Βενετία σε 2.4 μέρες
0.2	0.2	0.6	Χανιά Ανκόνα σε 2.6 μέρες
0.6	0.2	0.2	Χανιά Βενετία σε 2.4 μέρες
0.2	0.4	0.4	Χανιά Βενετία σε 2.5 μέρες
0.4	0.2	0.4	Χανιά Ανκόνα σε 2.4 μέρες
0.4	0.4	0.2	Χανιά Βενετία σε 2.4 μέρες
0.2	0.6	0.2	Χανιά Βενετία σε 2.4 μέρες

Με την υποστήριξη του παραπάνω πίνακα, κάποιος θα κατέληγε στο μεταφορικό σενάριο «Χανιά Βενετία».

### 3.6 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Στη συνέχεια διερευνάται το πρόβλημα στη πιο σύνθετη μορφή του, ενεργοποιώντας και τις υπόλοιπες ελεύθερες μεταβλητές του ορισθέντος προβλήματος βελτιστοποίησης. Έτσι, μεταβάλλονται ο αριθμός των πλοίων ( $N_v$ ) και η συχνότητα της υπηρεσίας ( $N_s$ ). Προκειμένου να περιοριστεί ο υπολογιστικός χρόνος παραμείναμε στο βέλτιστο μεταφορικό σενάριο Χανιά-Βενετία, όπως προέκυψε από τις προηγούμενες εφαρμογές. Επιπλέον, διερευνάται η δυνατότητα εισαγωγής ενδιάμεσου κόμβου (Πάτρα) σε μία ή και στις δύο κατευθύνσεις. Τέλος, για λόγους πρακτικότητας, θεωρήθηκε η ζήτηση για την περίπτωση 50% προσαύξηση επί της εκτιμώμενης ζήτησης ενώ σε περίπτωση που εισάγεται η Πάτρα στη γραμμή θεωρούμε ότι αυτή θα αποφέρει επιπλέον ζήτηση της τάξης του 50% επί της εκτιμώμενης για κάθε κατεύθυνση.

## Το εύρος των ελευθέρων μεταβλητών καθόρισε τις παρακάτω εναλλακτικές λύσεις:

1. Νέα γραμμή Χανιά –Βενετία-Μόναχο- Βενετία - Χανιά,  $N_s=1$ ,  $N_v=1$
2. Νέα γραμμή Χανιά –Πάτρα-Βενετία-Μόναχο- Βενετία - Χανιά,  $N_s=1$ ,  $N_v=1$
3. Νέα γραμμή Χανιά –Πάτρα-Βενετία-Μόναχο- Βενετία –Πάτρα- Χανιά,  $N_s=1$ ,  $N_v=1$
4. Νέα γραμμή Χανιά –Πάτρα-Βενετία-Μόναχο- Βενετία - Χανιά,  $N_s=1$ ,  $N_v=2$
5. Νέα γραμμή Χανιά –Πάτρα-Βενετία-Μόναχο- Βενετία - Χανιά,  $N_s=1$ ,  $N_v=2$
6. Νέα γραμμή Χανιά –Πάτρα-Βενετία-Μόναχο- Βενετία –Πάτρα- Χανιά,  $N_s=1$ ,  $N_v=2$
7. Νέα γραμμή Χανιά –Βενετία-Μόναχο- Βενετία - Χανιά,  $N_s=2$ ,  $N_v=1$
8. Νέα γραμμή Χανιά –Πάτρα-Βενετία-Μόναχο- Βενετία - Χανιά,  $N_s=2$ ,  $N_v=1$
9. Νέα γραμμή Χανιά –Πάτρα-Βενετία-Μόναχο- Βενετία –Πάτρα- Χανιά,  $N_s=2$ ,  $N_v=1$



Σχήμα 3.45. Διερευνηθέντα μεταφορικά συστήματα

Κατά συνέπεια, η μεθοδολογία κατέληξε σε 27 βέλτιστα σενάρια-σχεδιάσεις με τα LM να μεταβάλλονται από 987 έως 2819 . Περαιτέρω, ο απαιτούμενος χρόνος D2D μεταβλήθηκε από 2,4 έως 2,6 ημέρες και η ταχύτητα από 16.2 έως 20.6 κόμβους, ανάλογα με τον απαιτούμενο χρόνο D2D και το μεταφορικό σενάριο.

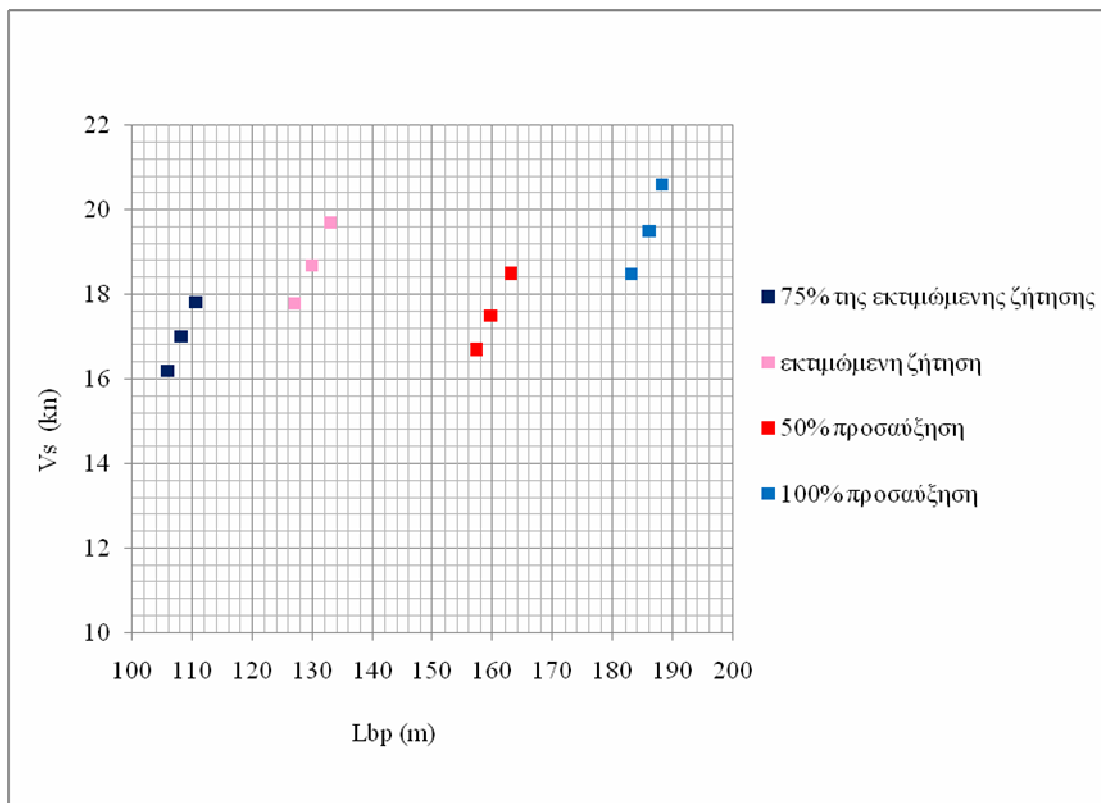
Οι προκύπτουσες απαιτήσεις για τις σχεδιάσεις των πλοίων που εξυπηρετούν τα παραπάνω σενάρια, αναφορικά με τη μεταφορική ικανότητα, αναλύονται παρακάτω:

1. 1 πλοίο με μεταφορική ικανότητα που εξυπηρετεί το 150% της εκτιμώμενης ζήτησης ενώ η συχνότητα υπηρεσίας του είναι μία φορά την εβδομάδα
2. 1 πλοίο με μεταφορική ικανότητα που εξυπηρετεί το 200% της εκτιμώμενης ζήτησης ενώ η συχνότητα υπηρεσίας του είναι μία φορά την εβδομάδα
3. 1 πλοίο με μεταφορική ικανότητα που εξυπηρετεί το 200% της εκτιμώμενης ζήτησης ενώ η συχνότητα υπηρεσίας του είναι μία φορά την εβδομάδα
4. 2 πλοία το καθένα από τα οποία διαθέτει μεταφορική ικανότητα που εξυπηρετεί το 75% της εκτιμώμενης ζήτησης ενώ η συχνότητα υπηρεσίας του είναι μία φορά την εβδομάδα
5. 2 πλοία το καθένα από τα οποία διαθέτει μεταφορική ικανότητα που εξυπηρετεί την εκτιμώμενη ζήτηση ενώ η συχνότητα υπηρεσίας του είναι μία φορά την εβδομάδα
6. 2 πλοία το καθένα από τα οποία διαθέτει μεταφορική ικανότητα που εξυπηρετεί την εκτιμώμενη ζήτηση ενώ η συχνότητα υπηρεσίας του είναι μία φορά την εβδομάδα
7. 1 πλοίο με μεταφορική ικανότητα που εξυπηρετεί το 75% της εκτιμώμενης ζήτησης ενώ η συχνότητα υπηρεσίας του είναι δύο φορές την εβδομάδα
8. 1 πλοίο με μεταφορική ικανότητα που εξυπηρετεί την εκτιμώμενη ζήτηση ενώ η συχνότητα υπηρεσίας του είναι δύο φορές την εβδομάδα
9. 1 πλοίο με μεταφορική ικανότητα που εξυπηρετεί την εκτιμώμενη ζήτηση ενώ η συχνότητα υπηρεσίας του είναι δύο φορές την εβδομάδα

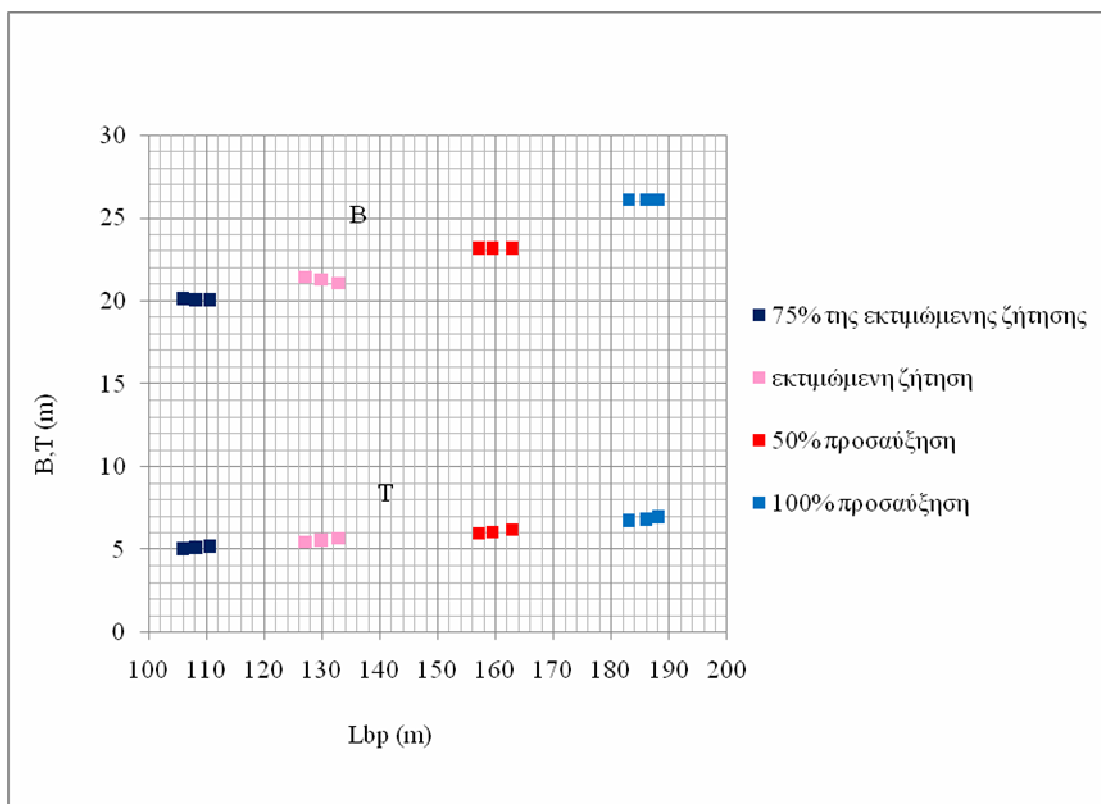
Για την οικονομική ανάλυση των παραπάνω σεναρίων έγιναν οι παρακάτω παραδοχές:

- δάνειο τύπου balloon στο έτος 10
- περίοδος αποπληρωμής δανείου και γραμμική απόσβεση σε 10 έτη
- οικονομική ζωή της επένδυσης 25 χρόνια
- τελική αξία πλοίου 5% του αρχικού κόστους
- φόρος 30%,
- επιτόκιο 10%
- κόστος κεφαλαίου 12%

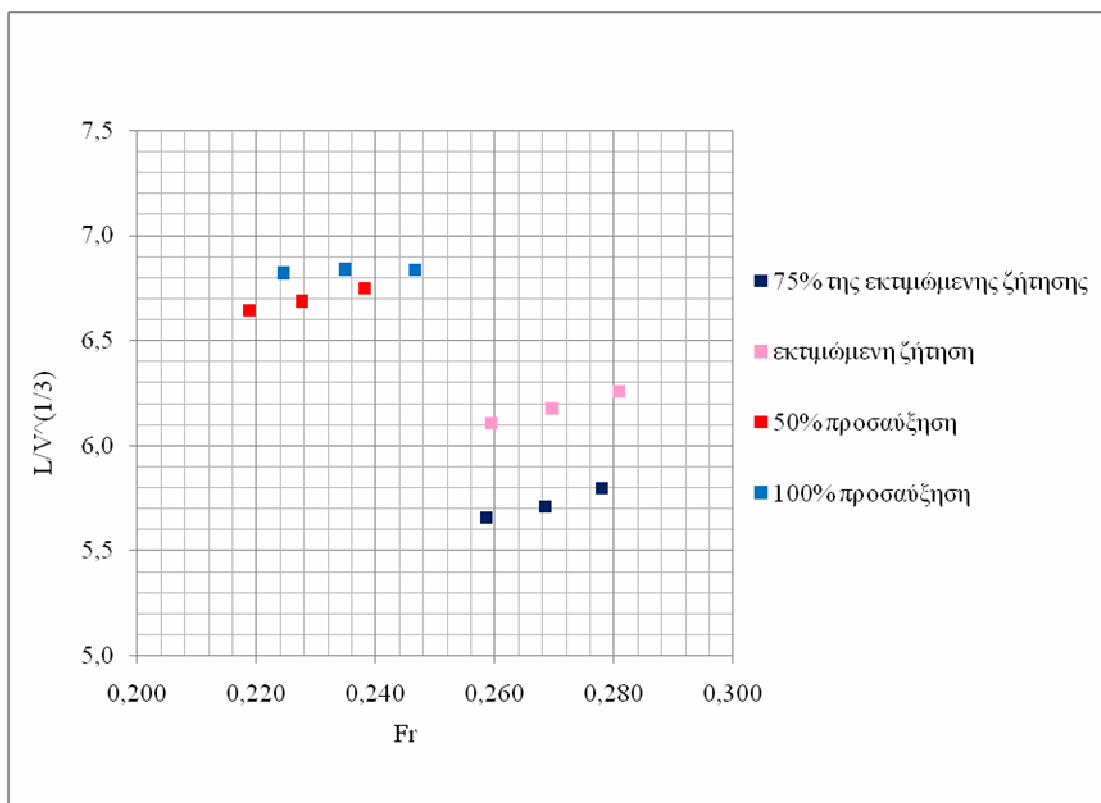
Οι τάσεις για τις βασικές παραμέτρους των πλοίων και η εκτιμώμενη αντίσταση παρουσιάζονται στα ακόλουθα σχήματα, ενώ λεπτομερή στοιχεία δίνονται στο Παράρτημα Ι.



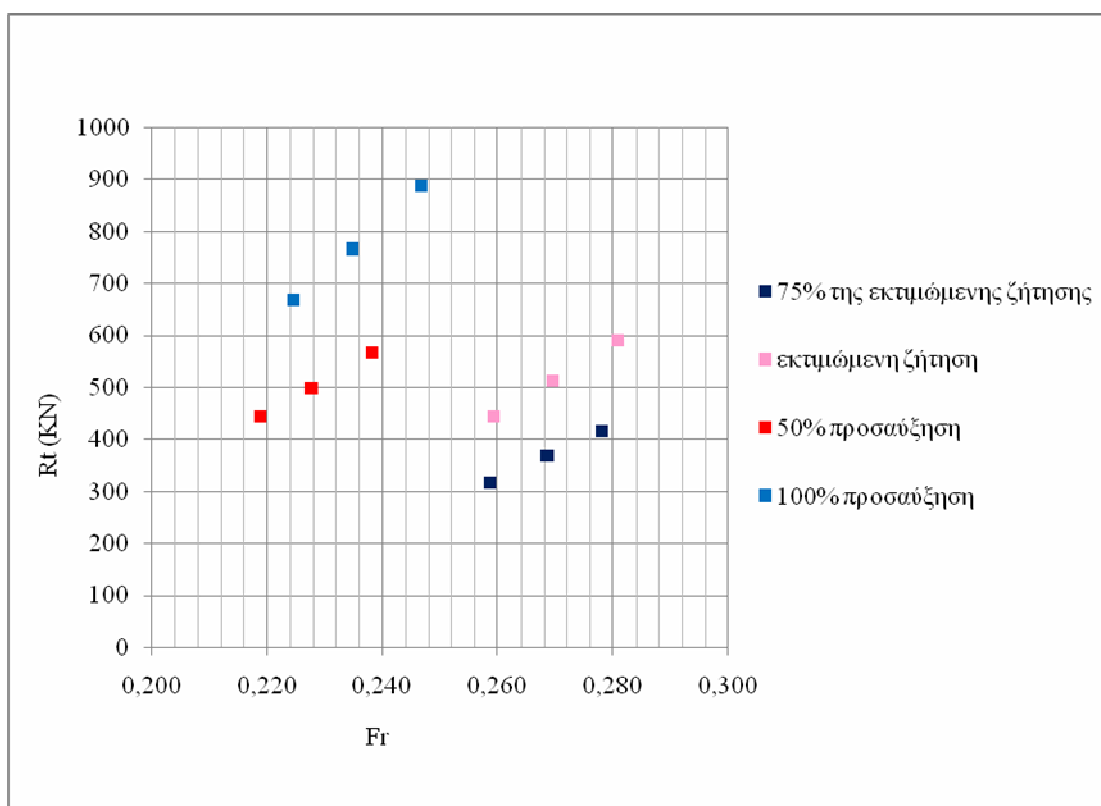
Σχήμα 3.46. Vs σε συνάρτηση με το Lbp



Σχήμα 3.47. B και T σε συνάρτηση με το Lbp

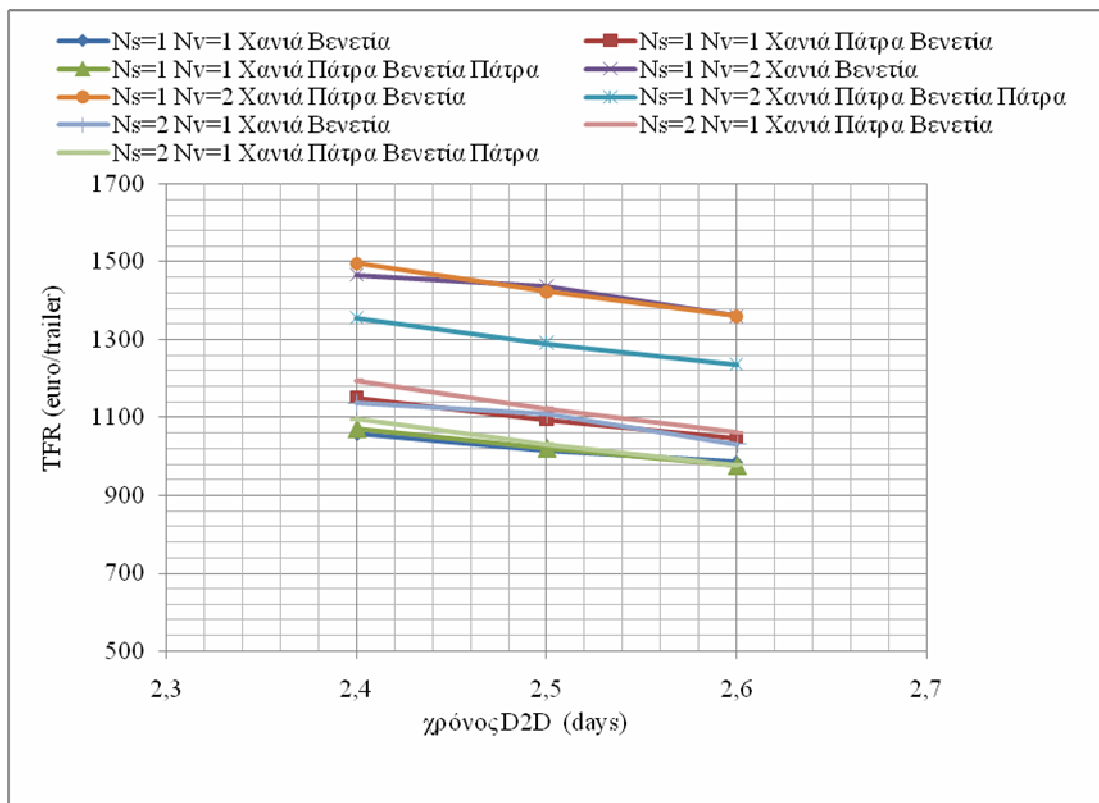


Σχήμα 3.48. Συντελεστής Λυγρότητας σε συνάρτηση με τον Αριθμό Froude

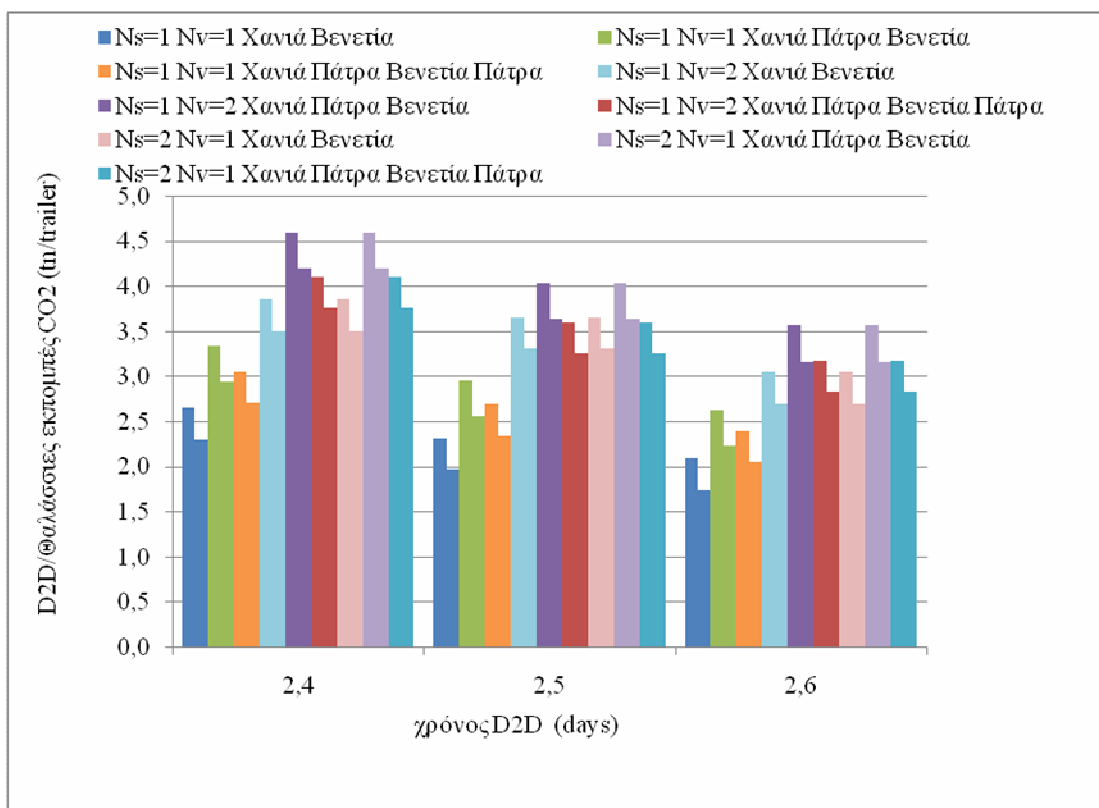


Σχήμα 3.49. Αντίσταση  $R_T$  σε συνάρτηση με τον Αριθμό Froude





Σχήμα 3.50. TFR σε συνάρτηση με το χρόνο D2D



Σχήμα 3.51. Εκπομπές CO<sub>2</sub> σε συνάρτηση με το χρόνο D2D

### 3.6.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Το Pareto βέλτιστο σύνολο παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 3.14. Το Pareto βέλτιστο σύνολο για την εφαρμογή της σύνδεσης Κρήτης-Ιταλίας (σύνθετο σενάριο).

		ΚΡΗΤΗ	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ ΚΟΜΒΟΣ	ΙΤΑΛΙΑ	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΣ ΚΟΜΒΟΣ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ	ΧΡΟΝΟΣ D2D (days)	TFR (euro)	CO2 (tn/trailer)
ID 1	Ns=1, Nv=1	Χανιά		Βενετία		2.4	1057	2.65
ID 2	Ns=1, Nv=1	Χανιά		Βενετία		2.5	1014	2.32
ID 3	Ns=1, Nv=1	Χανιά		Βενετία		2.6	985	2.10
ID 9	Ns=1, Nv=1	Χανιά	Πάτρα	Βενετία	Πάτρα	2.6	977	2.40

Πίνακας 3.15. Βέλτιστες λύσεις με βάση την συνάρτηση θυσίας 2.71 και διάφορα σύνολα βαρών για την εφαρμογή του σύνθετου σεναρίου.

w1 (βάρος χρόνου D2D)	w2 (βάρος TFR)	w3 (βάρος CO2 D2D)	ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ
0.33	0.33	0.33	Χανιά Βενετία σε 2.4 μέρες
0.2	0.2	0.6	Χανιά Βενετία σε 2.4 μέρες
0.6	0.2	0.2	Χανιά Βενετία σε 2.4 μέρες
0.2	0.4	0.4	Χανιά Βενετία σε 2.4 μέρες
0.4	0.2	0.4	Χανιά Βενετία σε 2.4 μέρες
0.4	0.4	0.2	Χανιά Βενετία σε 2.4 μέρες
0.2	0.6	0.2	Χανιά Βενετία σε 2.4 μέρες

Με την υποστήριξη του παραπάνω πίνακα, κανείς καταλήγει στο βέλτιστο μεταφορικό σενάριο «Ns=1, Nv=1, Χανιά Βενετία χωρίς ενδιάμεσο κόμβο».

## 4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα της διδακτορικής διατριβής. Τα συμπεράσματα αυτά αφορούν στο σύνολο της ερευνητικής προσπάθειας ξεκινώντας από τον αρχικό στόχο, την πρωτοτυπία, σημεία αναφοράς της μεθόδου, παρατηρήσεις επί των αποτελεσμάτων, γενικές εφαρμογές και συμπεράσματα επί συνόλου της διατριβής.

Ο κύριος στόχος της διατριβής, όπως διαφαίνεται και από τον τίτλο, ήταν η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για την βελτιστοποίηση της σχεδίασης του πλοίου στα πλαίσια ενός ολοκληρωμένου συστήματος συνδυασμένων μεταφορών. Η μεθοδολογία υπονοεί τα οφέλη μιας καθολικής επιστημονικής προσέγγισης που αντικαθιστά εικασίες και μονόπλευρες εκτιμήσεις. Στο πλαίσιο αυτό μελετήθηκαν προγενέστερες ερευνητικές εργασίες με σκοπό την ανάπτυξη μιας πραγματικά άρτιας επιστημονικής και πρωτότυπης μεθοδολογίας.

Η μέθοδος αντιπροσωπεύει το επόμενο ερευνητικό βήμα στην μελέτη και σχεδίαση πλοίου με τη χρήση τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης, που εισήχθησαν ως υπόδειγμα άλλων ερευνητών. Η πρωτοτυπία έγκειται στην ανάπτυξη μιας μικτής μεθοδολογίας όπου ΤΝΔ ενσωματώνονται στην ελικοειδή καμπύλη της προμελέτης. Τα ΤΝΔ δίνουν την αρχική εκτίμηση των βασικών παραμέτρων του πλοίου ενώ οι παραδοσιακές μέθοδοι της μελέτης πλοίου καταλήγουν στη σχεδίαση, με την ικανοποίηση των απαιτήσεων της μελέτης πλοίου. Ειδικότερα, απαιτήσεις σχετικά με την μεταφορική ικανότητα, την ευστάθεια κλπ θα περιορίσουν το εφικτό πεδίο σχεδίασης και θα οδηγήσουν σε έγκυρες λύσεις, ενώ η μέθοδος καταλήγει στη βέλτιστη σχεδίαση αναφορικά με την αντίσταση και ευρύτερα την ισχύ πρόωσης. Επομένως, η πρόκληση βρίσκεται στην ενσωμάτωση των νευρωνικών δικτύων στην προμελέτη και την ευρύτερη επιχειρησιακή ιδέα. Το διάνυσμα εισόδου και το διάνυσμα εξόδου του μοντέλου, θα καθορίσουν τελικά το βαθμό χρησιμότητας αλλά και την απόδοσή του.

Η παρούσα Διατριβή παρέχει για πρώτη φορά ένα αυτοματοποιημένο λογισμικό εργαλείο που δύναται να παράγει αποτελεσματικά και σε ελάχιστο χρόνο το Pareto Front των λύσεων για το ορισθέν πρόβλημα πολλαπλών μεταβλητών και κριτηρίων. Η μέθοδος λαμβάνει υπόψη τεχνοοικονομικά κριτήρια αλλά και την περιβαλλοντική απόδοση των μεταφορικών συστημάτων. Στόχος είναι να ενσωματωθούν στοιχεία

μελέτης σκοπιμότητας και διαχείρισης στόλου, η μελέτη, σχεδίαση και βελτιστοποίηση πλοίου και μεταφορικού συστήματος, η εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων και η οικονομική ανάλυση σε μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία που υλοποιείται με την υποστήριξη ενός αυτοματοποιημένου λογισμικού εργαλείου. Τέλος, προσφέρεται η δυνατότητα διενέργειας μιας μελέτης ευαισθησίας και αποτίμησης ρίσκου όσον αφορά στην αβεβαιότητα της ζήτησης. Το επιμέρους εργαλείο BDT έχει επικυρωθεί από την άποψη της εκτίμησης βαρών για μια σειρά μεγεθών πλοίων με χρήση στοιχείων από υπάρχοντα πλοία. Σχετικά στοιχεία δίνονται στο Παράρτημα Κ.

Η εφαρμογή της αναπτυχθείσας μεθοδολογίας στην αγορά Κρήτη-Μόναχο έδειξε ότι οι απαιτούμενοι ναύλοι μπορούν να μειωθούν ουσιαστικά σε συγκρίσιμους και ακόμα χαμηλότερους D2D χρόνους παράδοσης. Η επιτυχία της προσέγγισης έγκειται στην ολιστική θεώρηση του αναπτυξιακού εγχειρήματος, στοχεύοντας στον προσδιορισμό βέλτιστων πολυκριτηριακών σχεδιαστικών λύσεων πλοίων και μεταφορικών συστημάτων, με την υποστήριξη ενός άρτιου επιστημονικού εργαλείου. Τα αποτελέσματα των παραπάνω εφαρμογών αποδεικνύονται χρήσιμα για την αξιολόγηση της αγοράς και λειτουργούν προς όφελος των ναυπηγείων, των σχεδιαστών, των ναυτιλιακών εταιριών, των ιδιοκτητών φορτίου, των τραπεζικών και χρηματοδοτικών οργανισμών, των επενδυτών και των κυβερνητικών υπηρεσιών.

## 4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Η αναπτυχθείσα μεθοδολογία δύναται να υποστηρίξει αποτελεσματικά αναπτυξιακά εγχειρήματα ναυτιλιακών εταιριών. Πρόκειται για μία προσέγγιση που συντάσσεται στην προσπάθεια της ΕΕ για την μετατόπιση των μεταφορών από τη στεριά στη θάλασσα και την χάραξη των διαδρόμων της θάλασσας. Επομένως, δύναται να χρησιμοποιηθεί σε μελέτες συνδυασμένων μεταφορών και θαλασσίων υπηρεσιών.

Το λογισμικό πρόγραμμα έχει αναπτυχθεί σε Visual Basic-Excel εφαρμόζοντας την υιοθετημένη αυτοματοποιημένη μεθοδολογική προσέγγιση, μέσω επιμέρους διασυνδεδεμένων υποστηρικτικών εργαλείων. Παρόλα αυτά, το λογισμικό πρόγραμμα δύναται να εποπτευθεί και να διεξάγει ανεξάρτητες μελέτες στις παρακάτω γνωστικές περιοχές:

- μελέτη πλοίου

- μελέτη και σχεδίαση μεταφορικού συστήματος
- τεχνοοικονομική ανάλυση
- εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων

### 4.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Κατά τη διάρκεια της έρευνας πολλά ήταν τα ερεθίσματα που κέντρισαν το ενδιαφέρον της συγγραφέως σχετικά με την περαιτέρω έρευνα. Ένα αρχικό πεδίο έρευνας θα ήταν η προσπάθεια κατανόησης και μοντελοποίησης του μηχανισμού μεταβολής της ζήτησης για μεταφορά προϊόντων. Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας δεν ήταν δυνατή η πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης, με χρήση νευρωνικού μοντέλου, ελλείψει στατιστικών στοιχείων.

Μία εναλλακτική προσέγγιση του προβλήματος για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας σχετικά με την πραγματική ζήτηση είναι η εφαρμογή μεθοδολογιών διαχείρισης ρίσκου (risk based approach). Αναθέτοντας συναρτήσεις πιθανότητας στα στατιστικά στοιχεία της ζήτησης, το πρόβλημα βελτιστοποίησης δύναται να αντιμετωπιστεί πιθανοθεωρητικά, αναζητώντας τη λύση με το μικρότερο ρίσκο. Το add-in πρόγραμμα του excel, @RISK, ενδείκνυται για το παραπάνω πρόβλημα βελτιστοποίησης με ανάλυση ρίσκου, δεν δύναται όμως να υποστηρίξει, στην παρούσα φάση τουλάχιστον, την πολυπλοκότητα του λογισμικού προγράμματος που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής

Μία ακόμα πρόταση για περαιτέρω έρευνα που προκύπτει άμεσα από τη μεθοδολογία που παρουσιάζεται στην παρούσα διατριβή, είναι η εφαρμογή της σε άλλους τύπους πλοίων, πέραν των πλοίων RoRo. Σημειώνεται ότι μοντέλα νευρωνικών δικτύων για την προκαταρκτική εκτίμηση βασικών παραμέτρων έχουν αναπτυχθεί για Bulk Carriers και General Cargo.

Ένα τελευταίο στάδιο μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας μελέτης πλοίου αποτελεί η δυνατότητα άμεσης λήψης του σχεδίου γραμμών του πλοίου. Το εργαλείο βασικής σχεδίασης, BDT καταλήγει στον καθορισμό της βέλτιστης σχεδίασης για το εκάστοτε μεταφορικό σενάριο. Η αυτόματη παραγωγή σχεδίου γραμμών βάσει αυτών των χαρακτηριστικών, είναι εφικτή δια της παραμετρικής μεταβολής πατρικού πλοίου, με τη βοήθεια σχεδιαστικού ναυπηγικού προγράμματος NAPA (Γκόχαρη, 2005).

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Al-Muhaisen, S.A: Overview of trends in Multimodal Transport, IZMIR, April 2005.
- Βαγγελάτος: Διερεύνηση Δυνατοτήτων Θαλάσσιας Σύνδεσης Κρήτης-Ιταλίας, Διπλωματική Εργασία, Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου, ΕΜΠ, 1994.
- Βιδάλης, Μ: Εφοδιαστική (Logistics), Μια ποσοτική προσέγγιση, 2009.
- Birk, L. Harries, S: Optimistic Optimization in Marine Design, 2003.
- Bishop, C.M: Neural Networks for Pattern Recognitions, 1995.
- Boulougouris, E.K. Gkochari, C. Papanikolaou, A: Ship Design Optimization in the Multimodal Logistics Framework, Harbin Gongcheng Daxue Xuebao/Journal of Harbin Engineering University 27, 2007.
- Boulougouris, E. Papanikolaou, A: Energy Efficiency Parametric Design Tool in the frame of Holistic Ship Design, IMDC, Trondheim, 2009.
- Breidenich, C. Magraw, D. Rowley, A. Rubin, J.W: The Kyoto Protocol to the UN Framework Convention on Climate Change, American Journal Of International Law, pp 315-331, April 1998.
- Brett, O. Boulougouris, E. Horgen, R. Konovessis, D. Oestvik, I. Mermiris, G. Papanikolaou, A. Vassalos, D: A Methodology for Logistics-Based Ship Design, 9th International Marine Design Conference (IMDC'06), Ann Arbor, Michigan, USA, 16-19 May 2006.
- Brett, O. Carneiro, G. Horgen, R. Konovessis, D. Oestvik, I. Tellkamp, J: Logbased: Logistics-Based Ship Design, 9th International Marine Design Conference (IMDC'06), Ann Arbor, Michigan, USA, 16-19 May 2006.
- CEMT: 41η ετήσια έκθεση 1994, Παρίσι 1995.
- Christopher, M: Logistics και διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας, 2007.
- Clausen, B. Lutzen, M. Friis-Hansen, A. Bjerneboe, N: Bayesian and Neural Networks for Preliminary Ship Design, 2001.
- DDT. Dataloy Distance TABLE, on: <http://www.dataloy.com/>
- Dobes, L: Kyoto: tradable greenhouse emission permits in the transport Sector, Transport Reviews, VOL. 19, NO. 1, 81 ± 97, 1999.
- EC: Article 12a of the TEN-T Guidelines of 29 April 2004, COM (2004) 0884, Official Journal L 167, 30/04/2004, p.1-38, on: [http://ec.europa.eu/transport/intermodality/motorways\\_sea/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/intermodality/motorways_sea/index_en.htm).
- EU-F6: Sustainable Surface Transport, Research Technological Development and Integration, Projects Synopses, 2006.

- Fausett, L: Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms and Applications, 1994.
- Friis, A.M. Andersen, P. Zense, Z.Z: Ship Design, DTU, 2002.
- Fung, K.F: Competition between the ports of Hong Kong and Singapore: a structural vector error correction model to forecast the demand for container handling services, Maritime Policy & Management, Vol. 28, No. 1, 2001.
- Γιωγγαράς, Γ: Αγγλοελληνικό λεξικό όρων μεταφοράς τελωνείου ναυτιλίας Logistics, 2008.
- Γκόχαρη, Χ.Χ. Παπανικολάου, Α.Δ. Βελτιστοποίηση της γάστρας με υδροδυναμικό κριτήριο την Αντίσταση, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, 2005.
- Gkochari, C.C. Ostvik, I. Brett, P. O. Boulougouris, E. and Papanikolaou A.D. "Advanced Methodologies Application on Ship Design in the Multimodal Logistics Framework", 2008.
- Hall, R.W: Handbook of transportation science Second Edition, 2003.
- Harker P: "The Art and Science of Decision Making: The Analytic Hierarchy Process". Decision Science Working Paper, The Wharton School, University of Pennsylvania, 1988.
- Hansen, J.V. Nelson, R.D: Time-series analysis with neural networks and ARIMA-neural network hybrids, Journal Of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, Vol. 15, No. 3, P 315–330, 2003.
- Hertz, J. Krogh, A. and Palmer, R.G: Introduction to the Theory of Neural Computation, Addison-Wesley Publishing Company, Redwood City, CA, 1991
- Holtrop, J. and Mennen, G.G.J. "An Approximate Power Prediction Method". International Shipbuilding Progress, Vol. 29, 1982.
- Holtrop J. "A Statistical Reanalysis of Resistance and Propulsion Data'. International Shipbuilding Progress, Vol. 31, 1984.
- IMO: IMO's response to current environmental challenges, IMO NEWS, the magazine of the International Maritime Organization, Issue 2 2007.
- IMO: NOx emission limits for new engines, BLG progresses work on reducing air pollution from ships, IMO NEWS, the magazine of the International Maritime Organization, Issue 2 2007.
- IMO: Ship engines should comply with NOx Code from 1 January 2000, IMO News, Issue 1/2000.
- Kalic, M. Teodorovic, D: Trip Distribution Modelling Using Fuzzy Logic and a Genetic Algorithm, Transportation Planning and Technology, Vol. 26, No. 3, 2003, p. 213–238.

- Katuhara, M. Kubo, N. Yamato, H. Kajiuira, M. Michida, R: Optimization of Domestic Long Distance Ferryboats and RoRo Ships Based on Logistics, 2004.
- Κυρτάτος, Ν: Ναυτικοί Κινητήρες και Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Ημερίδα Σ.Ν.Μ.Μ, 5 Δεκεμβρίου 2007.
- Κυρτάτος, Ν.Π: Ναυτικοί Κινητήρες Diesel. Θέματα Σχεδίασης και Λειτουργίας, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1993.
- Kristensen, H.O: CO2 Indexing Principles and Historical Development of Energy Efficiency of Ships, Danish Shipowners' Association, 2007.
- Κωνσταντίνου, Κ: Πολιτική Οικονομία και Δημόσια Οικονομική, Εκδόσεις Μπόνια, Αθήνα 2005.
- Lam, W.H.K. Ng, P. L. P. Seabrooke, W. Hui, E.C.M: Forecasts and Reliability Analysis of Port Cargo Throughput in Hong Kong, Journal of Urban Planning and Development, ASCE, Vol. 133, No. 3, (2004), p. 133–144.
- Lasdon, L.S. Waren. A.D. Jain, A. Ratner, M: Design and Testing of a Generalized Reduced Gradient Code for Nonlinear Programming, ACM Transactions on Mathematical Software, 1978.
- Lasdon, L.S. Waren: Survey of Nonlinear programming Applications, Operations Research, 1980.
- Lasdon, L.S. Waren: GRG2: an all Fortran general purpose nonlinear optimizer, 1981
- Lewis, E.V: Principals of Naval Architecture, 1989.
- LOGBASED. Logistics Based Design, Project funded by the European Commission, DG Research, FP6-STREP, 2004-2007.
- Lyridis, D.V. Fyrvik, T. Kapetanis, G.N. Ventikos, N.P. Anaxagorou P. Uthaug, E. Psaraftis, H.N: "Optimizing Shipping Company Operations Using Business Process Modeling", Maritime Policy and Management, October 2005.
- Managing Risk DNV: Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships Technical and Operational implications, 21 February 2005.
- MEPC58/4/3, IMO, "Prevention of Air Pollution from Ships", Liaison with UNFCCC and IPCC (Secretariat), 2008.
- MEPC: Interim Guidelines for Voluntary Ship CO2 Emission Indexing for Use in Trials, MEPC, July 2005.
- Mostafa, M. M: Forecasting the Suez Canal traffic: a neural network analysis, Maritime Policy & Management, Taylor & Francis Ltd., Vol. 31, No. 2, 2004, p. 139–156.
- Notteboom, T.E. Winkelmanns, W: Structural changes in logistics: how will port authorities face the challenge?, Maritime Policy & Management, Vol. 28, No. 1, 2001, p. 71- 89.



- Oestvik, I. Wergeland, T. Kroneberg, A: A Formalised Methodology for a SSS Corridor Study: Western Norway – Continent, RINA Fast Freight Conference, London, December 1998.
- Palit, A.K Popovic, D : Computational Intelligence in Time Series Forecasting, Theory and Engineering Applications, 2005.
- Παπαβασιλείου, Ν. Μπαλτάς, Γ: Διοίκηση δικτύων διανομής και logistics, 2003.
- Παπαδημητρίου, Ε. Σχινάς, Ο: Εισαγωγή στα Logistics, 2004.
- Παπανικολάου, Α: Μελέτη Πλοίου, Εκδόσεις Συμεόν, Αθήνα 2009.
- Paranikolaou, A. Vassalos, D. Oestvik, I: Innovative Fast Ship Designs for an Integrated SSS System-Ississ, Third European Research Roundtable Conference on Shortsea Shipping, Bergen, June 1996.
- PE 209.174, Έκθεση για τη Δεύτερη Πανευρωπαϊκή Διάσκεψη Μεταφορών, Κρήτη, 14-16 Μαρτίου 1994.
- Pham, D.T and Karaboga: Intelligent Optimisation Techniques, 2000.
- Poluha, R.G: Application of the SCOR Model in supply Chain Management, 2007.
- Rao, S.S: Engineering Optimization Theory and Practice, 1996.
- Reese, C: Materiel Handling Systems, Chapter 14, Logistics System Design, 2000.
- Σαμπράκος, Ε: Σημειώσεις Συνδυασμένων Μεταφορών, Μαιος 2005.
- Saldanha, J. Gray, R: The potential for British coastal shipping in a multimodal chain, Maritime Policy & Management, Vol. 29, No. 1, 2002, p. 77-92.
- Sames, P.C: CO2 Indexing and Emission Certificate Trading for the Shipping Industry, onstop, 01/2008.
- Schneekluth, H. Entwerfen Von Schiffen, 3.Aufl. Koehler Verl. Herford, 1985.
- Schneekluth, H. Bertram. V: Ship Design for Efficiency and Economy, Ship Propulsion, 1987.
- Sjøbris, A, Wijnolst, N. and Peeters, C: “Fast self-loading and unloading unitload ship systems for coastal and Short Sea Shipping potential in north west Europe”, Paper in Proc. of 2nd Ευρώπean Research Roundtable Conference on Short Sea Shipping - Athens, Delft Univ. Press Ltd, Delft, 1994.
- Stopford, M. “Maritime Economics”, 1997.
- Σχινάς, Ο. Λυρίδης, Δ: Σημειώσεις Λογιστικής και Τεχνικής Ανάλυσης, Αθήνα, 2002.
- Τσέκερης, Θ. Τσούμα, Α. Μπαλφούσια, Σ.Σ: Δυναμική Ανάλυση της Παραγωγής Ροών Μεταφοράς Εμπορευμάτων στην Ελλάδα, ΚΕ.Π.Ε.
- Watson, D.G.M. and Gilfillan, A.W: Some Ship Design Methods, Transactions RINA, Vol. 119, 1997.

- Wergeland, T. Oestvik, I: Logistic Challenges for Fast Shortsea Cargo Ships, International Conference on High-Performance Marine Vehicles Cape Town, 17-19 March 1999.
- Wijnolst, N, van der Hoeven, H. B., Kleijwegt, C. J., and Sjøbris, A: "Innovation in Short Sea Shipping: Self-loading and -unloading unitload ship systems". A publication from Delft University Press, 1992.
- Winnes, H. Ulfvarson, A: Environmental Improvements in Ship Design by the use of scoring functions", Engineering for the Maritime Environment, 2006.
- Xie, X. Xu, D.L Yang, J.B. Wang, J Ren, J. Yu, S: Ship selection using a Multiple-Criteria Synthesis Approach, Marine Science Technology, 2008.
- Zhang, G. Patuwo, B. E. Hu, M. Y: Forecasting with artificial neural networks: The state of the art, International Journal of Forecasting, Vol. 14, 1998, p. 35–62.
- Zheng, W. Lee, D-H. Asce, M and Shi, Q: Short-Term Freeway Traffic Flow Prediction: Bayesian Combined Neural Network Approach, Journal of Transportation Engineering © Asce, February 2006
- Ψαραύτης, Χ: Συστήματα Θαλασσίων Μεταφορών Αθήνα, 1999.
- Ψαραύτης, Χ: Οικονομική Θαλασσίων Μεταφορών Ι, Αθήνα, Δεκέμβριος 2005.
- Ψαραύτης, Χ: Οικονομική Θαλασσίων Μεταφορών ΙΙ, Αθήνα, Ιανουάριος 2007.
- Ψαραύτης, Χ: Ελληνική Ακτοπλοία και Cabotage, 2007.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: PDT-LOGBASED

Στο Παράρτημα αυτό παρουσιάζεται το εργαλείο Parametric Design Tool (PDT) που αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου στα πλαίσια του ερευνητικού έργου Logbased για την υποστήριξη της μελέτης πλοίου. Το εργαλείο αυτό αποτελείται από τρία λειτουργικά στοιχεία:

**Στοιχείο I:** Μια βάση δεδομένων υπάρχοντων πλοίων και των κύριων χαρακτηριστικών τους (τύπος πλοίου, μέγεθος και ειδικά χαρακτηριστικά).

**Στοιχείο II:** Ένα εργαλείο Παλινδρομικής Ανάλυσης και ένα Νευρωνικό Δίκτυο για την εκτίμηση βασικών παραμέτρων πλοίων. Νευρωνικά δίκτυα εκπαιδεύτηκαν για Bulk Carriers, General Cargo και πλοία RoRo και εξήχθησαν στο excel για να ενταχθούν στο λογισμικό εργαλείο PDT.

*Η ανάπτυξη όλων των νευρωνικών δικτύων που χρησιμοποιήθηκαν στο Logbased έγινε από τη συγγραφέα στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής, για το λόγο αυτό παρουσιάζονται στο κυρίως σώμα της. Σημειώνεται ότι παραλείπονται της αναφοράς τα ΤΝΔ που η ίδια εκπαίδευσε ως υποστηρικτικά για την εκτίμηση στοιχείων που έλλειπαν από τις βάσεις δεδομένων υπάρχοντων πλοίων (εκτόπισμα Bulk Carriers) είτε ως εναλλακτικά μοντέλα, με διαφορετικά στοιχεία εισόδου και εξόδου.*

**Στοιχείο III:** Ένα εργαλείο για τη σχεδίαση και την ανάλυση γύρω από ένα σημείο σχεδίασης (Design Point). Πρόκειται για ένα εργαλείο υποστήριξης της προμελέτης το οποίο ξεκινά από την αρχική εκτίμηση των νευρωνικών δικτύων για τις βασικές παραμέτρους του πλοίου. Η επίτευξη έγκυρων σχεδιάσεων επιτυγχάνεται διαδραστικά ενώ απαιτείται η εποπτεία του σχεδιαστή και η εισαγωγή πληροφοριών για την ολοκλήρωση της προκαταρκτικής μελέτης. Οι πληροφορίες αυτές έχουν να κάνουν με την επιλογή της έλικας, της μηχανής κλπ. και ενίοτε με την προσαρμογή συντελεστών στις μεθόδους που έχουν υιοθετηθεί και οι οποίες αναλύονται ακολούθως.

1. Το βάρος μεταλλικής κατασκευής  $W_{st}$  εκτιμάται με βάση τη μέθοδο του Watson, (Watson, 1997) με τη χρήση της τροποποίησης κατά Lloyd's για τον Δείκτη Εξοπλισμού E:

$$W_{st} = K \cdot E^{1.36} (1 + 0.5(C_{BD} - 0.70))$$

όπου,

K: σταθερά (K =0.031)

$$C_B (0.8 D) = (C_B + (1 - C_B) * (0.8 * D - T)) / (3 * T)$$

$$E = E_{\text{hull}} + E_{\text{SS}} + E_{\text{dh}} = L(B+T) + 0.8L(D-T) + 0.85 \sum_i l_{1i} h_{1i} + 0.75 \sum_i l_{2i} h_{2i}$$

Ο χρήστης μπορεί να προσαρμόσει στοιχεία για τις διαστάσεις των υπερκατασκευών και υπερστεγασμάτων.

2. Το βάρος εξοπλισμού  $W_{OT}$ , εκτιμάται επίσης με βάση την εμπειρική σχέση των Watson και Gilfillan (Watson, 1997):

$$W_{OT} = C_{OT} \cdot L \cdot B$$

όπου,

$C_{OT}$ : σταθερά συναρτήσεως του τύπου του πλοίου ( $C_{OT}=0.8$ )

L: το μήκος μεταξύ καθέτων

B: το πλάτος του πλοίου

3. Η αντίσταση  $R_T$  υπολογίζεται με βάση τη μεθοδολογία των Holtrop και Mannen (Holtrop, 1982; 1984), με χρήση κατάλληλων περιθωρίων για τα παρελκόμενα, το σχέδιο και τις καταστάσεις θάλασσας.

*Ο προγραμματισμός της μεθόδου έγινε από τη συγγραφέα στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής, για το λόγο αυτό παρουσιάζεται στο κυρίως σώμα της διατριβής.*

4. Το βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης  $W_M$ , εκτιμάται επίσης με βάση την εμπειρική σχέση των Watson και Gilfillan (Watson, 1997):

$$W_M = W_{ME} + W_{rem}$$

όπου,

$W_{ME}$  το βάρος της κύριας μηχανής

$$W_{ME} = 12 * (MCR/RPM)^{0.84} * N_{eng}$$

$W_{rem}$  το υπόλοιπο βάρος

$$W_{rem} = 0.7 * (N_{eng} * MCR)^{0.7}$$

Ο χρήστης εισάγει προνοητικά την εγκατεστημένη ισχύ και μπορεί να προσαρμόσει στοιχεία σχετικά με τα βάρη της μηχανολογικής εγκατάστασης.

5. Βάσει του οφέλιμου φορτίου, της ακτίνας ενεργείας και της απαιτούμενης ισχύος για την ταχύτητα υπηρεσίας εκτιμάται το πρόσθετο βάρος DWT:

$$DWT = \text{Payload} + W_{FO} + W_{LO} + W_{FW} + W_{CRE} + W_{PR} + W_{STORES} + W_{BALLAST}$$

όπου,

$W_{FO}$  το βάρος καυσίμου (tn)

$W_{LO}$  το βάρος λιπαντικών (tn)

$W_{FW}$  το βάρος πόσιμου νερού (tn)

$W_{CRE}$  το βάρος του πληρώματος και αποσκευών (tn)

$W_{PR}$  το βάρος εφοδίων,  $W_{Stores}$  το βάρος αποθεμάτων (tn)

6. Επομένως υπολογίζεται το βάρος του κενού σκάφους  $W_{LS}$ , ενώ προσθέτοντας το πρόσθετο βάρος υπολογίζεται το άθροισμα βαρών  $\Delta_B$ .

$$W_{LS} = W_{ST} + W_{OT} + W_M$$

$$\Delta_B = W_{LS} + DWT$$

7. Επιπλέον γίνονται υπολογισμοί αρχικής ευστάθειας. Η κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους αποτελεί συνάρτηση του κοίλου ( $=0.6D$ ) με βάση τον τύπο του πλοίου (Παπανικολάου, 2009) και μπορεί να προσαρμοστεί από τον χρήστη. Το μετακεντρικό ύψος GM υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους:

$$GM = KB + BM - KG$$

$KB = T(0.9 - 0.3 \cdot C_M - 0.1 \cdot C_B)$ , σύμφωνα με Schneekluth

$$BM = \frac{f(C_{WP})}{12} \cdot \frac{B^2}{T \cdot C_B}, \text{ όπου } f(C_{WP}) = C_{WP}^{1.8}, \text{ σύμφωνα με Schneekluth}$$

Επιπλέον υπολογίζονται τα παρακάτω μεγέθη:

- Ο συντελεστής ισάλου επιφάνειας:  
 $C_{WP} = (1 + 2 C_B) / 3$ , σύμφωνα με Schneekluth
- Ο συντελεστής μέσης τομής:

$$C_m = 1 / (1 + (1 - C_B)^{3.5}), \text{ σύμφωνα με HSVA}$$

- Ο πρισματικός συντελεστής:

$$C_p = C_B / C_m$$

8. Τα LM υπολογίζονται βάσει προσεγγιστικού τύπου λαμβάνοντας υπόψη το πλάτος των λωρίδων, το χρησιμοποιούμενο μήκος καταστρώματος, τα περιθώρια από την πλευρά του πλοίου και τον αριθμό των καταστρωμάτων για φόρτωση:

$$LM = \text{INT} ((B - 2 * C) / B_{\text{lane}}) * L * N * 0.8$$

όπου,

B: το πλάτος του πλοίου

C: το περιθώριο από τις πλευρές του καταστρώματος ή τα casings

B<sub>lane</sub>: το πλάτος των λωρίδων (=2.8m)

L: το μήκος μεταξύ καθέτων

N: ο αριθμός των καταστρωμάτων για φόρτωση

Η απαίτηση ικανοποιείται διαδραστικά από τον σχεδιαστή με τη μεταβολή των παραπάνω μεταβλητών.

9. Η εξισορρόπηση του εκτοπίσματος βαρών, Δ<sub>B</sub> με το γεωμετρικό εκτόπισμα, Δ<sub>Γ</sub> γίνεται με τη βοήθεια της Visual Basic για Excel και τον GRG2 (Solver).

10. Το εργαλείο επιπλέον παρέχει ειδική ένδειξη στο σχεδιαστή εάν το σχέδιο είναι έγκυρο, δηλ:

- Αν ικανοποιείται η απαίτηση μεταφορικής ικανότητας:

$$|LM - LM_{\text{απαιτ}}| \leq 0.05 * LM_{\text{απαιτ}}$$

- Αν ικανοποιείται η απαίτηση εγκατεστημένης ισχύος:

$$MCR \geq MCR_{\text{απαιτ}}$$

- Αν ικανοποιείται η απαίτηση εξισορρόπησης των βαρών:

$$\Delta_B = \Delta_\Gamma$$

Ένα έγκυρο σχέδιο πλοίου επιτυγχάνεται όταν η σχεδίαση ικανοποιήσει όλες τις απαιτήσεις.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΝΕΥΡΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΡΧΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΛΟΙΩΝ RORO

Στους παρακάτω πίνακες δίνονται τα βάρη για το νευρωνικό δίκτυο που αφορά στην αρχική εκτίμηση των βασικών παραμέτρων πλοίων RoRo:

W <sup>1</sup>				
7.83E-02	1.39E-01	-6.38E-02	-4.01E-01	-7.79E-02
5.05E-01	4.34E-01	-1.06E+00	2.19E-01	-3.37E-01
2.33E-01	2.88E-01	-5.33E-01	-5.02E-01	5.18E-01
2.14E-01	-3.89E-01	-1.94E-01	1.70E-01	-4.42E-02
b				
-5.09E-01	1.51E-01	-7.38E-01	-1.65E-01	-3.79E-01

W <sup>2</sup>				
1.36E-01	6.85E-01	-2.29E-01	-6.36E-02	4.01E-01
2.73E-01	1.58E-01	1.83E-01	1.45E-01	-1.20E-01
7.64E-01	4.52E-01	-2.01E-02	-7.05E-02	-3.38E-01
-3.29E-01	-2.91E-01	8.82E-02	4.77E-01	4.82E-01
-9.76E-02	-5.55E-01	3.90E-01	-4.43E-01	-5.38E-02
W <sup>3</sup>				
-1.12E-01	-1.59E-01	1.80E-02	1.67E-01	1.34E-01
9.94E-01	5.06E-01	3.01E-01	2.98E-01	-4.11E-02
3.49E-01	3.99E-01	3.86E-01	7.61E-01	1.86E-01
1.71E-01	5.95E-02	2.85E-01	-4.81E-03	-2.22E-02

Για λόγους πληρότητας δίνεται και το νευρωνικό δίκτυο που αναπτύχθηκε από τη συγγραφέα στα πλαίσια του LOGBASED, το οποίο στη συνέχεια ανανεώθηκε για τη διατριβή, καθότι ανανεώθηκε η βάση δεδομένων. Η αρχιτεκτονική των δύο δικτύων είναι πανομοιότυπη (είδος ΤΝΔ, συναρτήσεις μεταφοράς, κανόνες εκμάθησης κλπ.), με τη διαφορά ότι το κρυφό στρώμα αποτελείται από 6 νευρώνες αντί 5:

W <sup>1</sup>					
-2.83E-01	3.85E-01	-1.08E-01	-5.14E-01	3.29E-01	6.63E-02
4.20E-01	-2.36E-01	-6.29E-01	6.20E-02	1.02E+00	4.90E-01
9.02E-02	-2.52E-01	-1.50E-01	-1.63E-01	8.15E-02	4.67E-01
6.99E-01	-2.48E-01	-6.48E-01	3.09E-01	5.23E-01	2.57E-01
b					
3.13E-01	2.31E-01	-3.72E-02	-4.40E-01	-5.92E-01	2.90E-01

W <sup>2</sup>				
-1.07E-01	6.30E-01	4.38E-01	4.70E-01	-9.24E-03
8.13E-02	-2.90E-02	3.72E-01	-3.59E-01	-1.87E-01
-1.29E-01	4.10E-01	-7.30E-01	-9.14E-02	-3.76E-01
-2.41E-01	8.57E-02	-2.32E-01	-1.88E-01	-2.02E-01
6.49E-01	2.02E-01	1.96E-01	-4.15E-02	5.72E-01
-3.91E-01	2.76E-01	1.31E-01	1.85E-01	-1.63E-01
W <sup>3</sup>				
-1.78E-01	2.19E-01	-1.12E-01	8.98E-02	-7.74E-02
4.99E-01	9.08E-02	4.10E-02	2.20E-01	2.08E-01
5.85E-02	-3.94E-02	-1.20E-01	-2.49E-01	-9.15E-02
2.24E-01	3.17E-01	-1.50E-01	-5.70E-02	-1.42E-02

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΡΧΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΛΟΙΩΝ GENERAL CARGO ΚΑΙ BULK CARRIER

1). Το Νευρωνικό Δίκτυο που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής για την αρχική εκτίμηση των βασικών παραμέτρων πλοίων General Cargo, έχει βασισθεί σε μία βάση δεδομένων από 1746 πλοία.

Συγκεκριμένα, το διάγραμμα εισόδου περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

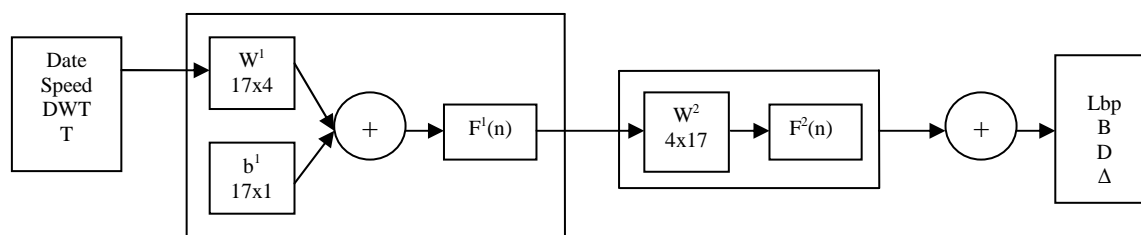
- δείκτης έτους κτήσης
- βύθισμα
- ταχύτητα
- DWT

Το δε διάγραμμα εξόδου περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

- Μήκος μεταξύ καθέτων
- Πλάτος
- Κοίλο
- Εκτόπισμα

Δεδομένου του προβλήματος, το νευρωνικό δίκτυο που εκπαιδεύτηκε είναι ένα δίκτυο multilayer perceptron. Πιο συγκεκριμένα, στο κρυφό στρώμα, που αποτελείται από 17 νευρώνες, εφαρμόστηκαν η συνάρτηση μεταφοράς tanhaxon και ο κανόνας εκμάθησης momentum. Επίσης, στο στρώμα εξόδου εφαρμόστηκαν η συνάρτηση μεταφοράς axon και ο κανόνας εκμάθησης momentum. Το παραπάνω μοντέλο νευρωνικού δικτύου αποδείχτηκε κατάλληλο για τη φύση του προβλήματος και τα δεδομένα. Επιπλέον τεχνικές όπως cross validation αλλά και η προεπεξεργασία των δεδομένων εξασφάλισαν την υψηλή απόδοση του δικτύου.

Παρακάτω δίνεται η τοπολογία του αναπτυχθέντος δικτύου:





Στους παρακάτω πίνακες δίνονται τα βάρη για το νευρωνικό δίκτυο που αφορά στην αρχική εκτίμηση των βασικών παραμέτρων πλοίων General Cargo:

W <sup>1</sup> (transposed)				b <sup>1</sup>
-1.15E-01	1.14E+00	2.40E-01	1.64E-02	8.12E-01
-2.14E-01	3.70E-01	7.24E-02	1.75E-01	1.89E-01
5.80E-02	-2.21E-02	1.21E-01	-8.44E-01	5.67E-01
6.15E-02	-7.27E-01	9.92E-01	8.04E-01	5.24E-01
-5.12E-03	-1.67E+00	8.86E-02	-1.50E-01	-1.57E+00
-5.41E-01	2.53E-01	2.72E-01	5.05E-01	-3.45E-02
-1.53E-02	-4.52E-01	-6.78E-01	-1.22E-01	1.57E-01
9.79E-02	-2.05E+00	-7.45E-01	-1.22E-01	-2.19E+00
1.61E-02	8.27E-01	5.19E-01	-2.73E-01	-2.66E-01
1.31E-01	7.96E-01	1.10E-01	3.27E-01	6.54E-02
-2.28E-01	-2.86E-01	-2.20E-01	6.02E-01	3.00E-01
-1.70E-01	5.54E-01	3.58E-02	2.91E-01	-8.96E-02
-2.04E-01	-1.01E+00	-1.35E-01	-7.58E-02	-8.45E-01
-1.62E-01	-7.73E-01	5.58E-01	3.16E-01	2.35E-01
-1.87E-01	2.22E-01	9.21E-01	1.76E-01	3.01E-01
8.54E-02	8.16E-01	-6.47E-01	8.65E-02	-1.39E-01
-9.83E-03	1.10E-01	2.63E-01	5.61E-01	-8.05E-01

W <sup>2</sup>			
-1.79E-01	4.58E-01	-3.47E-01	2.57E-01
-3.06E-02	4.58E-01	-3.09E-01	-2.75E-01
2.93E-01	-1.22E-01	-5.12E-01	1.84E-02
-7.97E-02	-3.53E-01	-3.01E-01	-1.02E-01
-4.49E-01	-6.03E-01	-5.20E-01	4.97E-01
5.97E-02	-1.12E-01	4.96E-01	-9.50E-03
1.55E-01	2.52E-01	1.10E-01	-3.46E-01
1.30E-01	-4.64E-01	-5.92E-01	-3.09E-01
3.09E-01	-4.20E-01	3.75E-01	2.40E-01
3.60E-01	-3.57E-01	2.41E-01	-3.45E-02
-2.06E-01	6.41E-02	-1.13E-01	-1.30E-01
3.35E-01	3.12E-01	-4.37E-01	9.31E-02
6.25E-02	-4.19E-01	-1.78E-01	-2.85E-01
1.47E-01	-5.58E-01	-2.26E-01	3.07E-01
2.02E-01	-2.65E-01	9.70E-02	1.74E-01
2.64E-01	3.48E-01	3.93E-01	-2.18E-01
3.68E-01	4.77E-01	-3.89E-01	9.51E-02

2). Το Νευρωνικό Δίκτυο που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής για την αρχική εκτίμηση των βασικών παραμέτρων πλοίων Bulk Carrier, έχει βασισθεί σε μία βάση δεδομένων από 1611 πλοία.

Συγκεκριμένα, το διάνυσμα εισόδου περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

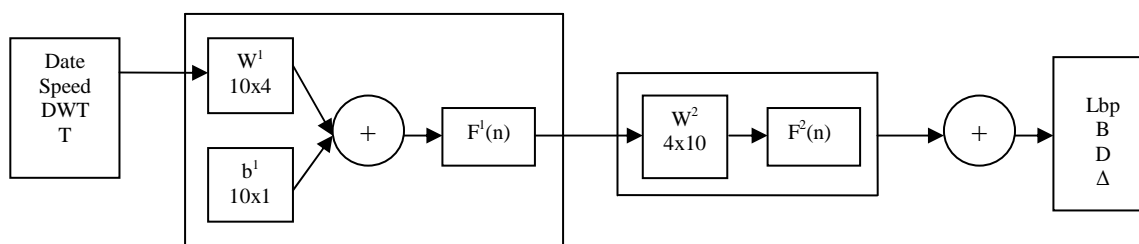
- δείκτης έτους κτήσης
- βύθισμα
- ταχύτητα
- DWT

Το δε διάνυσμα εξόδου περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

- Μήκος μεταξύ καθέτων
- Πλάτος
- Κοίλο
- Εκτόπισμα

Δεδομένου του προβλήματος, το νευρωνικό δίκτυο που εκπαιδεύτηκε είναι ένα δίκτυο multilayer perceptron (Fausett, 1994). Πιο συγκεκριμένα, στο κρυφό στρώμα, που αποτελείται από 10 νευρώνες, εφαρμόστηκαν η συνάρτηση μεταφοράς tanhaxon και ο κανόνας εκμάθησης momentum. Επίσης, στο στρώμα εξόδου εφαρμόστηκαν η συνάρτηση μεταφοράς axon και ο κανόνας εκμάθησης momentum. Το παραπάνω μοντέλο νευρωνικού δικτύου αποδείχτηκε κατάλληλο για τη φύση του προβλήματος και τα δεδομένα. Επιπλέον, τεχνικές όπως cross validation αλλά και η προεπεξεργασία των δεδομένων εξασφάλισαν την υψηλή απόδοση του δικτύου.

Παρακάτω δίνεται η τοπολογία του αναπτυχθέντος δικτύου:



Στους παρακάτω πίνακες δίνονται τα βάρη για το νευρωνικό δίκτυο που αφορά στην αρχική εκτίμηση των βασικών παραμέτρων πλοίων Bulk Carrier:

W <sup>1</sup> (transposed)				b <sup>1</sup>
9.42E-02	-1.12E-01	5.95E-01	-4.46E-01	4.15E-01
-3.30E-01	8.08E-01	-4.42E-01	3.83E-01	4.08E-01
-8.59E-02	2.78E-01	5.61E-01	8.29E-02	-7.19E-02
1.95E-02	-2.68E-01	-1.18E-01	4.34E-01	3.67E-01
-7.95E-02	6.12E-01	2.30E-01	5.07E-01	-5.72E-01
1.35E-01	9.60E-01	-1.16E+00	-2.98E-01	-4.47E-01
-1.64E-02	1.68E+00	3.76E-01	1.48E-01	1.24E+00
-4.85E-01	1.74E-01	1.08E-01	-4.27E-03	6.57E-01
-2.02E-02	1.28E+00	3.88E-01	1.55E-01	1.30E+00
9.63E-02	-5.54E-01	3.00E-01	-1.32E-01	4.27E-01

W <sup>2</sup>			
2.88E-01	-2.78E-01	-1.16E-01	5.24E-02
4.00E-01	-3.69E-01	4.48E-01	-6.31E-02
9.59E-02	2.72E-01	-5.19E-01	2.98E-01
-1.04E-01	-9.13E-03	-4.21E-01	-4.21E-01
5.96E-01	4.11E-02	1.09E-01	2.20E-01
3.00E-01	1.92E-01	4.33E-01	-1.88E-01
-2.62E-02	1.25E-01	6.53E-01	3.12E-02
-2.91E-01	1.87E-01	-3.52E-01	-2.27E-01
3.47E-01	5.00E-01	1.40E-01	3.10E-01
5.39E-02	-5.45E-01	4.47E-02	-9.93E-02

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: ΝΕΥΡΩΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΛΟΙΩΝ RORO

Στους παρακάτω πίνακες δίνονται τα βάρη για το νευρωνικό δίκτυο που αφορά στην εκτίμηση της ολικής χωρητικότητας GT πλοίων RoRo.

W1								
-2.16E-01	-6.44E-02	2.87E-01	-3.71E-01	3.19E-01	3.72E-01	-9.28E-02	-2.41E-01	-1.08E-01
3.93E-01	1.43E-01	3.23E-01	-1.94E-01	8.10E-03	-5.20E-01	4.43E-01	-3.81E-01	6.41E-01
-5.55E-01	-4.96E-01	-1.22E-01	-2.76E-01	3.18E-01	8.72E-01	2.84E-01	-6.41E-01	1.46E-01
4.18E-02	-3.29E-01	-2.50E-01	3.79E-01	-1.76E-01	-3.96E-01	3.87E-01	-2.73E-01	-1.47E-01
-1.93E-01	2.22E-01	4.65E-01	-2.41E-01	1.60E-01	4.44E-01	-2.76E-01	4.65E-01	-3.91E-01
1.55E-01	2.78E-01	-3.06E-01	1.40E-01	-3.42E-02	-3.79E-01	-3.78E-01	1.98E-01	3.23E-01
1.63E-02	1.87E-02	2.53E-01	3.39E-02	-6.00E-02	-1.03E-01	4.18E-01	6.53E-02	3.16E-01
-1.16E-01	2.17E-02	-2.92E-01	-1.10E-01	2.33E-01	6.44E-02	1.82E-01	-3.31E-01	2.77E-01
2.51E-01	-2.26E-01	4.26E-01	-1.36E-01	-9.90E-04	-6.32E-02	-1.77E-01	-3.36E-01	-2.64E-01
3.50E-01	3.84E-01	1.93E-01	6.90E-01	-2.54E-01	5.79E-01	-2.03E-01	-2.81E-01	1.47E-01
-1.93E-01	4.91E-01	-8.14E-02	2.41E-01	2.39E-01	6.37E-02	-1.54E-01	2.44E-01	3.94E-01
4.35E-01	1.71E-01	3.50E-01	-9.35E-02	5.76E-01	-2.37E-01	2.33E-02	-3.83E-01	1.46E-01
-4.13E-01	5.02E-02	-1.52E-01	5.98E-01	6.41E-01	6.00E-01	-2.64E-01	5.30E-02	-2.31E-01
-1.52E-01	3.80E-01	-2.59E-01	4.55E-01	-4.88E-02	-2.01E-01	2.07E-01	-8.76E-02	-2.67E-01
-4.26E-01	4.73E-02	-4.72E-01	1.38E-01	2.21E-01	-2.14E-02	4.14E-01	2.00E-01	2.29E-01
-1.40E-01	-2.85E-01	-2.96E-01	2.94E-01	2.67E-01	3.40E-02	2.06E-01	-1.33E-01	1.62E-01
1.81E-01	2.87E-01	-2.83E-01	3.87E-01	2.36E-01	4.10E-01	-4.00E-01	-6.00E-01	-1.82E-01
7.13E-02	-3.20E-02	5.75E-01	8.19E-02	-3.43E-01	-2.00E-01	-1.07E-01	4.28E-01	4.49E-01
3.21E-02	-4.16E-01	-3.25E-01	-4.09E-01	-2.72E-01	2.09E-01	4.70E-01	-2.81E-01	-5.49E-03

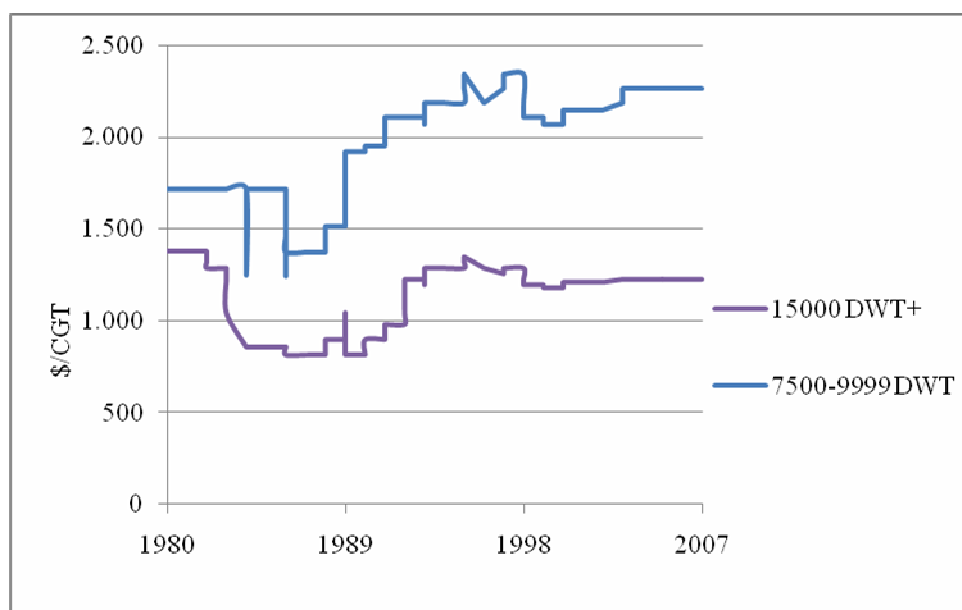
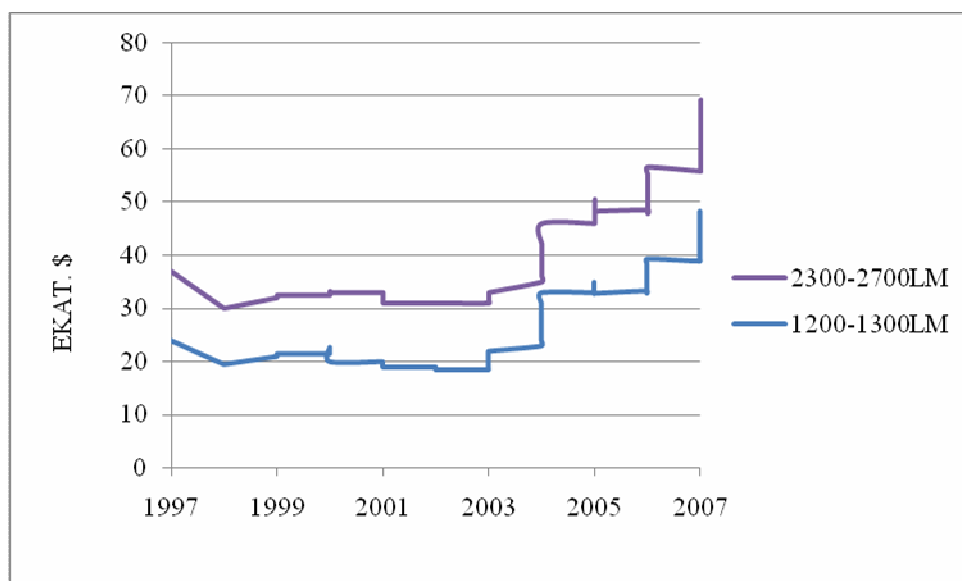
b1	W2	b2
9.63E-02	-1.90E-01	3.56E-01
-3.40E-01	-2.64E-01	
6.24E-01	-4.07E-01	
4.21E-01	-1.22E-01	
-3.82E-01	2.35E-01	
3.82E-01	-6.98E-02	
4.31E-01	2.59E-01	
-5.58E-01	2.22E-01	
3.84E-01	4.57E-02	
-9.68E-01	4.23E-01	
4.24E-01	1.63E-01	
1.03E-01	2.92E-01	
2.10E-01	2.53E-01	
1.90E-01	2.16E-01	
7.04E-02	2.31E-01	
3.48E-02	5.02E-02	
-5.00E-01	1.19E-01	
4.07E-01	1.61E-01	
4.33E-01	-1.07E-01	

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ**

ΜΗΧΑΝΗ	MCR (KW)	N (RPM)	ΒΑΡΟΣ (tn)	ΥΨΟΣ (mm)	ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (gr/KWh)
<u>6L32/40</u>	3000	750	38	4010	181
<u>9L27/38</u>	3060	800	40.5	3565	182
<u>7L32/40</u>	3500	750	42	4010	181
<u>8L32/40</u>	4000	750	47	4490	181
<u>6L40/54</u>	4320	550	70	4345	183
<u>9L32/40</u>	4500	750	51	4490	181
<u>10L32/40</u>	5000	750	55	4490	181
<u>7L40/54</u>	5040	550	80	4380	183
<u>12V28/33D</u>	5400	1000	30	3190	188
<u>8L40/54</u>	5760	550	89	4380	183
<u>12V32/40</u>	6000	750	61	4100	181
<u>9L40/54</u>	6480	550	97	4380	183
<u>14V32/40</u>	7000	750	68	4100	181
<u>6L48/60B</u>	7200	500	104	5360	178
<u>16V28/33D</u>	7200	1000	37	3190	188
<u>6L58/64</u>	7860	400	149	5140	174
<u>16V32/40</u>	8000	750	77	4420	181
<u>7L48/60B</u>	8400	500	118	5360	178
<u>6L58/64</u>	8400	428	149	5140	174
<u>18V32/40</u>	9000	750	85	4420	181
<u>20V28/33D</u>	9000	1000	46	3190	188
<u>7L58/64</u>	9170	400	170	5140	174
<u>8L48/60B</u>	9600	500	134	5360	178
<u>7L58/64</u>	9800	428	170	5140	174
<u>20V32/40</u>	10000	750	92	4420	181
<u>8L58/64</u>	10480	400	189	5140	174
<u>9L48/60B</u>	10800	500	146	5360	178
<u>8L58/64</u>	11200	428	189	5140	174
<u>9L58/64</u>	11790	400	208	5140	174
<u>9L58/64</u>	12600	428	208	5140	174
<u>12V48/60B</u>	14400	500	186	5420	176
<u>14V48/60B</u>	16800	500	209	5420	176
<u>16V48/60B</u>	19200	500	236	5420	176
<u>18V48/60B</u>	21600	500	259	5420	176
<u>W4L20</u>	800	1000	7.2	2525	196
<u>W6L20</u>	1200	1000	9.3	2624	191
<u>W8L20</u>	1600	1000	11	2624	196
<u>W9L20</u>	1800	1000	11.6	2624	192
<u>W6L26</u>	1950	900	18.7	3380	190
<u>W16L26</u>	5200	900	33	3170	190
<u>W6L32</u>	3000	750	33.5	3715	182
<u>W7L32</u>	3500	750	39	3715	182
<u>W8L32</u>	4000	750	43.5	3515	182
<u>W9L32</u>	4500	750	47	3515	182
<u>W12V32</u>	6000	750	59	4190	180
<u>W16V32</u>	8000	750	74.5	3955	180

<u>W18V32</u>	9000	750	81.5	3955	180
<u>W6L38</u>	4350	600	51	4250	183
<u>W8L38</u>	5800	600	63	4250	183
<u>W9L38</u>	6525	600	72	4250	183
<u>W12V38</u>	8700	600	88	4290	182
<u>W16V38</u>	11600	600	110	4290	182
<u>W8L46</u>	7800	500	116	4410	175
<u>W9L46</u>	8775	500	133	5070	175
<u>W12L46</u>	11700	500	170	5560	175
<u>W16L46</u>	15600	500	217	5160	175
<u>W6L46F</u>	7500	600	97	4930	180
<u>W7L46F</u>	8750	600	113	5230	180
<u>W8L46F</u>	10000	600	124	5230	180
<u>W9L46F</u>	11250	600	140	5230	180
<u>W12V46F</u>	15000	600	177	5385	179
<u>12V28/33D</u>	4860	900	30	3190	188
<u>W6L32</u>	2760	750	32	3715	182
<u>W8L32</u>	3680	750	41	3515	182
<u>W9L32</u>	4140	750	46	3515	182
<u>W12V32</u>	5520	750	58	4190	180
<u>W16V32</u>	7360	750	67	3955	180
<u>W18V32</u>	8280	750	75	3955	180
<u>6R32LN</u>	2250	750	29.2	3685	188
<u>6R32LN</u>	2460	750	29.2	3685	190
<u>W6L26</u>	2040	1000	18.7	3380	191
<u>8R32LN</u>	3280	750	40.5	3685	190

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ζ: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΤΗΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ RORO



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΙΤΑΛΙΑ

### 1) 1<sup>η</sup> περίπτωση 70% της ζήτησης

	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΣΤΟΛΟΣ	ΚΡΗΤΗ	ΙΤΑΛΙΑ	ΧΡΟΝΟΣ D2D (days)	ΧΡΟΝΟΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ (days)
ID 1	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Αγκόνα	2.4	1.8
ID 2	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπρίντεζι	2.4	1.1
ID 3	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Βενετία	2.4	2.0
ID 4	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Αγκόνα	2.4	1.8
ID 5	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπρίντεζι	2.5	1.2
ID 6	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Βενετία	2.5	2.1
ID 7	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Αγκόνα	2.5	1.9
ID 8	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπρίντεζι	2.5	1.2
ID 9	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Βενετία	2.5	2.1
ID 10	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπάρι	2.5	1.3
ID 11	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Αγκόνα	2.5	1.9
ID 12	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπρίντεζι	2.6	1.3
ID 13	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Βενετία	2.6	2.2
ID 14	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπάρι	2.6	1.4
ID 15	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Αγκόνα	2.6	2.0
ID 16	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπρίντεζι	2.6	1.3
ID 17	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Βενετία	2.6	2.2
ID 18	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπάρι	2.6	1.4
ID 19	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Αγκόνα	2.6	2.0

	Vs (kn)	LM (m)	DWT (tn)	Lbp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	c <sub>B</sub>	Fr	L/V^(1/3)
ID 1	18.5	987	3783	112.6	19.87	13.3	5.25	0.609	0.286	5.84
ID 2	17.9	987	3668	110.8	20.08	13.3	5.2	0.604	0.279	5.80
ID 3	17.8	987	3653	110.6	20.09	13.3	5.2	0.601	0.278	5.80
ID 4	17.2	987	3623	108.8	20.10	13.2	5.15	0.608	0.271	5.73
ID 5	18.3	987	3739	112.1	20.08	13.3	5.25	0.603	0.284	5.82
ID 6	18.1	987	3707	111.3	20.04	13.3	5.2	0.606	0.282	5.81
ID 7	17.5	987	3629	109.6	20.20	13.3	5.15	0.607	0.275	5.75
ID 8	16.3	987	3456	106.1	20.13	13.2	5.05	0.608	0.260	5.67
ID 9	17	987	3603	108.1	20.06	13.2	5.1	0.614	0.269	5.71
ID 10	17.7	987	3640	110.3	20.23	13.3	5.2	0.600	0.277	5.78
ID 11	16.3	987	3456	106.1	20.13	13.2	5.05	0.608	0.260	5.67
ID 12	16.8	987	3511	107.6	20.25	13.2	5.1	0.600	0.266	5.72
ID 13	17.2	987	3623	108.8	20.10	13.2	5.15	0.608	0.271	5.73
ID 14	18	987	3688	111.1	20.08	13.3	5.2	0.605	0.281	5.80
ID 15	16.6	987	3505	106.9	20.21	13.2	5.05	0.613	0.264	5.67
ID 16	15	987	3363	102.4	20.40	13.1	4.95	0.613	0.243	5.53
ID 17	16.2	987	3448	105.9	20.14	13.2	5.05	0.608	0.259	5.66
ID 18	16.3	987	3456	106.1	20.13	13.2	5.05	0.608	0.260	5.67
ID 19	15.4	987	3396	103.6	20.25	13.1	5	0.611	0.248	5.58



	L/B	L/D	B/T	R <sub>T</sub> (KN)	MCR (KW)	GM (m)	SHP (PS)	N (RPM)
ID 1	5.67	8.47	3.79	469.0	8640	1.05	4784	219
ID 2	5.52	8.33	3.86	424.2	8000	1.09	4167	209
ID 3	5.50	8.32	3.86	415.5	7360	1.10	4053	207
ID 4	5.42	8.25	3.90	379.8	6560	1.05	3605	210
ID 5	5.58	8.43	3.82	454.2	8280	1.05	4575	216
ID 6	5.55	8.37	3.85	441.0	8000	1.06	4390	213
ID 7	5.43	8.24	3.92	401.7	7000	1.05	3890	215
ID 8	5.27	8.04	3.99	323.2	5520	1.01	2866	194
ID 9	5.39	8.19	3.93	369.7	6560	1.05	3468	207
ID 10	5.46	8.30	3.89	410.8	7360	1.05	3985	205
ID 11	5.27	8.04	3.99	323.2	5520	1.01	2866	194
ID 12	5.31	8.15	3.97	349.9	6000	1.06	3227	201
ID 13	5.42	8.25	3.90	379.8	6560	1.05	3605	210
ID 14	5.53	8.35	3.86	434.0	8000	1.08	4293	211
ID 15	5.29	8.10	4.00	344.3	6000	1.05	3145	200
ID 16	5.02	7.82	4.12	262.4	3900	1.05	2151	186
ID 17	5.26	8.02	3.99	318.3	5520	1.01	2804	193
ID 18	5.27	8.04	3.99	323.2	5520	1.01	2866	194
ID 19	5.12	7.91	4.05	278.7	4500	1.05	2327	181

	AE/A0	n0	P/D	J	KT	τ	σ
ID 1	0.65	0.653	0.920	0.669	0.148	0.128	0.321
ID 2	0.65	0.657	0.931	0.682	0.148	0.128	0.352
ID 3	0.65	0.658	0.935	0.686	0.147	0.128	0.359
ID 4	0.65	0.653	0.920	0.669	0.148	0.128	0.371
ID 5	0.65	0.655	0.924	0.674	0.148	0.128	0.331
ID 6	0.65	0.655	0.926	0.676	0.148	0.128	0.339
ID 7	0.65	0.651	0.914	0.663	0.148	0.129	0.352
ID 8	0.55	0.663	0.922	0.685	0.147	0.150	0.428
ID 9	0.65	0.653	0.919	0.668	0.148	0.128	0.379
ID 10	0.65	0.658	0.935	0.686	0.147	0.128	0.363
ID 11	0.55	0.663	0.922	0.685	0.147	0.150	0.428
ID 12	0.65	0.658	0.932	0.683	0.148	0.128	0.400
ID 13	0.65	0.653	0.920	0.669	0.148	0.128	0.371
ID 14	0.65	0.656	0.927	0.678	0.148	0.128	0.344
ID 15	0.65	0.655	0.926	0.676	0.148	0.128	0.404
ID 16	0.55	0.660	0.913	0.675	0.147	0.150	0.494
ID 17	0.55	0.663	0.923	0.686	0.147	0.150	0.434
ID 18	0.55	0.663	0.922	0.685	0.147	0.150	0.428
ID 19	0.55	0.666	0.931	0.695	0.146	0.150	0.491

	RFR (euro)	CO2 ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ (tn/trailer)	TFR (euro)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ CO2 (tn/trailer)
ID 1	1165	3.77	1965	4.26
ID 2	966	1.92	2399	2.77
ID 3	1123	3.50	1464	3.85
ID 4	1061	2.96	1861	3.45
ID 5	1013	2.33	2447	3.18
ID 6	1176	3.96	1518	4.31
ID 7	1090	3.21	1890	3.70
ID 8	895	1.47	2329	2.32
ID 9	1095	3.31	1436	3.65
ID 10	984	2.14	2298	2.92
ID 11	988	2.39	1788	2.89
ID 12	933	1.79	2367	2.64
ID 13	1126	3.60	1468	3.95
ID 14	1024	2.48	2338	3.27
ID 15	1030	2.74	1830	3.24
ID 16	859	1.27	2293	2.12
ID 17	1018	2.70	1359	3.04
ID 18	917	1.69	2231	2.47
ID 19	954	2.16	1754	2.65

## 2) 2<sup>η</sup> περίπτωση 100% της ζήτησης

	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΣΤΟΛΟΣ	ΚΡΗΤΗ	ΙΤΑΛΙΑ	ΧΡΟΝΟΣ D2D (days)	ΧΡΟΝΟΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ (days)
ID 1	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπρίντεζι	2.4	1.1
ID 2	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Βενετία	2.4	2.0
ID 3	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Αγκόνα	2.4	1.8
ID 4	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπρίντεζι	2.4	1.1
ID 5	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Βενετία	2.4	2.0
ID 6	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπάρι	2.4	1.2
ID 7	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Αγκόνα	2.4	1.8
ID 8	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπρίντεζι	2.5	1.2
ID 9	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Βενετία	2.5	2.1
ID 10	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπάρι	2.5	1.3
ID 11	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Αγκόνα	2.5	1.9
ID 12	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπρίντεζι	2.5	1.2
ID 13	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Βενετία	2.5	2.1
ID 14	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπάρι	2.5	1.3
ID 15	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Αγκόνα	2.5	1.9
ID 16	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπρίντεζι	2.6	1.3
ID 17	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Βενετία	2.6	2.2
ID 18	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπάρι	2.6	1.4
ID 19	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Αγκόνα	2.6	2.0
ID 20	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπρίντεζι	2.6	1.3
ID 21	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Βενετία	2.6	2.2
ID 22	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπάρι	2.6	1.4
ID 23	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Αγκόνα	2.6	2.0

	Vs (kn)	LM (m)	DWT (tn)	Lbp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	c <sub>B</sub>	Fr	L/V <sup>1/3</sup>
ID 1	20.6	1410	5268	135.6	21.03	13.8	5.75	0.605	0.291	6.31
ID 2	19.3	1410	5031	131.6	21.32	13.7	5.6	0.603	0.276	6.22
ID 3	18.8	1410	4952	130.0	21.29	13.7	5.55	0.608	0.271	6.18
ID 4	18.4	1410	4865	128.8	21.30	13.6	5.5	0.607	0.266	6.15
ID 5	18.1	1410	4840	127.8	21.34	13.6	5.45	0.612	0.263	6.12
ID 6	19.7	1410	5099	132.8	21.12	13.7	5.65	0.604	0.281	6.26
ID 7	17.5	1410	4734	126.3	21.37	13.6	5.45	0.603	0.256	6.10
ID 8	18.7	1410	4926	129.8	21.34	13.6	5.55	0.604	0.270	6.18
ID 9	18.3	1410	4863	128.5	21.30	13.6	5.5	0.607	0.265	6.15
ID 10	19.9	1410	5120	133.3	21.10	13.7	5.65	0.608	0.283	6.26
ID 11	17.7	1410	4761	126.8	21.46	13.6	5.45	0.606	0.258	6.10
ID 12	16.7	1410	4625	124.0	21.47	13.5	5.4	0.602	0.246	6.04
ID 13	17.2	1410	4708	125.0	21.38	13.6	5.35	0.618	0.253	6.05
ID 14	18	1410	4799	127.8	21.49	13.6	5.5	0.600	0.262	6.13
ID 15	16.5	1410	4593	123.2	21.45	13.5	5.35	0.606	0.244	6.02
ID 16	17.2	1410	4708	125.0	21.38	13.6	5.35	0.618	0.253	6.05
ID 17	17.4	1410	4715	126.0	21.47	13.6	5.45	0.600	0.255	6.09
ID 18	18.4	1410	4865	128.8	21.30	13.6	5.5	0.607	0.266	6.15
ID 19	16.8	1410	4686	124.2	21.52	13.5	5.4	0.604	0.248	6.04
ID 20	15.3	1410	4523	119.9	21.53	13.4	5.3	0.609	0.229	5.91
ID 21	16.4	1410	4585	123.0	21.53	13.5	5.35	0.605	0.243	6.01
ID 22	16.6	1410	4609	123.7	21.47	13.5	5.4	0.601	0.245	6.04
ID 23	15.6	1410	4536	120.9	21.67	13.5	5.35	0.600	0.233	5.95

	L/B	L/D	B/T	R <sub>T</sub> (KN)	MCR (KW)	GM (m)	SHP (PS)	N (RPM)
ID 1	6.45	9.82	3.66	667.9	14000	1.04	7636	216
ID 2	6.17	9.60	3.81	558.4	10800	1.08	5929	213
ID 3	6.11	9.49	3.84	522.4	9720	1.09	5395	207
ID 4	6.05	9.47	3.87	488.3	9000	1.05	4920	200
ID 5	5.99	9.40	3.92	469.7	8640	1.10	4695	207
ID 6	6.29	9.69	3.74	590.9	11520	1.07	6362	208
ID 7	5.91	9.28	3.92	423.0	7360	1.00	4067	197
ID 8	6.08	9.54	3.85	512.9	9720	1.05	5263	205
ID 9	6.04	9.45	3.87	480.8	8640	1.05	4816	199
ID 10	6.32	9.73	3.74	611.8	12000	1.05	6669	212
ID 11	5.91	9.32	3.94	438.3	8000	1.05	4269	200
ID 12	5.78	9.18	3.98	372.7	6120	1.03	3405	185
ID 13	5.85	9.19	4.00	411.6	7000	1.05	3897	195
ID 14	5.94	9.40	3.91	458.2	8280	1.05	4505	194
ID 15	5.74	9.13	4.01	363.0	6000	1.05	3253	183
ID 16	5.85	9.19	4.00	411.6	7000	1.05	3897	195
ID 17	5.87	9.27	3.94	416.0	7360	1.07	3972	195
ID 18	6.05	9.47	3.87	488.3	9000	1.05	4920	200
ID 19	5.77	9.20	3.99	381.9	6560	1.06	3517	187
ID 20	5.57	8.95	4.06	303.6	4920	1.06	2538	177
ID 21	5.71	9.11	4.03	358.2	6000	1.10	3191	182
ID 22	5.76	9.17	3.98	367.1	6000	1.03	3333	183
ID 23	5.58	8.96	4.05	316.5	4920	1.06	2675	171

	ΑΕ/Α0	n0	P/D	J	ΚΤ	τ	σ
ID 1	0.75	0.651	0.960	0.696	0.154	0.116	0.283
ID 2	0.65	0.656	0.928	0.679	0.148	0.128	0.307
ID 3	0.65	0.657	0.931	0.682	0.148	0.128	0.326
ID 4	0.65	0.660	0.939	0.690	0.147	0.128	0.346
ID 5	0.65	0.653	0.921	0.670	0.148	0.128	0.342
ID 6	0.65	0.661	0.941	0.693	0.147	0.128	0.305
ID 7	0.65	0.658	0.934	0.685	0.147	0.128	0.377
ID 8	0.65	0.658	0.934	0.685	0.148	0.128	0.331
ID 9	0.65	0.660	0.940	0.692	0.147	0.128	0.351
ID 10	0.65	0.659	0.936	0.687	0.148	0.128	0.295
ID 11	0.65	0.657	0.930	0.680	0.148	0.128	0.365
ID 12	0.65	0.662	0.944	0.697	0.147	0.128	0.426
ID 13	0.65	0.656	0.928	0.678	0.148	0.128	0.385
ID 14	0.65	0.663	0.946	0.698	0.147	0.127	0.367
ID 15	0.55	0.666	0.931	0.695	0.147	0.150	0.433
ID 16	0.65	0.656	0.928	0.678	0.148	0.128	0.385
ID 17	0.65	0.659	0.937	0.688	0.148	0.128	0.384
ID 18	0.65	0.660	0.939	0.690	0.147	0.128	0.346
ID 19	0.65	0.660	0.940	0.692	0.147	0.128	0.416
ID 20	0.55	0.662	0.919	0.681	0.147	0.150	0.490
ID 21	0.55	0.666	0.931	0.695	0.146	0.150	0.439
ID 22	0.65	0.662	0.946	0.698	0.147	0.128	0.432
ID 23	0.55	0.669	0.940	0.705	0.146	0.149	0.496

	RFR (euro)	CO2 ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ (tn/trailer)	TFR (euro)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ CO2 (tn/trailer)
ID 1	883	2.39	2317	3.24
ID 2	979	3.54	1320	3.88
ID 3	910	2.92	1710	3.41
ID 4	765	1.56	2198	2.40
ID 5	889	2.80	1230	3.15
ID 6	845	2.16	2158	2.94
ID 7	819	2.21	1619	2.70
ID 8	798	1.83	2231	2.68
ID 9	915	3.05	1257	3.40
ID 10	874	2.42	2188	3.20
ID 11	845	2.43	1645	2.92
ID 12	708	1.20	2142	2.05
ID 13	842	2.45	1183	2.79
ID 14	770	1.66	2084	2.44
ID 15	774	1.86	1574	2.35
ID 16	744	1.48	2178	2.33
ID 17	860	2.62	1201	2.96
ID 18	806	1.96	2120	2.74
ID 19	816	2.23	1616	2.72
ID 20	681	1.03	2114	1.88
ID 21	798	2.11	1139	2.45
ID 22	722	1.34	2035	2.12
ID 23	750	1.71	1550	2.20

3) 3<sup>η</sup> περίπτωση 130% της ζήτησης

	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΣΤΟΛΟΣ	ΚΡΗΤΗ	ΙΤΑΛΙΑ	ΧΡΟΝΟΣ D2D (days)	ΧΡΟΝΟΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ (days)
ID 1	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπρίντεζι	2.4	1.1
ID 2	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Βενετία	2.4	2.0
ID 3	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Αγκόνα	2.4	1.8
ID 4	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπρίντεζι	2.4	1.1
ID 5	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Βενετία	2.4	2.0
ID 6	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπάρι	2.4	1.2
ID 7	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Αγκόνα	2.4	1.8
ID 8	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπρίντεζι	2.5	1.2
ID 9	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Βενετία	2.5	2.1
ID 10	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπάρι	2.5	1.3
ID 11	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Αγκόνα	2.5	1.9
ID 12	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπρίντεζι	2.5	1.2
ID 13	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Βενετία	2.5	2.1
ID 14	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπάρι	2.5	1.3
ID 15	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Αγκόνα	2.5	1.9
ID 16	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπρίντεζι	2.6	1.3
ID 17	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Βενετία	2.6	2.2
ID 18	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπάρι	2.6	1.4
ID 19	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Αγκόνα	2.6	2.0
ID 20	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπρίντεζι	2.6	1.3
ID 21	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Βενετία	2.6	2.2
ID 22	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπάρι	2.6	1.4
ID 23	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Αγκόνα	2.6	2.0

	Vs (kn)	LM (m)	DWT (tn)	Lbp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	c <sub>B</sub>	Fr	L/V^(1/3)
ID 1	21.1	1832	6640	147.2	23.20	14	6	0.611	0.286	6.34
ID 2	19.5	1832	6212	142.6	23.20	13.9	5.85	0.600	0.268	6.30
ID 3	19	1832	6123	141.2	23.20	13.9	5.8	0.605	0.263	6.26
ID 4	18.8	1832	6138	140.7	23.20	13.8	5.8	0.602	0.260	6.25
ID 5	18.3	1832	6017	139.2	23.20	13.8	5.75	0.603	0.255	6.22
ID 6	20.2	1832	6443	144.5	23.20	13.9	5.9	0.609	0.276	6.31
ID 7	17.7	1832	5914	137.5	23.20	13.8	5.7	0.604	0.248	6.19
ID 8	19.2	1832	6197	141.7	23.20	13.9	5.8	0.607	0.265	6.26
ID 9	18.5	1832	6044	139.7	23.20	13.8	5.75	0.604	0.257	6.23
ID 10	20.4	1832	6425	145.3	23.20	13.9	5.95	0.603	0.278	6.33
ID 11	18	1832	5964	138.3	23.20	13.8	5.7	0.609	0.251	6.19
ID 12	17.1	1832	5832	136.6	23.20	13.8	5.65	0.607	0.240	6.17
ID 13	17.4	1832	5857	136.8	23.20	13.8	5.7	0.602	0.244	6.17
ID 14	18.4	1832	6038	139.5	23.20	13.8	5.75	0.604	0.256	6.23
ID 15	16.7	1832	5760	136.6	23.20	13.8	5.65	0.601	0.235	6.19
ID 16	17.5	1832	5877	137.0	23.20	13.8	5.7	0.602	0.246	6.18
ID 17	17.6	1832	5902	137.3	23.20	13.8	5.7	0.604	0.247	6.18
ID 18	18.7	1832	6123	140.4	23.20	13.8	5.8	0.602	0.259	6.24
ID 19	17	1832	5805	136.6	23.20	13.8	5.65	0.604	0.239	6.18
ID 20	15.7	1832	5666	136.6	23.20	13.8	5.55	0.606	0.221	6.21
ID 21	16.6	1832	5791	136.6	23.20	13.8	5.65	0.600	0.233	6.19
ID 22	16.9	1832	5791	136.6	23.20	13.8	5.65	0.604	0.238	6.18
ID 23	15.9	1832	5682	136.6	23.20	13.8	5.55	0.608	0.223	6.20

	L/B	L/D	B/T	R <sub>T</sub> (KN)	MCR (KW)	GM (m)	SHP (PS)	N (RPM)
ID 1	6.34	10.51	3.87	804.8	17400	1.92	9486	214
ID 2	6.15	10.26	3.97	623.1	12000	1.69	6673	202
ID 3	6.08	10.16	4.00	584.1	11040	1.72	6088	196
ID 4	6.06	10.19	4.00	561.5	10400	1.65	5777	192
ID 5	6.00	10.09	4.03	523.6	9720	1.68	5276	196
ID 6	6.23	10.40	3.93	704.2	14400	1.78	7962	211
ID 7	5.93	9.96	4.07	478.4	8280	1.58	4649	187
ID 8	6.11	10.19	4.00	602.7	11520	1.71	6357	199
ID 9	6.02	10.12	4.03	538.9	10000	1.68	5494	199
ID 10	6.26	10.45	3.90	717.3	14720	1.76	8118	202
ID 11	5.96	10.02	4.07	502.3	9000	1.57	4976	192
ID 12	5.89	9.90	4.11	439.6	7360	1.48	4123	180
ID 13	5.90	9.91	4.07	455.7	8000	1.59	4347	183
ID 14	6.01	10.11	4.03	531.1	9720	1.68	5383	197
ID 15	5.89	9.90	4.11	412.7	7000	1.49	3744	175
ID 16	5.91	9.93	4.07	463.6	8000	1.59	4450	185
ID 17	5.92	9.95	4.07	471.8	8280	1.58	4559	186
ID 18	6.05	10.18	4.00	554.3	10400	1.65	5671	191
ID 19	5.89	9.90	4.11	432.3	7360	1.48	3997	179
ID 20	5.89	9.90	4.18	359.8	5520	1.42	3092	172
ID 21	5.89	9.90	4.11	405.8	6560	1.49	3658	173
ID 22	5.89	9.90	4.11	426.5	7000	1.49	3920	177
ID 23	5.89	9.90	4.18	370.4	6000	1.42	3225	175

	AE/A0	n0	P/D	J	KT	τ	σ
ID 1	0.75	0.646	0.948	0.681	0.154	0.116	0.264
ID 2	0.65	0.658	0.934	0.685	0.148	0.128	0.309
ID 3	0.65	0.659	0.936	0.688	0.147	0.128	0.327
ID 4	0.65	0.661	0.943	0.695	0.147	0.128	0.340
ID 5	0.65	0.657	0.930	0.680	0.148	0.128	0.347
ID 6	0.75	0.645	0.946	0.679	0.154	0.116	0.286
ID 7	0.65	0.659	0.937	0.689	0.148	0.128	0.378
ID 8	0.65	0.658	0.933	0.684	0.148	0.128	0.318
ID 9	0.65	0.656	0.928	0.678	0.148	0.128	0.337
ID 10	0.75	0.652	0.964	0.700	0.153	0.116	0.294
ID 11	0.65	0.657	0.931	0.681	0.148	0.128	0.359
ID 12	0.65	0.660	0.940	0.692	0.147	0.127	0.407
ID 13	0.65	0.661	0.941	0.693	0.147	0.127	0.394
ID 14	0.65	0.656	0.929	0.679	0.148	0.128	0.342
ID 15	0.55	0.667	0.934	0.698	0.147	0.150	0.432
ID 16	0.65	0.660	0.940	0.692	0.147	0.128	0.389
ID 17	0.65	0.659	0.937	0.688	0.147	0.128	0.382
ID 18	0.65	0.662	0.943	0.695	0.147	0.128	0.344
ID 19	0.55	0.666	0.930	0.693	0.147	0.150	0.413
ID 20	0.55	0.662	0.919	0.681	0.147	0.150	0.469
ID 21	0.55	0.668	0.936	0.700	0.146	0.150	0.439
ID 22	0.55	0.666	0.931	0.694	0.147	0.150	0.418
ID 23	0.55	0.661	0.917	0.679	0.147	0.150	0.456

	RFR (euro)	CO2 ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ (tn/trailer)	TFR (euro)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ CO2 (tn/trailer)
ID 1	790	2.22	2223	3.06
ID 2	836	2.97	1178	3.32
ID 3	778	2.45	1578	2.94
ID 4	672	1.43	2106	2.28
ID 5	764	2.39	1105	2.73
ID 6	753	2.02	2066	2.80
ID 7	709	1.91	1509	2.40
ID 8	703	1.68	2137	2.53
ID 9	788	2.60	1129	2.95
ID 10	772	2.21	2086	2.99
ID 11	737	2.15	1537	2.64
ID 12	620	1.09	2054	1.94
ID 13	721	2.06	1062	2.41
ID 14	675	1.51	1989	2.28
ID 15	671	1.62	1471	2.11
ID 16	642	1.27	2076	2.12
ID 17	747	2.29	1088	2.63
ID 18	708	1.78	2021	2.56
ID 19	695	1.83	1495	2.32
ID 20	591	0.90	2025	1.75
ID 21	702	1.93	1043	2.27
ID 22	628	1.19	1942	1.97
ID 23	652	1.48	1452	1.97

4) 4<sup>η</sup> περίπτωση 150% της ζήτησης

	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΣΤΟΛΟΣ	ΚΡΗΤΗ	ΙΤΑΛΙΑ	ΧΡΟΝΟΣ D2D (days)	ΧΡΟΝΟΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ (days)
ID 1	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπρίντεζι	2.4	1.1
ID 2	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Βενετία	2.4	2.0
ID 3	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Αγκόνα	2.4	1.8
ID 4	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπρίντεζι	2.4	1.1
ID 5	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Βενετία	2.4	2.0
ID 6	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπάρι	2.4	1.2
ID 7	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Αγκόνα	2.4	1.8
ID 8	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπρίντεζι	2.5	1.2
ID 9	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Βενετία	2.5	2.1
ID 10	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπάρι	2.5	1.3
ID 11	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Αγκόνα	2.5	1.9
ID 12	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπρίντεζι	2.5	1.2
ID 13	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Βενετία	2.5	2.1
ID 14	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπάρι	2.5	1.3
ID 15	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Αγκόνα	2.5	1.9
ID 16	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπρίντεζι	2.6	1.3
ID 17	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Βενετία	2.6	2.2
ID 18	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπάρι	2.6	1.4
ID 19	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Αγκόνα	2.6	2.0
ID 20	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπρίντεζι	2.6	1.3
ID 21	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Βενετία	2.6	2.2
ID 22	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπάρι	2.6	1.4
ID 23	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Αγκόνα	2.6	2.0

	Vs (kn)	LM (m)	DWT (tn)	Lbp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	c <sub>B</sub>	Fr	L/V <sup>1/3</sup>
ID 1	21.5	2114	8348	170.7	23.20	14.4	6.5	0.604	0.270	6.84
ID 2	19.7	2114	7804	166.3	23.20	14.3	6.25	0.607	0.251	6.80
ID 3	19.2	2114	7622	164.8	23.20	14.3	6.2	0.604	0.246	6.79
ID 4	19.1	2114	7650	164.5	23.20	14.3	6.2	0.606	0.245	6.77
ID 5	18.5	2114	7537	162.9	23.20	14.3	6.2	0.600	0.238	6.75
ID 6	20.5	2114	7981	168.8	23.20	14.4	6.35	0.604	0.259	6.84
ID 7	17.9	2114	7329	160.9	23.20	14.2	6.1	0.604	0.232	6.72
ID 8	19.5	2114	7724	165.8	23.20	14.3	6.25	0.604	0.249	6.80
ID 9	18.7	2114	7519	163.4	23.20	14.3	6.2	0.600	0.240	6.76
ID 10	20.7	2114	8026	169.4	23.20	14.4	6.35	0.606	0.261	6.85
ID 11	18.2	2114	7403	161.9	23.20	14.3	6.15	0.601	0.235	6.74
ID 12	17.4	2114	7218	159.3	23.20	14.2	6.05	0.602	0.226	6.70
ID 13	17.5	2114	7273	159.6	23.20	14.2	6.05	0.607	0.228	6.69
ID 14	18.7	2114	7519	163.4	23.20	14.3	6.2	0.600	0.240	6.76
ID 15	16.9	2114	7112	158.0	23.20	14.2	6.05	0.600	0.221	6.67
ID 16	17.8	2114	7285	160.6	23.20	14.2	6.1	0.601	0.231	6.72
ID 17	17.8	2114	7285	160.6	23.20	14.2	6.1	0.601	0.231	6.72
ID 18	19	2114	7627	164.2	23.20	14.3	6.2	0.606	0.244	6.77
ID 19	17.2	2114	7172	158.8	23.20	14.2	6.05	0.602	0.224	6.68
ID 20	15.9	2114	6935	154.8	23.20	14.1	5.95	0.602	0.210	6.61
ID 21	16.7	2114	7092	157.2	23.20	14.2	6	0.605	0.219	6.65
ID 22	17.2	2114	7172	158.8	23.20	14.2	6.05	0.602	0.224	6.68
ID 23	16	2114	7018	155.3	23.20	14.1	6	0.602	0.211	6.60

	L/B	L/D	B/T	R <sub>T</sub> (KN)	MCR (KW)	GM (m)	SHP (PS)	N (RPM)
ID 1	7.36	11.86	3.57	851.7	18000	1.56	10051	190
ID 2	7.17	11.63	3.71	670.9	12960	1.46	7175	181
ID 3	7.10	11.52	3.74	624.8	12000	1.35	6543	183
ID 4	7.09	11.50	3.74	618.8	11520	1.34	6447	183
ID 5	7.02	11.39	3.74	566.5	10400	1.35	5701	175
ID 6	7.28	11.73	3.65	744.2	15000	1.49	8303	191
ID 7	6.93	11.33	3.80	524.3	9720	1.33	5064	169
ID 8	7.15	11.59	3.71	651.2	12960	1.46	6885	178
ID 9	7.05	11.43	3.74	580.7	10800	1.35	5909	177
ID 10	7.30	11.76	3.65	765.4	15600	1.49	8727	189
ID 11	6.98	11.32	3.77	544.1	9720	1.24	5382	171
ID 12	6.87	11.22	3.83	486.9	8280	1.22	4595	171
ID 13	6.88	11.24	3.83	498.3	8640	1.35	4737	173
ID 14	7.05	11.43	3.74	580.7	10800	1.35	5909	177
ID 15	6.81	11.13	3.83	454.6	8000	1.22	4163	165
ID 16	6.92	11.31	3.80	514.9	9000	1.33	4942	167
ID 17	6.92	11.31	3.80	514.9	9000	1.33	4942	167
ID 18	7.08	11.49	3.74	610.8	11520	1.34	6330	181
ID 19	6.84	11.18	3.83	473.9	8000	1.22	4420	169
ID 20	6.67	10.98	3.90	393.9	6120	1.21	3379	152
ID 21	6.78	11.07	3.87	444.2	7360	1.25	4022	163
ID 22	6.84	11.18	3.83	473.9	8000	1.22	4420	169
ID 23	6.70	11.02	3.87	400.9	6560	1.18	3463	154



	ΑΕ/Α0	n0	P/D	J	ΚΤ	τ	σ
ID 1	0.75	0.662	0.989	0.730	0.153	0.115	0.292
ID 2	0.65	0.669	0.964	0.719	0.147	0.127	0.335
ID 3	0.65	0.666	0.955	0.708	0.147	0.127	0.344
ID 4	0.65	0.665	0.954	0.707	0.147	0.127	0.347
ID 5	0.65	0.668	0.963	0.718	0.147	0.127	0.378
ID 6	0.65	0.667	0.957	0.711	0.147	0.127	0.305
ID 7	0.55	0.673	0.952	0.719	0.146	0.149	0.403
ID 8	0.65	0.670	0.967	0.723	0.146	0.127	0.345
ID 9	0.65	0.668	0.961	0.716	0.147	0.127	0.369
ID 10	0.75	0.659	0.983	0.723	0.153	0.115	0.308
ID 11	0.65	0.669	0.965	0.720	0.146	0.127	0.391
ID 12	0.55	0.670	0.942	0.707	0.146	0.149	0.414
ID 13	0.55	0.668	0.937	0.701	0.146	0.149	0.405
ID 14	0.65	0.668	0.961	0.716	0.147	0.127	0.369
ID 15	0.55	0.671	0.945	0.710	0.146	0.149	0.443
ID 16	0.55	0.674	0.956	0.723	0.146	0.149	0.410
ID 17	0.55	0.674	0.956	0.723	0.146	0.149	0.410
ID 18	0.65	0.666	0.954	0.708	0.147	0.127	0.351
ID 19	0.55	0.670	0.943	0.708	0.146	0.149	0.425
ID 20	0.50	0.675	0.954	0.724	0.148	0.166	0.514
ID 21	0.55	0.670	0.944	0.709	0.146	0.149	0.451
ID 22	0.55	0.670	0.943	0.708	0.146	0.149	0.425
ID 23	0.50	0.674	0.951	0.721	0.148	0.166	0.506

	RFR (euro)	CO2 ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ (tn/trailer)	TFR (euro)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ CO2 (tn/trailer)
ID 1	722	2.01	2155	2.86
ID 2	778	2.81	1120	3.15
ID 3	717	2.26	1517	2.76
ID 4	621	1.32	2055	2.17
ID 5	716	2.31	1057	2.65
ID 6	681	1.77	1995	2.55
ID 7	658	1.79	1458	2.28
ID 8	648	1.54	2082	2.39
ID 9	730	2.43	1071	2.78
ID 10	709	1.99	2023	2.77
ID 11	683	2.02	1483	2.51
ID 12	576	1.04	2010	1.89
ID 13	673	1.97	1014	2.32
ID 14	626	1.42	1940	2.20
ID 15	625	1.55	1425	2.04
ID 16	597	1.21	2031	2.06
ID 17	690	2.13	1031	2.47
ID 18	654	1.65	1968	2.44
ID 19	646	1.74	1446	2.23
ID 20	545	0.84	1979	1.69
ID 21	643	1.75	985	2.10
ID 22	586	1.15	1900	1.93
ID 23	608	1.44	1408	1.93

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Θ: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΠΑΤΡΑ

	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΣΤΟΛΟΣ	ΚΡΗΤΗ	ΙΤΑΛΙΑ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΣ	ΧΡΟΝΟΣ D2D (days)	ΧΡΟΝΟΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ (days)
ID 1	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Βενετία	Πάτρα	2.4	2.0
ID 2	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Αγκόνα	Πάτρα	2.4	1.8
ID 3	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπρίντεζι	Πάτρα	2.4	1.1
ID 4	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Βενετία	Πάτρα	2.4	2.0
ID 5	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Αγκόνα	Πάτρα	2.4	1.8
ID 6	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπρίντεζι	Πάτρα	2.5	1.2
ID 7	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Βενετία	Πάτρα	2.5	2.1
ID 8	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Αγκόνα	Πάτρα	2.5	1.9
ID 9	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπρίντεζι	Πάτρα	2.5	1.2
ID 10	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Βενετία	Πάτρα	2.5	2.1
ID 11	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπάρι	Πάτρα	2.5	1.3
ID 12	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Αγκόνα	Πάτρα	2.5	1.9
ID 13	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπρίντεζι	Πάτρα	2.6	1.3
ID 14	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Βενετία	Πάτρα	2.6	2.2
ID 15	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Μπάρι	Πάτρα	2.6	1.4
ID 16	Ns=1	Nv=1	Ηράκλειο	Αγκόνα	Πάτρα	2.6	2.0
ID 17	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπρίντεζι	Πάτρα	2.6	1.3
ID 18	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Βενετία	Πάτρα	2.6	2.2
ID 19	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Μπάρι	Πάτρα	2.6	1.4
ID 20	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Αγκόνα	Πάτρα	2.6	2.0

	Vs (kn)	LM (m)	DWT (tn)	Lbp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	c <sub>B</sub>	Fr	LV^(1/3)
ID 1	21.1	1832	6640	147.2	23.20	14	6	0.611	0.286	6.34
ID 2	20.8	1832	6473	146.5	23.20	14	6	0.601	0.282	6.35
ID 3	21.9	1832	6801	149.6	23.20	14	6.1	0.607	0.294	6.39
ID 4	19.9	1832	6344	143.8	23.20	13.9	5.9	0.604	0.273	6.30
ID 5	19.5	1832	6212	142.6	23.20	13.9	5.85	0.600	0.268	6.30
ID 6	21.9	1832	6801	149.6	23.20	14	6.1	0.607	0.294	6.39
ID 7	20	1832	6363	144.1	23.20	13.9	5.9	0.605	0.274	6.31
ID 8	19.6	1832	6301	142.6	23.20	13.9	5.8	0.616	0.270	6.26
ID 9	19.9	1832	6344	143.8	23.20	13.9	5.9	0.604	0.273	6.30
ID 10	18.9	1832	6125	140.9	23.20	13.9	5.8	0.603	0.262	6.25
ID 11	21.1	1832	6640	147.2	23.20	14	6	0.611	0.286	6.34
ID 12	18.4	1832	6038	139.5	23.20	13.8	5.75	0.604	0.256	6.23
ID 13	20.1	1832	6394	144.3	23.20	13.9	5.9	0.606	0.275	6.31
ID 14	19.1	1832	6164	141.4	23.20	13.9	5.8	0.606	0.264	6.26
ID 15	21.1	1832	6640	147.2	23.20	14	6	0.611	0.286	6.34
ID 16	18.6	1832	6057	140.0	23.20	13.8	5.75	0.604	0.258	6.24
ID 17	18.2	1832	6001	139.0	23.20	13.8	5.75	0.603	0.254	6.22
ID 18	18	1832	5964	138.3	23.20	13.8	5.7	0.609	0.251	6.19
ID 19	19.3	1832	6202	142.1	23.20	13.9	5.85	0.600	0.266	6.28
ID 20	17.4	1832	5857	136.8	23.20	13.8	5.7	0.602	0.244	6.17

	L/B	L/D	B/T	R <sub>T</sub> (KN)	MCR (KW)	GM (m)	SHP (PS)	N (RPM)
ID 1	6.34	10.51	3.87	804.8	17400	1.92	9486	214
ID 2	6.31	10.46	3.87	754.3	15600	1.80	8714	207
ID 3	6.45	10.68	3.80	883.2	20000	1.87	10739	213
ID 4	6.20	10.35	3.93	670.5	14000	1.79	7446	206
ID 5	6.15	10.26	3.97	623.1	12000	1.69	6673	202
ID 6	6.45	10.68	3.80	883.2	20000	1.87	10739	213
ID 7	6.21	10.36	3.93	679.8	14000	1.79	7592	207
ID 8	6.15	10.26	4.00	652.0	12960	1.83	7058	207
ID 9	6.20	10.35	3.93	670.5	14000	1.79	7446	206
ID 10	6.07	10.14	4.00	574.1	10800	1.58	5947	195
ID 11	6.34	10.51	3.87	804.8	17400	1.92	9486	214
ID 12	6.01	10.11	4.03	531.1	9720	1.68	5383	197
ID 13	6.22	10.38	3.93	690.4	14000	1.78	7753	209
ID 14	6.10	10.17	4.00	593.2	11520	1.72	6220	198
ID 15	6.34	10.51	3.87	804.8	17400	1.92	9486	214
ID 16	6.03	10.14	4.03	545.8	10000	1.68	5595	200
ID 17	5.99	10.07	4.03	516.0	9720	1.69	5169	195
ID 18	5.96	10.02	4.07	502.3	9000	1.57	4976	192
ID 19	6.13	10.22	3.97	606.4	11520	1.69	6423	200
ID 20	5.90	9.91	4.07	455.7	8000	1.59	4347	183

	AE/A0	n0	P/D	J	KT	τ	σ
ID 1	0.75	0.646	0.948	0.681	0.154	0.116	0.264
ID 2	0.75	0.651	0.961	0.697	0.154	0.116	0.281
ID 3	0.75	0.651	0.959	0.694	0.154	0.116	0.253
ID 4	0.75	0.648	0.952	0.686	0.154	0.116	0.300
ID 5	0.65	0.658	0.934	0.685	0.148	0.128	0.309
ID 6	0.75	0.651	0.959	0.694	0.154	0.116	0.253
ID 7	0.75	0.647	0.951	0.685	0.154	0.116	0.296
ID 8	0.65	0.653	0.920	0.670	0.148	0.129	0.295
ID 9	0.75	0.648	0.952	0.686	0.154	0.116	0.300
ID 10	0.65	0.660	0.939	0.690	0.147	0.128	0.333
ID 11	0.75	0.646	0.948	0.681	0.154	0.116	0.264
ID 12	0.65	0.656	0.929	0.679	0.148	0.128	0.342
ID 13	0.75	0.647	0.950	0.684	0.154	0.116	0.292
ID 14	0.65	0.658	0.935	0.686	0.148	0.128	0.322
ID 15	0.75	0.646	0.948	0.681	0.154	0.116	0.264
ID 16	0.65	0.656	0.927	0.678	0.148	0.128	0.333
ID 17	0.65	0.657	0.931	0.682	0.148	0.128	0.352
ID 18	0.65	0.657	0.931	0.681	0.148	0.128	0.359
ID 19	0.65	0.659	0.936	0.687	0.147	0.128	0.317
ID 20	0.65	0.661	0.941	0.693	0.147	0.127	0.394

	RFR (euro)	CO2 ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ (tn/trailer)	TFR (euro)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ CO2 (tn/trailer)
ID 1	991	4.15	1333	4.49
ID 2	902	3.36	1702	3.85
ID 3	829	2.44	2263	3.29
ID 4	880	3.27	1221	3.62
ID 5	809	2.65	1609	3.14
ID 6	855	2.69	2289	3.54
ID 7	906	3.51	1247	3.86
ID 8	849	3.00	1649	3.49
ID 9	739	1.88	2172	2.73
ID 10	818	2.80	1159	3.15
ID 11	827	2.53	2141	3.31
ID 12	762	2.31	1562	2.80
ID 13	768	2.15	2202	2.99
ID 14	848	3.06	1189	3.41
ID 15	850	2.75	2163	3.53
ID 16	784	2.51	1584	3.00
ID 17	673	1.45	2107	2.30
ID 18	773	2.45	1114	2.80
ID 19	732	1.91	2046	2.69
ID 20	715	1.95	1515	2.44

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΣΤΟΛΟΣ	ΚΡΗΤΗ	ΕΣΩΤ. ΚΟΜΒΟΣ (1)	ΙΤΑΛΙΑ	ΕΣΩΤ. ΚΟΜΒΟΣ (2)	ΧΡΟΝΟΣ D2D (days)	ΧΡΟΝΟΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ (days)
ID 1	Ns=1	Nv=1	Χανιά		Βενετία		2.4	2.0
ID 2	Ns=1	Nv=1	Χανιά		Βενετία		2.5	2.1
ID 3	Ns=1	Nv=1	Χανιά		Βενετία		2.6	2.2
ID 4	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Πάτρα	Βενετία		2.4	2.0
ID 5	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Πάτρα	Βενετία		2.5	2.1
ID 6	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Πάτρα	Βενετία		2.6	2.2
ID 7	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Πάτρα	Βενετία	Πάτρα	2.4	2.0
ID 8	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Πάτρα	Βενετία	Πάτρα	2.5	2.1
ID 9	Ns=1	Nv=1	Χανιά	Πάτρα	Βενετία	Πάτρα	2.6	2.2
ID 10	Ns=1	Nv=2	Χανιά		Βενετία		2.4	2.0
ID 11	Ns=1	Nv=2	Χανιά		Βενετία		2.5	2.1
ID 12	Ns=1	Nv=2	Χανιά		Βενετία		2.6	2.2
ID 13	Ns=1	Nv=2	Χανιά	Πάτρα	Βενετία		2.4	2.0
ID 14	Ns=1	Nv=2	Χανιά	Πάτρα	Βενετία		2.5	2.1
ID 15	Ns=1	Nv=2	Χανιά	Πάτρα	Βενετία		2.6	2.2
ID 16	Ns=1	Nv=2	Χανιά	Πάτρα	Βενετία	Πάτρα	2.4	2.0
ID 17	Ns=1	Nv=2	Χανιά	Πάτρα	Βενετία	Πάτρα	2.5	2.1
ID 18	Ns=1	Nv=2	Χανιά	Πάτρα	Βενετία	Πάτρα	2.6	2.2
ID 19	Ns=2	Nv=1	Χανιά		Βενετία		2.4	2.0
ID 20	Ns=2	Nv=1	Χανιά		Βενετία		2.5	2.1
ID 21	Ns=2	Nv=1	Χανιά		Βενετία		2.6	2.2
ID 22	Ns=2	Nv=1	Χανιά	Πάτρα	Βενετία		2.4	2.0
ID 23	Ns=2	Nv=1	Χανιά	Πάτρα	Βενετία		2.5	2.1
ID 24	Ns=2	Nv=1	Χανιά	Πάτρα	Βενετία		2.6	2.2
ID 25	Ns=2	Nv=1	Χανιά	Πάτρα	Βενετία	Πάτρα	2.4	2.0
ID 26	Ns=2	Nv=1	Χανιά	Πάτρα	Βενετία	Πάτρα	2.5	2.1
ID 27	Ns=2	Nv=1	Χανιά	Πάτρα	Βενετία	Πάτρα	2.6	2.2
ID 28	Ns=1	Nv=1	Χανιά		Βενετία		2.4	2.0

	Vs (kn)	LM (m)	DWT (tn)	Lbp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	c <sub>B</sub>	Fr	L/V <sup>(1/3)</sup>
ID 1	18.5	2114	7537	162.9	23.20	14.3	6.2	0.600	0.238	6.75
ID 2	17.5	2114	7273	159.6	23.20	14.2	6.05	0.607	0.228	6.69
ID 3	16.7	2114	7092	157.2	23.20	14.2	6	0.605	0.219	6.65
ID 4	20.6	2819	11131	188.1	26.10	15.7	7	0.607	0.247	6.84
ID 5	19.5	2819	10660	186.1	26.10	15.6	6.85	0.605	0.235	6.84
ID 6	18.5	2819	10273	183.2	26.10	15.5	6.75	0.600	0.225	6.82
ID 7	20.6	2819	11131	188.1	26.10	15.7	7	0.607	0.247	6.84
ID 8	19.5	2819	10660	186.1	26.10	15.6	6.85	0.605	0.235	6.84
ID 9	18.5	2819	10273	183.2	26.10	15.5	6.75	0.600	0.225	6.82
ID 10	17.8	987	3653	110.6	20.09	13.3	5.2	0.601	0.278	5.80
ID 11	17	987	3603	108.1	20.06	13.2	5.1	0.614	0.269	5.71
ID 12	16.2	987	3448	105.9	20.14	13.2	5.05	0.608	0.259	5.66
ID 13	19.7	1410	5099	132.8	21.12	13.7	5.65	0.604	0.281	6.26
ID 14	18.7	1410	4926	129.8	21.34	13.6	5.55	0.604	0.270	6.18
ID 15	17.8	1410	4780	127.0	21.46	13.6	5.45	0.606	0.259	6.11
ID 16	19.7	1410	5099	132.8	21.12	13.7	5.65	0.604	0.281	6.26
ID 17	18.7	1410	4926	129.8	21.34	13.6	5.55	0.604	0.270	6.18
ID 18	17.8	1410	4780	127.0	21.46	13.6	5.45	0.606	0.259	6.11
ID 19	17.8	987	3653	110.6	20.09	13.3	5.2	0.601	0.278	5.80
ID 20	17	987	3603	108.1	20.06	13.2	5.1	0.614	0.269	5.71
ID 21	16.2	987	3448	105.9	20.14	13.2	5.05	0.608	0.259	5.66
ID 22	19.7	1410	5099	132.8	21.12	13.7	5.65	0.604	0.281	6.26
ID 23	18.7	1410	4926	129.8	21.34	13.6	5.55	0.604	0.270	6.18
ID 24	17.8	1410	4780	127.0	21.46	13.6	5.45	0.606	0.259	6.11
ID 25	19.7	1410	5099	132.8	21.12	13.7	5.65	0.604	0.281	6.26
ID 26	18.7	1410	4926	129.8	21.34	13.6	5.55	0.604	0.270	6.18
ID 27	17.8	1410	4780	127.0	21.46	13.6	5.45	0.606	0.259	6.11

	L/B	L/D	B/T	R <sub>T</sub> (KN)	MCR (KW)	GM (m)	SHP (PS)	N (RPM)
ID 1	7.02	11.39	3.74	566.5	10400	1.35	5701	175
ID 2	6.88	11.24	3.83	498.3	8640	1.35	4737	173
ID 3	6.78	11.07	3.87	444.2	7360	1.25	4022	163
ID 4	7.21	11.98	3.73	887.1	18000	2.21	9875	166
ID 5	7.13	11.93	3.81	766.2	14720	2.20	8092	161
ID 6	7.02	11.82	3.87	668.0	12000	2.19	6664	157
ID 7	7.21	11.98	3.73	887.1	18000	2.21	9875	166
ID 8	7.13	11.93	3.81	766.2	14720	2.20	8092	161
ID 9	7.02	11.82	3.87	668.0	12000	2.19	6664	157
ID 10	5.50	8.32	3.86	415.5	7360	1.10	4053	207
ID 11	5.39	8.19	3.93	369.7	6560	1.05	3468	207
ID 12	5.26	8.02	3.99	318.3	5520	1.01	2804	193
ID 13	6.29	9.69	3.74	590.9	11520	1.07	6362	208
ID 14	6.08	9.54	3.85	512.9	9720	1.05	5263	205
ID 15	5.92	9.34	3.94	445.1	8000	1.05	4363	202
ID 16	6.29	9.69	3.74	590.9	11520	1.07	6362	208
ID 17	6.08	9.54	3.85	512.9	9720	1.05	5263	205
ID 18	5.92	9.34	3.94	445.1	8000	1.05	4363	202
ID 19	5.50	8.32	3.86	415.5	7360	1.10	4053	207
ID 20	5.39	8.19	3.93	369.7	6560	1.05	3468	207
ID 21	5.26	8.02	3.99	318.3	5520	1.01	2804	193
ID 22	6.29	9.69	3.74	590.9	11520	1.07	6362	208
ID 23	6.08	9.54	3.85	512.9	9720	1.05	5263	205
ID 24	5.92	9.34	3.94	445.1	8000	1.05	4363	202
ID 25	6.29	9.69	3.74	590.9	11520	1.07	6362	208
ID 26	6.08	9.54	3.85	512.9	9720	1.05	5263	205
ID 27	5.92	9.34	3.94	445.1	8000	1.05	4363	202

	ΑΕ/Α0	n0	P/D	J	ΚΤ	τ	σ
ID 1	0.65	0.668	0.963	0.718	0.147	0.127	0.378
ID 2	0.55	0.668	0.937	0.701	0.146	0.149	0.405
ID 3	0.55	0.670	0.944	0.709	0.146	0.149	0.451
ID 4	0.65	0.673	0.976	0.734	0.146	0.127	0.328
ID 5	0.65	0.672	0.973	0.730	0.146	0.127	0.361
ID 6	0.55	0.675	0.957	0.725	0.146	0.149	0.395
ID 7	0.65	0.673	0.976	0.734	0.146	0.127	0.328
ID 8	0.65	0.672	0.973	0.730	0.146	0.127	0.361
ID 9	0.55	0.675	0.957	0.725	0.146	0.149	0.395
ID 10	0.65	0.658	0.935	0.686	0.147	0.128	0.359
ID 11	0.65	0.653	0.919	0.668	0.148	0.128	0.379
ID 12	0.55	0.663	0.923	0.686	0.147	0.150	0.434
ID 13	0.65	0.661	0.941	0.693	0.147	0.128	0.305
ID 14	0.65	0.658	0.934	0.685	0.148	0.128	0.331
ID 15	0.65	0.656	0.928	0.678	0.148	0.128	0.360
ID 16	0.65	0.661	0.941	0.693	0.147	0.128	0.305
ID 17	0.65	0.658	0.934	0.685	0.148	0.128	0.331
ID 18	0.65	0.656	0.928	0.678	0.148	0.128	0.360
ID 19	0.65	0.658	0.935	0.686	0.147	0.128	0.359
ID 20	0.65	0.653	0.919	0.668	0.148	0.128	0.379
ID 21	0.55	0.663	0.923	0.686	0.147	0.150	0.434
ID 22	0.65	0.661	0.941	0.693	0.147	0.128	0.305
ID 23	0.65	0.658	0.934	0.685	0.148	0.128	0.331
ID 24	0.65	0.656	0.928	0.678	0.148	0.128	0.360
ID 25	0.65	0.661	0.941	0.693	0.147	0.128	0.305
ID 26	0.65	0.658	0.934	0.685	0.148	0.128	0.331
ID 27	0.65	0.656	0.928	0.678	0.148	0.128	0.360



	RFR (euro)	CO2 ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ (tn/trailer)	TFR (euro)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ CO2 (tn/trailer)
ID 1	716	2.31	1057	2.65
ID 2	673	1.97	1014	2.32
ID 3	643	1.75	985	2.10
ID 4	808	2.95	1150	3.34
ID 5	754	2.56	1095	2.95
ID 6	706	2.24	1047	2.63
ID 7	729	2.71	1070	3.05
ID 8	679	2.35	1021	2.69
ID 9	636	2.05	977	2.40
ID 10	1123	3.50	1464	3.85
ID 11	1095	3.31	1436	3.65
ID 12	1018	2.70	1359	3.04
ID 13	1154	4.20	1495	4.60
ID 14	1081	3.64	1422	4.04
ID 15	1019	3.16	1360	3.56
ID 16	1014	3.75	1355	4.10
ID 17	949	3.25	1290	3.60
ID 18	894	2.83	1236	3.18
ID 19	794	3.50	1136	3.85
ID 20	766	3.31	1108	3.65
ID 21	690	2.70	1031	3.04
ID 22	854	4.20	1195	4.60
ID 23	781	3.64	1123	4.04
ID 24	720	3.16	1061	3.56
ID 25	755	3.75	1096	4.10
ID 26	690	3.25	1031	3.60
ID 27	636	2.83	977	3.18

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Κ: ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Το αναπτυχθέν εργαλείο (BDT) έχει διακριβωθεί από την άποψη της εκτίμησης βαρών για μια σειρά μεγεθών πλοίων με χρήση στοιχείων από υπάρχοντα πλοία. Στον παρακάτω πίνακα συγκρίνονται πραγματικές και υπολογισθείσες τιμές για μία σειρά από υπάρχοντα πλοία, για τα οποία υπήρχαν διαθέσιμα συγκρίσιμα στοιχεία.

Όνομα		DAKAR BRIDGE	DAKAR BRIDGE (μεθοδολογία)	VIA IONIO	VIA IONIO (μεθοδολογία)	NORBANK	NORBANK (μεθοδολογία)
Έτος κήσης		1984		1993		1993	
Lbp	m	111.18	111.18	137.32	137.32	157.65	157.65
B	m	21	21	23.4	23.4	23.4	23.4
T	m	5.32	5.32	5.6	5.6	5.8	5.8
D	m	12.5	12.5	13.4	13.4	14.4	14.4
DWT	tn	4700	4700	6200	6207	6170	6235
W <sub>LS</sub>	tn	3510	3515	5675	5545	7420	7100
W <sub>ST</sub>	tn			4222	4084		
W <sub>OT</sub>	tn			973	943		
W <sub>M</sub>	tn			480	518		
Δ	tn	8210	8215	11875	11752	13590	13335
GT	tn	9088	9318	14398	14480	17464	16834
NT	tn	2726		7500		5239	
V <sub>s</sub>	kn	15.5	15.5	19	19	22	22
MCR	kW					2*5760+	
Μηχανή		2*2650	2*2460	2*5760	2*6000	2*6480	2*10000
LM	m	1225	1208	1850	1845	2000	2067
Επιβάτες				50		50-100	