



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

Εργαστήριο Θαλασσίων Μεταφορών

Διπλωματική Εργασία

«Ανάλυση και μελέτη της ναυλαγοράς των Car Carriers, ανάπτυξη αλγόριθμου βελτιστοποίησης των δρομολογίων πλοίων τύπου PCTC εντός ενός δικτύου ως προς το κόστος και το κέρδος και πρακτική εφαρμογή του με χρήση Γενετικών Αλγορίθμων. Μέρος Α»

Παναγιώτης Λαμπετίδης

Επιβλέπων: Δημήτριος Λυρίδης, Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

Τριμελής Επιτροπή: Δημήτριος Λυρίδης, Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

Χαρίλαος Ψαραύτης, Καθηγητής ΕΜΠ

Νικόλαος Βεντικός, Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

Ιούνιος 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αισθανόμαστε την ανάγκη να ευχαριστήσουμε από καρδιάς όλους όσους μας βοήθησαν και μας υποστήριξαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της Διπλωματικής εργασίας.

Πρώτον απ' όλους θέλουμε να εκφράσουμε τη βαθύτατη ευγνωμοσύνη μας στον Επιβλέποντα της Διπλωματικής εργασίας Επίκουρο Καθηγητή κ. Δημήτρη Λυρίδη. Η συνεχής υποστήριξή του, η πολύτιμη καθοδήγησή του αλλά και οι συμβουλές του συντέλεσαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας καθώς χωρίς αυτές ο χρόνος εκπόνησής της θα ήταν τουλάχιστον πολύ μεγαλύτερος.

Επίσης, οφείλουμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον κύριο Μάρκο Βασιλικό, γενικό διευθυντή της Neptune Lines Shipping and Managing Enterprises S.A. καθώς και τον κύριο Γεώργιο Α. Κριεζή, τεχνικό διευθυντή της ίδιας εταιρίας, οι οποίοι αφιέρωσαν σημαντικό μέρος από το πολύτιμο χρόνο τους για να μας επεξηγήσουν και να μας καθοδηγήσουν στην αγορά των Car Carriers και μας τροφοδότησαν με στοιχεία και πληροφορίες απαραίτητες για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας μας.

Ιδιαίτερα πολύτιμη ήταν για εμάς και η βοήθεια του κυρίου Παναγιώτη Ζαχαριουδάκη, Μεταδιδακτορικού Συνεργάτη του Εργαστηρίου Θαλασσιών Μεταφορών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ακόμη, θέλουμε να ευχαριστήσουμε τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, τον Καθηγητή κύριο Χαρίλαο Ψαραύτη και τον Επίκουρο Καθηγητή κύριο Νικόλαο Βεντίκο.

Τέλος, θέλουμε να ευχαριστήσουμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας και τους φίλους μας για τη συμπαράστασή τους καθ' όλη τη διάρκεια της δύσκολης προσπάθειάς μας εκπόνησης της Διπλωματικής μας εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ, ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΤΩΝ CAR CARRIERS	
2.1 Εισαγωγή.....	13
2.2 Παράθεση Ιστορικών δεδομένων.....	15
2.3 Παρουσίαση της αγοράς των Car Carriers.....	19
2.4 Το προφίλ του παγκόσμιου στόλου.....	27
2.4.1 Η χρονική εξέλιξη του στόλου των Car Carriers.....	27
2.4.2 Η διαμόρφωση του σύγχρονου στόλου των Car Carriers.....	31
2.4.3 ΡCTCs με χωρητικότητα μεγαλύτερη ή ίση των 6.000 αυτοκινήτων.....	34

2.4.4 PCTCs με χωρητικότητα μεταξύ των 5.000 και 5.999 αυτοκινήτων.....	36
2.4.5 PCTCs με χωρητικότητα μεταξύ των 4.000 και 4.999 αυτοκινήτων.....	37
2.4.6 PCTCs με χωρητικότητα μεταξύ των 3.000 και 3.999 αυτοκινήτων.....	38
2.4.7 PCTCs με χωρητικότητα μεταξύ των 1.000 και 2.999 αυτοκινήτων.....	39
2.4.8 PCTCs με χωρητικότητα μικρότερη των 1.000 αυτοκινήτων.....	40
2.4.9 Συγκεντρωτικά στοιχεία για το σύγχρονο στόλο των PCTCs.....	41
2.5 Νέες παραγγελίες πλοίων PCTC.....	44
2.6 Αποσύρσεις πλοίων PCTC.....	47
2.7 Πλοιοκτησία PCTC και δομή της αγοράς.....	48
2.8 Αρμοδιότητες και ρόλος των διαχειριστριών εταιριών.....	55
2.9 Παγκόσμια ζήτηση για αυτοκίνητα.....	60
2.9.1 Παγκόσμια παραγωγή αυτοκινήτων.....	60
2.9.2 Πωλήσεις, πωλήσεις έπειτα από εισαγωγή και εξαγωγές αυτοκινήτων παγκοσμίως.....	66
2.9.3 Πωλήσεις, πωλήσεις έπειτα από εισαγωγή και εξαγωγές αυτοκινήτων ανά γεωγραφική περιοχή.....	69

2.10 Ζήτηση για Car Carriers, Μεταφορά αυτοκινήτων διά θαλάσσης...	85
2.11 Προσφορά και ζήτηση στην αγορά των Car Carriers.....	89
2.12 Το Προφίλ των μεγαλύτερων ναυτιλιακών εταιριών στο χώρο των PCCs.....	91
2.13 Σύνοψη – Συμπεράσματα.....	105

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

3.1 Ορισμός, ορολογία και παράθεση κυρίων μεθόδων βελτιστοποίησης.....	108
3.2 Διαχωρισμός προβλημάτων βελτιστοποίησης ως προς την ύπαρξη περιορισμών.....	112
3.2.1 Βελτιστοποίηση χωρίς περιορισμούς.....	112
3.2.2 Βελτιστοποίηση με περιορισμούς.....	112
3.3 Πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση (multi – objective optimization).	114
3.4 Σύνοψη και Συμπεράσματα.....	116

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΩΝ

4.1 Ορισμός και ορολογία προβλημάτων δικτύων.....	117
---	-----

4.2 Οι βασικότερες κατηγορίες προβλημάτων δικτύων.....	120
4.3 Το πρόβλημα του περιοδεύοντος πωλητή (the travelling salesman problem).....	124
4.4 Το πρόβλημα προγραμματισμού και δρομολόγησης οχημάτων (vehicle routing and Scheduling problem).....	128
4.5 Σύνοψη και Συμπεράσματα.....	132

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ

5.1 Γενικά στοιχεία Γενετικών Αλγορίθμων, Παράθεση Ιστορικών δεδομένων.....	134
5.2 Ορολογία των Γενετικών Αλγορίθμων.....	136
5.3 Χαρακτηριστικά στοιχεία ενός απλού γενετικού αλγορίθμου.....	139
5.4 Δομή και Περιγραφή λειτουργίας ενός γενετικού αλγορίθμου.....	142
5.5 Απλό πρακτικό παράδειγμα της λειτουργίας ενός γενετικού αλγορίθμου.....	149
5.6 Θεωρητική Ανάλυση Γενετικών Αλγορίθμων – Θεωρία Σχημάτων.....	152
5.7 Συμπεράσματα.....	157

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	160
--------------------------	------------

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΤΟΛΟΥ ΤΩΝ PCCs

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2: ΣΤΟΛΟΣ ΤΩΝ PCCs ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΕΝΟΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΟ ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3: ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΕΣ PCC ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4: ΟΙ 25 ΕΤΑΙΡΙΕΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟΥΣ ΣΤΟΛΟΥΣ PCC ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5: ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΜΕ ΤΟΥΛΑΧΙΣΤΟΝ 2 PCCs

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΡΟΛΟΥ ΤΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΡΙΩΝ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΜΕ ΤΟ ΠΑΡΕΛΘΟΝ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ ΤΩΝ CAR CARRIERS

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7: ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ 2011

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.8: ΠΩΛΗΣΕΙΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.9: ΠΩΛΗΣΕΙΣ ΕΙΣΑΓΩΜΕΝΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.10: ΕΞΑΓΩΓΕΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.11: ΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.12: ΣΤΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΠΗΓΗΣΕΩΝ ΤΗΣ NIPPON YUSEN KAISHA (NYK)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.13: ΣΤΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΠΗΓΗΣΕΩΝ ΤΗΣ MITSUI O.S.K. LINES (MOL)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.14: ΣΤΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΠΗΓΗΣΕΩΝ ΤΗΣ KAWASAKI KISEN KAISHA (K-LINE)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.15: ΣΤΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΠΗΓΗΣΕΩΝ ΤΗΣ CIDO SHIPPING

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.16: ΣΤΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΠΗΓΗΣΕΩΝ ΤΗΣ RAY CAR CARRIERS LTD.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.17: ΣΤΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΠΗΓΗΣΕΩΝ ΤΗΣ HOEGH AUTOLINERS

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.18: ΣΤΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΠΗΓΗΣΕΩΝ ΤΗΣ WALLENIUS LINES

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.19: ΣΤΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΠΗΓΗΣΕΩΝ ΤΗΣ EUKOR CAR CARRIERS

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.1: Χρονική εξέλιξη του παγκόσμιου στόλου των PCCs

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.2: Ποσοστιαία συμμετοχή των πλοίων PCC διαχωρισμένων ως προς τη χωρητικότητα στη μεταφορική ικανότητα του παγκόσμιου στόλου

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.3: Ποσοστιαία συμμετοχή των πλοίων PCC διαχωρισμένων ως προς τη χωρητικότητα στο σύνολο των πλοίων του παγκόσμιου στόλου

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.4: Ποσοστιαία συμμετοχή των πλοίων PCC διαχωρισμένων ως προς το DWT στο τονάζ του παγκόσμιου στόλου

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.5: Κατανομή της χωρητικότητας του στόλου των PCCs ως προς την ηλικία

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.6: Κατανομή των πλοίων του στόλου των PCCs ως προς την ηλικία

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.7: Κατανομή του στόλου των PCCs χωρητικότητας άνω των 6.000 αυτοκινήτων ως προς την ηλικία

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.8: Κατανομή του στόλου των PCCs χωρητικότητας από 5.000 έως 5.999 αυτοκινήτων ως προς την ηλικία

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.9: Κατανομή του στόλου των PCCs χωρητικότητας από 4.000 έως 4.999 αυτοκινήτων ως προς την ηλικία

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.10: Κατανομή του στόλου των PCCs χωρητικότητας από 3.000 έως 3.999 αυτοκινήτων ως προς την ηλικία

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.11: Κατανομή του στόλου των PCCs χωρητικότητας από 1.000 έως 2.999 αυτοκινήτων ως προς την ηλικία

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.12: Κατανομή του στόλου των PCCs χωρητικότητας μικρότερης των 1.000 αυτοκινήτων ως προς την ηλικία

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.13: Παραγγελίες πλοίων PCC ανά ομάδα χωρητικότητας

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.14: Συνολική χωρητικότητα των PCCs που διαλύθηκαν ανά έτος

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.15: Οι 20 χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή αυτοκινήτων για το 2011

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.16: Παγκόσμιες πωλήσεις, πωλήσεις από εισαγωγή, εξαγωγές αυτοκινήτων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.17: Βόρειος Αμερική: πωλήσεις, πωλήσεις από εισαγωγή, εξαγωγές αυτοκινήτων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.18: Κεντρική/Νότιος Αμερική: πωλήσεις, πωλήσεις από εισαγωγή, εξαγωγές αυτοκινήτων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.19: Δυτική Ευρώπη: πωλήσεις, πωλήσεις από εισαγωγή, εξαγωγές αυτοκινήτων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.20: Ανατολική Ευρώπη: πωλήσεις, πωλήσεις από εισαγωγή, εξαγωγές αυτοκινήτων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.21: Ιαπωνία: πωλήσεις, πωλήσεις από εισαγωγή, εξαγωγές αυτοκινήτων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.22: Ν. Κορέα: πωλήσεις, πωλήσεις από εισαγωγή, εξαγωγές αυτοκινήτων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.23: Κίνα: πωλήσεις, πωλήσεις από εισαγωγή, εξαγωγές αυτοκινήτων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.24: Ινδία/Ταϊλάνδη: πωλήσεις, εξαγωγές αυτοκινήτων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.25: Μέση Ανατολή/Αφρική: πωλήσεις, πωλήσεις από εισαγωγή, εξαγωγές (Νότιος Αφρική) αυτοκινήτων

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.26: Ωκεανία: πωλήσεις, πωλήσεις από εισαγωγή

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.27: Ζήτηση για μεταφορά αυτοκινήτων διά θαλάσσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παγκοσμιοποίηση και η διεθνοποίηση των αγορών έχει εντείνει δραματικά τον ανταγωνισμό μεταξύ των επιχειρήσεων της πλειοψηφίας των βιομηχανιών και των επί μέρους αγορών που συνθέτουν τη παγκόσμια οικονομία, καθιστώντας επιτακτική ανάγκη την ουσιαστική βελτίωση της τεχνογνωσίας και των μεθόδων λήψης αποφάσεων των εταιριών καθώς και την αναζήτηση πρόσβασης των τελευταίων σε όσο το δυνατόν πληρέστερες και ουσιαστικές πληροφορίες για τον/τους κλάδο/ους τους οποίους δραστηριοποιούνται. Είναι προφανές, πως ο έντονος ανταγωνισμός όχι μόνο πιέζει αλλά επιτάσσει τις διοικήσεις των επιχειρήσεων να κάνουν όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη διαχείριση των πόρων τους με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσής τους.

Η επιδίωξη επίτευξης των παραπάνω ζητουμένων είναι απαραίτητη για τις επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται σε όλους ανεξαιρέτως τους επί μέρους τομείς της ναυτιλίας και της ναυτιλιακής βιομηχανίας, μιας αγοράς που επηρεάζεται και διαμορφώνεται από ένα πλήθος παραγόντων (πολλές φορές απρόβλεπτων) και η οποία χαρακτηρίζεται από έντονη μεταβλητότητα τόσο στις αξίες των πλοίων όσο και στις τιμές των ναύλων. Σε αντίθεση όμως με τις κύριες αγορές της ναυτιλίας, όπως είναι αυτές του ξηρού φορτίου χύδιν, του πετρελαίου και των παραγώγων του αλλά και των εμπορευματοκιβωτίων, για τις οποίες πραγματοποιούνται διαρκώς μελέτες και δημοσιεύεται ένα τεράστιο πλήθος δεδομένων και στοιχείων, η αγορά των Car Carriers, εκείνη δηλαδή της μεταφοράς αυτοκινήτων δια θαλάσσης, είναι μια «κλειστή» αγορά, για την οποία η πρόσβαση σε στοιχεία είναι εμφανώς πιο περιορισμένη.

Η αγορά των Car Carriers χαρακτηρίζεται από έντονη εξειδίκευση και από αρκετές ιδιαιτερότητες σε σχέση με τους «κλασσικούς» κλάδους της ναυτιλίας, γεγονός που οφείλεται εν μέρει στο μικρό μέγεθός της (αναλογικά πολύ μικρός αριθμός πλοίων και πλοιοκτητών) αλλά και στη μεταφορά ενός μόνον αγαθού, των αυτοκινήτων. Μάλιστα, ενώ μπορεί να θεωρηθεί επί της ουσίας ως ναυλαγορά Liner, όπως είναι

αυτή των Containerships, μπορούν σπανίως να παρατηρηθούν χαρακτηριστικά της ναυλαγοράς Trump.

Έτσι, με βάση τα όσα προαναφέρθηκαν, τα βασικά συστατικά της επιτυχίας των εταιριών που δραστηριοποιούνται στην αγορά των Car Carriers είναι αφενός η όσο το δυνατόν πληρέστερη γνώση των παραγόντων που επηρεάζουν τη συγκεκριμένη αγορά (παγκόσμιος στόλος, παραγωγή και ζήτηση αυτοκινήτων κλπ.) έτσι ώστε να ακολουθείται ορθότερη επενδυτική στρατηγική και αφετέρου η βέλτιστη σχεδίαση του δικτύου των μεταφορών τους έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος λειτουργίας των πλοίων τους και να μεγιστοποιείται το κέρδος τους μεταφέροντας όσο το δυνατόν περισσότερα αυτοκίνητα. Προφανώς, η επίτευξη των δύο παραπάνω στόχων αποτελεί το σημαντικότερο βήμα όχι μόνο για την αισθητή αύξηση της κερδοφορίας των επιχειρήσεων ακόμη και σε περιόδους οικονομικής ύφεσης όπως είναι αυτή που διανύουμε αλλά και την αύξηση της ανταγωνιστικότητας.

Ο πρωταρχικός σκοπός της διπλωματικής αυτής είναι η ανάπτυξη ενός μαθητικού μοντέλου – αλγορίθμου βελτιστοποίησης του δικτύου μεταφορών μιας διαχειρίστριας ναυτιλιακής εταιρίας που δραστηριοποιείται στην αγορά των Car Carriers και η οποία εξυπηρετεί ένα συγκεκριμένο πλήθος λιμανιών με ένα δεδομένο στόλο. Παράλληλα, γίνεται μια εκτενής και αναλυτική παρουσίαση της συγκεκριμένης αγοράς έτσι ώστε να «φωτογραφηθούν» τα κύρια χαρακτηριστικά της και να αξιολογηθούν οι προοπτικές της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται μια πρώτη εισαγωγή στην αγορά των Car Carriers, περιγράφεται η δομή της αγοράς, τα κύρια χαρακτηριστικά και ο τρόπος λειτουργίας της ενώ γίνεται λεπτομερής ανάλυση των παραγόντων που την επηρεάζουν. Ακόμη, παρέχονται λεπτομερή στοιχεία για το παγκόσμιο στόλο των πλοίων μεταφοράς αυτοκινήτων αλλά και για τις μεγαλύτερες και πιο εδραιωμένες εταιρίες σε αυτό τον τομέα.

Στο τρίτο κεφάλαιο εισάγεται η έννοια της βελτιστοποίησης και των επί μέρους κατηγοριών της ενώ παρατίθενται συνοπτικά οι διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων. Στη συνέχεια, στο

τέταρτο κεφάλαιο ορίζεται το πρόβλημα της βελτιστοποίησης των δικτύων και περιγράφονται συνοπτικά οι γενικές μορφές στις οποίες μπορεί κανείς να τα συναντήσει ανάλογα με τον εκάστοτε προς επίτευξη στόχο.

Η πρακτική εφαρμογή του μοντέλου που αναπτύσσεται στο δεύτερο μέρος της διπλωματικής εργασίας γίνεται με τη βοήθεια των γενετικών αλγορίθμων, μιας από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης. Για το λόγο αυτό, το πέμπτο κεφάλαιο ασχολείται με την εκτενή παρουσίαση των γενετικών αλγορίθμων και την περιγραφή της δομής τους, του τρόπου λειτουργίας τους και των χαρακτηριστικών τους ως μέθοδο εύρεσης βέλτιστων λύσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ, ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ ΤΩΝ CAR CARRIERS

2.1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, είναι αξιοσημείωτο το παγκόσμιο εμπόριο που έχει αναπτυχθεί στην μεταφορά αυτοκινήτων και λοιπών οχημάτων δια θαλάσσης. Το 2011, οι παγκόσμιες πωλήσεις οχημάτων έφτασαν σε τιμές ρεκόρ, καθώς πωλήθηκαν περισσότερα από 75,3 εκατομμύρια αυτοκίνητα, ενώ υπολογίζεται ότι σχεδόν 14 εκατομμύρια τεμάχια εξήχθησαν με τη βοήθεια ποντοπόρων πλοίων (περίπου το 18% των συνολικών πωλήσεων). Επιπροσθέτως, η παγκόσμια παραγωγή, σύμφωνα με την LMC-Automotive, προβλέπεται να αγγίξει τα 100 εκατομμύρια οχήματα μέχρι το 2015.

Τα Pure Car Carriers (PCCs) είναι πλοία ειδικά σχεδιασμένα για να εξυπηρετούν αυτό το εμπόριο, μεταφέροντας χιλιάδες αυτοκίνητα από τα εργοστάσιά τους στις αγορές τους ενώ παράλληλα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αγορά των μεταχειρισμένων οχημάτων και του βιομηχανικού εξοπλισμού. Λειτουργούν ως ο συνδετικός κρίκος της διαδικασίας παραγωγής των αυτοκινήτων και της διανομής τους, καθώς τα οχήματα στη σημερινή εποχή τροφοδοτούνται από όλο τον κόσμο και διαφορετικά μοντέλα κατασκευάζονται σε διαφορετικές χώρες. Τα οχήματα μεταφέρονται ορισμένες φορές και με συμβατικά πλοία τύπου ro-ro ή και reefers (συνήθως ως φορτία οπισθόζευξης). Ακόμη, ορισμένες καινοτόμες στο χώρο τους επιχειρήσεις αναπτύσσουν συστήματα αποθήκευσης αυτοκινήτων σε εμπορευματοκιβώτια (containers) επιδιώκοντας να βρουν αποδοτικότερες από πλευράς κόστους λύσεις. Παρόλο που η αγορά των PCCs είναι αρκετά λιγότερο ρευστή και μεταβλητή σε σχέση, για παράδειγμα, με τις αγορές του ξηρού φορτίου χύδην και του πετρελαίου, τα εισοδήματα των πλοίων αυτών καθώς και οι αξίες τους επηρεάζονται σημαντικά από την προσφορά της μεταφορικής χωρητικότητας και από τη ζήτηση.

Οι μεγαλύτερες εμπορικές διαδρομές αυτοκινήτων είναι μεταξύ των παραγωγικών σε αυτοκίνητα χωρών της Ασίας και των καταναλωτικών οικονομιών της Βορείου

Αμερικής και της Δυτικής Ευρώπης. Μετά την Ιαπωνία, οι μεγαλύτεροι εξαγωγείς αυτοκινήτων είναι η Νότιος Κορέα και οι Ευρωπαϊκές οικονομίες. Βέβαια, η κυριαρχία των προαναφερθεισών κρατών έχει αρχίσει και κλονίζεται από τη ραγδαία εξαγωγική ανάπτυξη από άλλες χώρες όπως η Κίνα, η Ινδία και η Βραζιλία, γεγονός που σε συνδυασμό με την παγκοσμιοποιημένη οικονομία έχει οδηγήσει σε αξιοσημείωτες μεταλλάξεις στις εμπορικές διαδρομές μεταφοράς αυτοκινήτων. Η Βόρειος Αμερική, η Ευρώπη και η Άπω Ανατολή είναι οι βασικές εισαγωγικές περιοχές οχημάτων καθώς του αναλογούν αντιστοίχως το 26%, 13% και το 8% των συνολικών παγκοσμίως εισαγωγών αυτοκινήτων δια θαλάσσης.

Σύμφωνα με στοιχεία του Φεβρουαρίου 2012, ο συνολικός στόλος των the Pure Car Carriers (PCC) αποτελείτο από 716 πλοία με συνολική μεταφορική ικανότητα ίση με 3,43 εκατομμύρια τεμάχια και με συνολικό DWT ίσο με 11,087 εκατομμύρια τόνους. Την ίδια χρονική στιγμή, υπήρχαν 43 PCCs υπό παραγγελία (orderbook) με συνολική μεταφορική ικανότητα ίση με 239.365 αυτοκίνητα και συνολικό DWT ίσο με 751.065 τόνους. Αυτό ισοδυναμεί με το 6% του υπάρχοντος στόλου ως προς τον αριθμό των πλοίων και με το 6,98% ως προς την μεταφορική ικανότητα. Ο όμιλος NYK ήταν ο μεγαλύτερος κάτοχος πλοίων Pure Car Carriers ως προς την μεταφορική ικανότητα σύμφωνα με στοιχεία του Φεβρουαρίου 2012, με συνολικά 73 πλοία και συνολική μεταφορική ικανότητα ίση με 405.934 αυτοκινήτων. Η Mitsui O.S.K. Lines ήταν η πλοιοκτήτρια εταιρία με τις περισσότερες παραγγελίες, τόσο ως προς τον αριθμό των πλοίων (9 πλοία) όσο και ως προς τη χωρητικότητα σε αυτοκίνητα (57.600 οχήματα). Τέλος, 27 από τα 43 PCCs που βρίσκονται υπό παραγγελία αυτή τη στιγμή έχουν χωρητικότητα μεγαλύτερη ή ίση των 6.000 οχημάτων. Στο τέλος του 2011, η μέση χωρητικότητα του στόλου ήταν 4790,53 τεμάχια (RT43 units) ανά πλοίο.

Αποτελεί γεγονός πως η αγορά των Pure Car Carriers είναι μία από τις πιο σύνθετες και ιδιαίτερες της ναυτιλίας τόσο από πλευράς διαχείρισης του στόλου όσο και ως προς την ιδιοκτησία παρουσιάζοντας έντονες διαφορές με τους περισσότερους κλάδους της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Βέβαια θα μπορούσε κανείς να θεωρήσει πως η δομή της αγοράς των PCCs προσεγγίζει εκείνη των Containerships, πράγμα που ισχύει σε ένα βαθμό. Μια βαθύτερη επισκόπηση όμως στους διευρυμένους

ρόλους των διαχειριστριών εταιριών του συγκεκριμένου κλάδου, στο αρκετά μικρό μέγεθος του στόλου, στο περιορισμένο αριθμό των πλοιοκτητών και στο ακόμα μικρότερο πλήθος των διαχειριστών πλοίων PCCs, γεγονός που κάνει την δραστηριοποίηση στην αγορά αυτή αρκετά φραγμένη και απαιτητική, αρκεί για να διαπιστώσει κανείς την ιδιαιτερότητά της και την ανάγκη για ουσιαστική κατανόηση και μελέτη του τρόπου λειτουργίας και δομής της.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί πως τα στοιχεία που αντλήθηκαν για τη μελέτη της αγοράς των Car Carriers που πραγματοποιείται σε αυτό το κεφάλαιο έχουν ληφθεί υπόψη στοιχεία του Φεβρουαρίου και του Μαρτίου 2012, εκτός και αν αναφέρεται διαφορετικά στο κείμενο. Επίσης, στην ανάλυση του παγκόσμιου στόλου, τα πλοία τύπων PCC και PCTC αντιμετωπίζονται ως μία κατηγορία ενώ δεν λαμβάνονται καθόλου υπόψη στη μελέτη πλοία τύπου Ro-Ro τα οποία ενδεχομένως να χρησιμοποιούνται από διάφορες εταιρίες για μεταφορά αυτοκινήτων.



Εικόνα 1. Τυπική μορφή ενός Pure Car Carrier

2.2 Παράθεση ιστορικών δεδομένων

Αρχικά, από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα και για αρκετές δεκαετίες, όλα τα οχήματα που μεταφέρονταν δια θαλάσσης μέσω ποντοπόρων πλοίων αντιμετωπίζονταν σαν συνηθισμένο φορτίο καθώς δεν υπήρχαν ειδικά σχεδιασμένα πλοία για την μεταφορά τους εκείνη την εποχή. Μάλιστα, για την μεταφορά τους, οι δεξαμενές

καυσίμων τους έπρεπε να είναι άδειες ενώ οι μπαταρίες τους έπρεπε να αποσυνδεθούν έτσι ώστε να μπορέσουν να τοποθετηθούν στο κήτος (αμπάρι) του πλοίου, να προσδεθούν κατάλληλα και να ασφαλιστούν. Η διαδικασία αυτή δε ήταν ιδιαίτερα κουραστική και επίπονη, ενώ τα αυτοκίνητα πολλές φορές υπόκειντο σε ζημιές μικρής ή και μεγαλύτερης σημασίας.

Το πρώτο πλοίο τύπου Roll-on/Roll-off (Ro-Ro), ήταν ένα πλοίο σχεδιασμένο ώστε να μεταφέρει βαγόνια σιδηροδρόμων, το οποίο πρωτοεμφανίστηκε το 1833 για λογαριασμό της εταιρίας Monkland and Kirkintilloch Railway η οποία διαχειριζόταν ένα τρένο που διέσχιζε το κανάλι Forth and Clyde της Σκωτίας. Κατά τη διάρκεια του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου, τα επονομαζόμενα Landing Ships, Tanks (LST) ήταν τα πρώτα πλοία που έδιναν την δυνατότητα σε αυτοκίνητα τα επιβιβαστούν και να αποβιβαστούν απευθείας. Μετά τη λήξη του πολέμου, η ιδέα αυτή βρήκε εφαρμογή και σε εμπορικά πλοία. Πρώτο δρομολόγιο ήταν το 1953, όταν ένα πλοίο RoRo διέσχισε το Αγγλικό Κανάλι ξεκινώντας από το Ντόβερ.

Το 1957, ο Αμερικάνικος στρατός υπέγραψε συμβόλαιο με το ναυπηγείο Sun Shipbuilding and Dry Dock Company, εγκατεστημένο στο Chester της Pennsylvania, για την ναυπήγηση ενός καινούριου τύπου πλοίου μεταφοράς οχημάτων. Το πλοίο αυτό, που ονομάστηκε, Comet, είχε μια πρυμναία ράμπα καθώς και εσωτερικές ράμπες που επέτρεπαν στα οχήματα να επιβιβαστούν κατευθείαν από το λιμάνι στο πλοίο και στη συγκεκριμένη θέση που ήταν επιθυμητή, γεγονός που επιτάχυνε ραγδαία τους ρυθμούς φορτοεκφόρτωσης και μείωσε αισθητά τους χρόνους παραμονής στα λιμάνια. Το πλοίο Comet είχε επίσης ένα προσαρμοζόμενο σύστημα πρόσδεσης των αυτοκινήτων στα καταστρώματα, καθώς και ένα σύστημα εξαερισμού ώστε να απομακρύνονται τα καυσαέρια που δημιουργούνταν κατά την φορτοεκφόρτωση.

Από το 1970 και μετέπειτα, το παγκόσμιο εμπόριο αυτοκινήτων (εισαγωγές και εξαγωγές) έχει αυξηθεί δραματικά. Έτσι. Το 1973, η Ιαπωνική εταιρία K Line, ναυπήγησε το European Highway, το πρώτο ουσιαστικά Pure Car Carrier, με μεταφορική ικανότητα ίση με 4.200 αυτοκίνητα. Σήμερα, τα Pure Car Carriers, καθώς και τα αδελφά τους πλοία Pure Car/Truck Carriers, αποτελούν ξεχωριστό

τύπο πλοίου, ενώ έχουν υπερκατασκευές σε σχήμα κουτιού που διατρέχουν όλο το μήκος και πλάτος της γάστρας εμπεριέχοντας πλήρως το φορτίο. Διαθέτουν πολλαπλές ράμπες για ταυτόχρονη φορτοεκφόρτωση χιλιάδων οχημάτων διαφόρων τύπων και έχουν ανεπτυγμένα συστήματα πυρασφάλειας. Επιτυγχάνουν δε, ταχύτητες οικονομικής κατανάλωσης περίπου 16 κόμβων, ενώ δεν είναι σπάνιο να εμφανίζουν μέγιστη ταχύτητα άνω των 19 κόμβων.

Αξίζει να σημειωθεί πως η ναυπήγηση του πλοίου Faust από την Wallenius Wilhemsen Logistics το 2007, μεταφορικής ικανότητας ίσης με 8000 αυτοκίνητα, οριοθέτησε την μια καινούρια εποχή στην αγορά των car carriers και σηματοδότησε την αρχή για την κατασκευή πλοίων παρεμφερούς μεγέθους, τα επονομαζόμενα Large car and track carrier (LCTC).

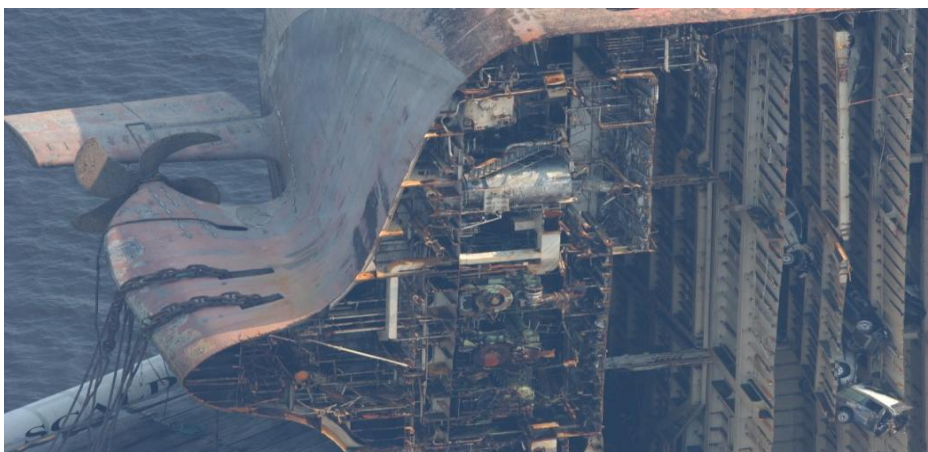
Επίσης, το PCC Auriga Leader, κατασκευασμένο το 2008 και με μεταφορική ικανότητα 6.200 αυτοκινήτων, είναι το πρώτο πλοίο παγκοσμίως που τροφοδοτείται ενεργειακά μερικώς από ηλιακή ενέργεια.

Ορόσημο για την ιστορία των Car Carriers αλλά και γενικά για την ιστορία της ποντοπόρου ναυτιλίας, αποτελεί το εξαιρετικού ενδιαφέροντος ναυάγιο του PCTC M/V Tricolor (χτισμένου το 1987 μεταφορικής ικανότητας 6050 αυτοκινήτων) καθώς μετά από τη βύθισή του στις 14 Δεκεμβρίου 2002, έλαβε μέρος σε άλλες τρεις συγκρούσεις μέσα σε δεκατέσσερις ημέρες στη θάλασσα της Μάγχης. Θεωρείται μάλιστα ένα από τα χειρότερα ναυάγια στην ιστορία της ναυτιλίας. Πιο συγκεκριμένα, το πλοίο ιδιοκτησίας των Wilhemsen Lines και υπό νορβηγική σημαία ταξίδευε από το Zeebrugge στο Southampton μεταφέροντας περίπου 2800 αυτοκίνητα, όταν τα ξημερώματα της 14^{ης} Δεκεμβρίου του 2002 συγκρούστηκε λόγω έλλειψης ορατότητας από πυκνή ομίχλη με ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, το MV Kariba, 20 μίλια βόρεια των γαλλικών ακτών. Στο MV Kariba δεν προκλήθηκαν σημαντικές ζημιές, όμως το MV Tricolor άρχισε να παίρνει μεγάλη κλίση και στη συνέχεια βυθίστηκε. Τα 24 μέλη του πληρώματος διασώθηκαν από το MV Kariba καθώς και από ένα ρυμουλκό πλοίο που έσπευσε μετά την πρόκληση του συμβάντος.



Εικόνα 2. Το MV Kariba κατά τη βύθισή του μετά το ατύχημα

Στη συνέχεια, καθώς το συγκεκριμένο δρομολόγιο είναι αρκετά πολυσύχναστο λόγω της εμπορικής σημασίας του, το γαλλικό ναυτικό προφύλαξε την περιοχή γύρω από το ναυάγιο, προειδοποιώντας τα διερχόμενα πλοία για την ύπαρξη του ναυαγίου. Παρόλα αυτά, την 1^η Ιανουαρίου 2003, δύο πλοία, και συγκεκριμένα το φορτηγό πλοίο Nicola και το Vicky, αδυνατώντας να λάβουν τα προειδοποιητικά μηνύματα του γαλλικού ναυτικού, προσέκρουσαν στο ναυάγιο. Μάλιστα, στις 22 Ιανουαρίου 2003, και τρίτο πλοίο προσέκρουσε στο ναυάγιο προκαλώντας μάλιστα διαρροή πετρελαίου και δημιουργώντας μια σημαντικού μεγέθους πετρελαιοκηλίδα. Η ανάσυρση του MV Tricolor από το βυθό διήρκεσε περίπου ένα χρόνο καθώς χρειάστηκε η κοπή του πλοίου σε 9 κομμάτια. Τέλος, το συγκεκριμένο ναυάγιο, πέρα των οικονομικών ζημιών, μόνο η επιχείρηση ανάσυρσης του στην επιφάνεια κόστισε 25 εκατομμύρια λίρες Αγγλίας, προκάλεσε τεράστια θαλάσσια και περιβαλλοντική ρύπανση, αφού μόνο η δημιουργία της πετρελαιοκηλίδας υπολογίζεται να ευθύνεται για το θάνατο πάνω από χιλίων θαλάσσιων πτηνών.



Εικόνα 3. Το MV Kariba κατά τη διαδικασία ανάσυρσης του

2.3 Παρουσίαση της αγοράς των Car Carriers

Δεδομένου ότι η ναυλαγορά των Car Carriers είναι μια ιδιαίτερα εξειδικευμένη αγορά με αρκετές ιδιαιτερότητες, η κατανόηση του τρόπου με τον οποίον η τελευταία είναι δομημένη καθώς και ο τρόπος λειτουργίας της καθιστά απαραίτητη την παράθεση των παρακάτω βασικών αξόνων. Επισημαίνονται λοιπόν τα ακόλουθα :

- ❖ Το παγκόσμιο εμπόριο οχημάτων εξυπηρετείται γενικά από ένα στόλο ειδικά σχεδιασμένων πλοίων τα οποία ονομάζονται Pure Car Carriers (PCCs). Παρόλα αυτά υπάρχουν και άλλοι τύποι πλοίων, όπως είναι τα Ro-Ro, τα οποία έχουν την δυνατότητα να μεταφέρουν αυτοκίνητα. Τα Pure Car Carriers είναι ειδικά σχεδιασμένα πλοία ώστε να παρέχουν ιδιαίτερα γρήγορη και άμεση φορτοεκφόρτωση οχημάτων, μεγιστοποιώντας ταυτόχρονα την μεταφορική ικανότητα του πλοίου. Η κατηγορία των πλοίων Pure Car Carrier γενικά δεν περιέχει μόνο τα πλοία PCCs αλλά και τα πλοία που είναι γνωστά ως PCTCs (Pure Car And Truck Carriers). Τα τελευταία χαρακτηρίζονται γενικά από ανυψούμενα καταστρώματα ώστε να αυξάνεται κάθετη ελευθερία κινήσεων) και ενισχυμένα καταστρώματα ώστε να καθίσταται δυνατή η μεταφορά ψηλότερου και βαρύτερου φορτίου (π.χ. φορτηγά οχήματα, αγροτικά και νταλίκες). Τον Φεβρουάριο του 2012, ο στόλος των Pure Car Carriers αποτελείτο από 716 πλοία, με συνολική μεταφορική ικανότητα 3,43 εκατομμυρίων οχημάτων.
- ❖ Στην αγορά των car carrier οι λειτουργία-δραστηριότητα των πλοίων μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε 'liner' και 'trump'. Όσον αφορά τις δραστηριότητες της αγοράς **Liner**, αυτές είναι βασισμένες στη διατήρηση συγκεκριμένων δρομολογίων με δεδομένη συχνότητα πρόσβασης σε συγκεκριμένα λιμάνια. Όσον αφορά τις δραστηριότητες της ναυλαγοράς **Tramp**, αυτές είναι βασισμένες στην παροχή πλοίων όπου και όποτε είναι διαθέσιμο κάποιο φορτίο, χωρίς να υπάρχει κάποιο προσυμφωνημένο δρομολόγιο. Αξίζει να

σημειωθεί πως για το περισσότερο κομμάτι της δεκαετίας του 1990 μέχρι και τις αρχές του εικοστού πρώτου αιώνα το εμπόριο των πλοίων car carrier ήταν καθαρά προσανατολισμένο στην αγορά liner. Παρόλα αυτά, τα τελευταία πέντε χρόνια, οι αξιοσημείωτες διακυμάνσεις στην προσφορά και τη ζήτηση φορτιών οδήγησαν τους διαχειριστές (operators) στην ανάγκη να γίνουν πιο ευέλικτοι (να μην έχουν συγκεκριμένες δομές ανάπτυξης και καταστρατήγησης του στόλου τους), γεγονός που φρέναρε σημαντικά την προαναφερθείσα τάση.

- ❖ Σύμφωνα με στοιχεία του Φεβρουαρίου 2012, ο στόλος των Pure Car Carriers αντιστοιχούσε συνολικά σε 107 διαφορετικές πλοιοκτήτριες εταιρίες. Παρόλο που ο παραπάνω αριθμός φαντάζει αρκετά μεγάλος, η πλειοψηφία των μεταφορών αυτοκινήτων δια θαλάσσης ελέγχεται από ένα πολύ μικρό αριθμό διαχειριστριών επιχειρήσεων. Στους σημαντικούς-βασικούς αυτούς διαχειριστές περιλαμβάνονται οι μεγάλοι Ιαπωνικοί μεταφορικοί κολοσσοί, δηλαδή οι NYK, MOL και η K-Line, καθώς και οι Wallenius Wilhelmsen Logistics, Eukor, Hoegh Autoliners και Grimaldi. Οι προαναφερθέντες διαχειριστές ελέγχουν (κατέχοντας ή ναυλώνοντας) το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής μεταφορικής ικανότητας των PCCs. Αυτό το πραγματοποιούν είτε οι ίδιοι είτε μέσω θυγατρικών εταιριών τους. Βεβαίως, πρέπει να αναφερθεί πως υπάρχουν και κάποιες εξέχουσες επιχειρήσεις όπως η Cido Shipping και η Ray Shipping, οι οποίες ελέγχουν ένα σημαντικό μερίδιο της αγοράς και κατ'επέκτασιν του συνολικού τονάζ, το οποίο όμως δε το διαχειρίζονται οι ίδιες αλλά προτιμούν να το ναυλώνουν σε διαχειρίστριες για PCC εταιρίες.
- ❖ Σε πολλούς αρκετά εξειδικευμένους τομείς της ναυτιλίας, όπως και είναι και η αγορά των PCCs, επικρατεί μια σχετική έλλειψη πληροφοριών όσον αφορά τις αξίες των πλοίων και τα κέρδη που προκύπτουν από τα ναύλα τους. Ιδιαίτερα εξειδικευμένα πλοία, όπως είναι τα car carriers, μπορούν να διαφέρουν αρκετά στη σχεδίαση, γεγονός που καθιστά ακόμα δυσκολότερη την πρόσβαση σε ομογενή συμβόλαια, ενώ υπάρχουν ελάχιστα δημοσιευμένα ναυλοσύμφωνα για PCCs. Οι διαχειριστές των Car carriers

γενικά προτιμούν να κανονίζουν μακροπρόθεσμα ναυλοσύμφωνα (contracts of affreightment) με τους κατασκευαστές αυτοκινήτων. Επίσης υπάρχει αρκετά περιορισμένη δραστηριότητα στις αγοραπωλησίες πλοίων και έτσι οι διακυμάνσεις είναι αρκετά χαμηλότερες σε σχέση με τα δεξαμενόπλοια ή τα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδιν (bulk carrier). Σε αντίθεση, δηλαδή, με άλλους τύπους πλοίων, οι πλοιοκτήτες πλοίων τύπου PCC τα χρησιμοποιούν κατά τον πλήρη οικονομικό τους κύκλο και καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους (από τεχνικής απόψεως).

- ❖ Τα πλοία που εξυπηρετούν την αγορά των car carrier πρέπει να είναι ευέλικτα (ως προς το χειρισμό του φορτίου και τις διαστάσεις τους) καθώς και να είναι ανταγωνιστικά ως προς το κόστος. Βέβαια είναι δεδομένο πως πάντοτε υπάρχει μια «ανταλλαγή» ανάμεσα στο κόστος για κάθε όχημα και την ευελιξία του πλοίου. Στα πλοία μεγαλύτερων διαστάσεων, υπάρχει η πιθανότητα να μειωθεί αρκετά ο αριθμός των εμπορικών διαδρομών, καθώς για παράδειγμα το μέγεθος ενός πλοίου μπορεί να το αποτρέψει από το να διασχίσει το κανάλι του Παναμά ή ακόμα το μήκος ενός πλοίου μπορεί να του αποτρέψει την πρόσβαση σε αρκετά λιμάνια της Ιαπωνίας (αν ξεπερνάει τα 228 μέτρα σε μήκος). Ως εκ τούτου, οι διαχειριστές των car carriers επιδιώκουν συνεχώς να βρίσκουν την βέλτιστη λύση-συνδυασμό μεταξύ της μεταφορικής χωρητικότητας και των λοιπών χαρακτηριστικών που αναφέρθηκαν παραπάνω.
- ❖ Η σχεδίαση των πλοίων ιδιαίτερα εξειδικευμένου σκοπού, όπως είναι ο στόλος των car carriers, διαφέρει σημαντικά, πολύ περισσότερο από σχετικά ομογενείς τομείς όπως είναι για παράδειγμα ο στόλος των πλοίων ξηρού φορτίου χύδιν τύπου Panamax. Η σχεδίαση των Pure Car Carriers έχει εξελιχθεί αρκετά, ενώ επικρατεί η τάση για μεγαλύτερες χωρητικότητες και τεχνικές βελτιώσεις όπως είναι τα ανυψούμενα καταστρώματα. Εκτός από τους κλασικούς παράγοντες που επηρεάζουν την αξία και τα ναύλα του κάθε πλοίου, όπως είναι οι πραγματικές διαστάσεις του, η μεταφορική του ικανότητα, ο τύπος της μηχανής και η ταχύτητα υπηρεσίας του, καθώς και

λειτουργικά θέματα (λόγου χάριν η σημαία, ο νηογνώμονας, η προηγούμενη πλοιοκτήτρια εταιρία, το ιστορικό πιθανής κράτησης σε λιμάνια στο παρελθόν κλπ.), υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την αξία ενός Pure Car Carrier και οι οποίοι παραθέτονται παρακάτω :

- a. **Αριθμός ανυψούμενων καταστρωμάτων:** Τα ανυψούμενα καταστρώματα επιτρέπουν τη μεταφορά υψηλού φορτίου (π.χ. νταλίκες, λεωφορεία και αγροτικά οχήματα) ενώ παράλληλα διατηρούν την μέγιστη μεταφορική ικανότητα για αυτοκίνητα. Ένας ικανοποιητικός αριθμός ανυψούμενων καταστρωμάτων αυξάνει την εμπορική ευελιξία.
- b. **Ποσοστό υψηλής όψεως καταστρωμάτων (high sided decks):** Εάν το ύψος ενός καταστρώματος ξεπερνάει τα 2,0 μέτρα θεωρείται τυπικά υψηλής όψεως. Τέτοια καταστρώματα ενισχύουν την εμπορική ευελιξία καθώς μπορούν να στεγάσουν επιβατηγά αυτοκίνητα μεγαλύτερου μεγέθους όπως τα SUVs. Εάν λοιπόν το ποσοστό είναι ίσο ή μεγαλύτερο από 80% θεωρείται αρκετά ικανοποιητικό, ενώ ένα ποσοστό μικρότερο του 50% σε υψηλής όψεως καταστρώματα θεωρείται ανεπιθύμητο λόγω της περιορισμένης εμπορικής τους εκμετάλλευσης.
- c. **Ωφέλιμο φορτίο καταστρώματος (safe working load):** Ένα υψηλό ωφέλιμο φορτίο καταστρώματος (SWL) αυξάνει την ικανότητα να μεταφέρεται βαρύτερο και πιθανότατα πιο κερδοφόρο φορτίο. Ένα μέσο ωφέλιμο φορτίο καταστρώματος (SWL) είναι περίπου 200kg/m^2 . Καταστρώματα με ωφέλιμο φορτίο μικρότερο των 150 kg/m^2 θα περιορίζε σημαντικά την εμπορική ευελιξία του πλοίου. Πλοία υψηλών προδιαγραφών παρουσιάζουν ωφέλιμο φορτίο ίσο με περίπου 300 kg/m^2 .
- d. **Κατασκευή και διαμόρφωση εσωτερικών καταστρωμάτων (internal**

decks): Τα εσωτερικά καταστρώματα είναι κατασκευασμένα από ιδιαίτερα λεπτές ασάλινες πλάκες για την συγκόλληση των οποίων απαιτούνται ιδιαίτερα προηγμένες τεχνικές ενώ η σχεδίαση τους πρέπει να εξασφαλίζει τη μέγιστη χωρητικότητα, ευελιξία και αποδοτικότητα.

- e. **Μέγιστο ωφέλιμο φορτίο ραμπών:** Ένα υψηλότερο μέγιστο ωφέλιμο φορτίο ραμπών (SWL) επιτρέπει στο πλοίο να χειριστεί βαρύτερο φορτίο, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την ευελιξία και την κερδοφορία του πλοίου. Πολύ χαμηλό ωφέλιμο φορτίο ραμπών (SWL) περιορίζει το πλοίο στη μεταφορά μόνο αυτοκινήτων, γεγονός που αυξάνει το ρίσκο και το κάνει πιο ευάλωτο σε αυξήσεις στη ζήτηση. Μοντέρνα Pure Car Carriers υψηλών προδιαγραφών έχουν ωφέλιμο φορτίο ραμπών ίσο με περίπου 150 τόνους.
 - f. **Διαμόρφωση ραμπών :** Τα περισσότερα car carriers έχουν ένα συνδυασμό από πρυμναία ράμπα, πρυμναία τεταρταία (διαγώνια πρυμναία) ράμπα και μια πλευρική ράμπα. Οι πλευρικές ράμπες χρησιμοποιούνται σπανίως κατά τη διαδικασία φορτοεκφόρτωσης αλλά χρησιμοποιούνται συνήθως ως εφεδρικές. Πλοία που έχουν πρυμναίες αλλά και διαγώνια πρυμναίες ράμπες θεωρούνται τα πιο ευέλικτα, καθώς έχουν τη δυνατότητα να προσεγγίζουν το λιμάνι και κατά μήκος και με την πρύμνη. Στα πλοία που διαθέτουν μόνο ένα από τα δύο αυτά είδη ραμπών, η πρυμναία διαγώνια ράμπα θεωρείται προτιμότερη και πιο ευέλικτη.
- ❖ Τα PCTCs θεωρούνται πλοία υψηλού ρίσκου λόγω των αρκετών προβλημάτων ευστάθειας που παρουσιάζει η σχεδίαση τους. Μια μη καλά ασφαλισμένη ράμπα φορτοεκφόρτωσης μπορεί να οδηγήσει στην κατάκλιση των καταστρωμάτων που είναι φορτωμένα τα οχήματα. Η επίδραση των ελεύθερων επιφανειών δημιουργεί έλλειψη ευστάθειας και πιθανή ανατροπή του πλοίου. Βέβαια, λόγω των ελάχιστων πιθανών εισόδων νερού στο πλοίο (λόγω του σχήματός τους), έχει παρατηρηθεί η επαναφορά

πλοίου PCC μέχρι και έπειτα από κλίση 80 μοιρών.

- ❖ Με βάση την παραπάνω περιγραφή της αγοράς καθίσταται προφανές πως υπάρχουν ποικίλοι παράγοντες που χαρακτηρίζουν τα πλοία τύπου PCC. Παρόλα αυτά, είναι αναγκαίο να οριστούν οι διαφορετικές περιοχές-κατηγορίες μεγέθους των πλοίων αυτών, βασισμένες είτε στο βασικό δείκτη της μεταφορικής τους ικανότητας, δηλαδή την χωρητικότητα σε αυτοκίνητα, είτε στο DWT τους. Για παράδειγμα, καθώς οι περισσότερες αυτοκινητοβιομηχανίες επιδιώκουν να εγκαταστήσουν τα εργοστάσια παραγωγής των αυτοκινήτων όσο το δυνατόν πιο κοντά στους καταναλωτές τους, είναι προφανές πως ορισμένες κατηγορίες μεγεθών μπορεί να μην είναι κατάλληλες για ταξίδια μικρότερων αποστάσεων. Παρακάτω παρουσιάζεται μια κατηγοριοποίηση των πλοίων τύπου PCC με βάση την μεταφορική τους ικανότητα σε αυτοκίνητα και με βάση το DWT τους.



Εικόνα 4. Ράμπες φορτοεκφόρτωσης και εσωτερικά καταστρώματα ενός τυπικού PCC

Ανάλογα με τη μεταφορική τους ικανότητα σε αυτοκίνητα, κατατάσσονται ως ακολούθως:

- 1. Πλοία με μεταφορική ικανότητα τουλάχιστον 4.000 αυτοκινήτων.**
Αποτελούν ποσοστιαία το μεγαλύτερο κομμάτι του στόλου των PCC

και γενικά είναι και τα νεότερα σε ηλικία ανάμεσα στο στόλο. Ακόμη είναι και τα μεγαλύτερα πλοία του στόλου ως προς την μεταφορική τους ικανότητα και κατά κανόνα χρησιμοποιούνται στο ποντοπόρες, μεγαλύτερου όγκου εμπορικές γραμμές. Σύμφωνα με στοιχεία του Φεβρουαρίου 2012, υπήρχαν 517 πλοία σε αυτή τη κατηγορία (114 στη κατηγορία χωρητικότητας 4,000-4,999 οχημάτων και 403 στην κατηγορία τουλάχιστον 5.000 οχημάτων), με μια συνολική μεταφορική ικανότητα ίση με 3.03 εκατομμύρια οχήματα. Υπό παραγγελία, την ίδια χρονική στιγμή βρίσκονταν 37 πλοία αυτής της κατηγορίας.

Το μέσο βύθισμα των πλοίων αυτής της κατηγορίας είναι 9,6 μέτρα, το μέσο μήκος μεταξύ καθέτων είναι 193,5 μέτρα , ενώ το μέσο πλάτος είναι ίσο με 31,9 μέτρα. Η μέση ταχύτητα υπηρεσίας είναι 19,6 κόμβοι.

2. Πλοία με μεταφορική ικανότητα από 3.000 έως 3.999 αυτοκίνητα.

Διατηρούν ποσοστιαία το δεύτερο μεγαλύτερο μερίδιο του στόλου PCC και απαρτίζονται από πλοία με μεταφορική ικανότητα από 3.000 έως 3.999 αυτοκίνητα. Τα πλοία αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως σε ποντοπόρα εμπορικά ταξίδια, ενώ σπανιότερα περιορίζονται σε διαδρομές μικρότερης εμπορικής σημασίας από άποψη μεταφερόμενου όγκου φορτίου. Σύμφωνα με στοιχεία του Φεβρουαρίου 2012, υπήρχαν 65 car carriers αυτού του τύπου με συνολική μεταφορική ικανότητα ίση με 0,230 εκατομμύρια οχήματα. Επίσης, υπήρχαν 2 πλοία αυτής της κατηγορίας υπό ναυπήγηση με συνολική μεταφορική χωρητικότητα ίση με 6,4 χιλιάδες οχήματα.

Το μέσο βύθισμα των πλοίων αυτής της κατηγορίας είναι 8,5 μέτρα, το μέσο μήκος μεταξύ καθέτων είναι 175,1 μέτρα , ενώ το μέσο πλάτος είναι ίσο με 28,5 μέτρα. Η μέση ταχύτητα υπηρεσίας είναι 18,1 κόμβοι.

3. Πλοία με μεταφορική ικανότητα από 1.000 έως 2.999 αυτοκίνητα.

Η επόμενη βαθμίδα του φάσματος του στόλου των PCCs αποτελείται από τα πλοία με μεταφορική ικανότητα από 1.000 έως και 2.999

αυτοκίνητα. Τα πλοία αυτά είναι δύσκολο να χαρακτηριστούν, καθώς από αρκετούς μπορούν να χαρακτηριστούν μικρά σε μέγεθος για τις σημερινές ανάγκες της ποντοπόρου ναυτιλίας, ενώ παράλληλα το μέγεθός τους είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό που συνήθως χρησιμοποιείται για εμπορικές διαδρομές μικρών αποστάσεων. Σύμφωνα με στοιχεία του Φεβρουαρίου 2012, υπήρχαν 76 πλοία σε αυτή την κατηγορία με συνολική μεταφορική χωρητικότητα ίση με 0,14 εκατομμύρια τόνους. Ταυτόχρονα, υπήρχαν 4 PCC αυτής της κατηγορίας υπό ναυπήγηση με συνολική μεταφορική χωρητικότητα ίση με 10.040 οχήματα.

Το μέσο βύθισμα των πλοίων αυτής της κατηγορίας είναι 7,3 μέτρα, το μέσο μήκος μεταξύ καθέτων είναι 149,0 μέτρα , ενώ το μέσο πλάτος είναι ίσο με 23,9 μέτρα. Η μέση ταχύτητα υπηρεσίας είναι 18,2 κόμβοι.

4. Πλοία με μεταφορική ικανότητα μικρότερη των 1.000 αυτοκινήτων.

Αποτελούνται από τα πλοία PCC με μεταφορική ικανότητα μικρότερη των 1.000 οχημάτων και είναι τα μικρότερα πλοία του στόλου. Ακόμη, έχουν την μεγαλύτερη μέση ηλικία σε σχέση με τις υπόλοιπες κατηγορίες και εξυπηρετούν συνήθως διαδρομές μικρών αποστάσεων. Σύμφωνα με στοιχεία του Φεβρουαρίου 2012, υπήρχαν 58 πλοία σε αυτή την κατηγορία με συνολική μεταφορική χωρητικότητα ίση με 37.113 χιλιάδες τόνους. Δεν υπήρχαν PCC αυτής της κατηγορίας υπό ναυπήγηση τη συγκεκριμένη στιγμή.

Το μέσο βύθισμα των πλοίων αυτής της κατηγορίας είναι 5,4 μέτρα, το μέσο μήκος μεταξύ καθέτων είναι 108,0 μέτρα , ενώ το μέσο πλάτος είναι ίσο με 18,7 μέτρα. Η μέση ταχύτητα υπηρεσίας είναι 15,8 κόμβοι.

Αντίστοιχα, ανάλογα με το Dead Weight Tonnage (DWT) τους, κατατάσσονται ως ακολούθως:

1. Πλοία με DWT μεγαλύτερο των 17.500 τόνων

2. Πλοία με DWT από 15.000 έως 17.499 τόνους
3. Πλοία με DWT από 12.500 έως 14.999 τόνους
4. Πλοία με DWT από 10.000 έως 12.499 τόνους
5. Πλοία με DWT από 5.000 έως 9.999 τόνους
6. Πλοία με DWT μικρότερο των 5.000 τόνων

2.4 Το Προφίλ του παγκόσμιου στόλου των Car Carriers

2.4.1 Η χρονική εξέλιξη του στόλου των Car Carriers

Στις αρχές του 1991 η συνολική χωρητικότητα του στόλου ήταν λίγο λιγότερο από 4,1 εκατομμύρια DWT. Στις αρχές του 2002, η χωρητικότητα του παγκόσμιου στόλου είχε αυξηθεί στα 6,22 εκατομμύρια DWT, ενώ δέκα χρόνια μετά, σύμφωνα δηλαδή με τα στοιχεία για τις αρχές του 2012, ο παγκόσμιος στόλος αποτελείται από 716 PCTC's συνολικού DWT ίσου με περίπου 11,1 εκατομμύρια και συνολικής μεταφορική ικανότητας ίσης με 3,43 εκατομμύρια αυτοκίνητα (car equivalent units).

Η μέση ποσοστιαία αύξηση του στόλου όσον αφορά το συνολικό DWT για την τελευταία δεκαετία (περίοδος 2001-2011) ήταν 5,44%. Οι ρυθμοί αύξησης του παγκόσμιου στόλου σε PCCs είναι αρκετά μεγαλύτεροι την τελευταία δεκαετία σε σχέση με παλαιότερα, γεγονός που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση για θαλάσσια μεταφορά αυτοκινήτων και οχημάτων. Το 2009, η ποσοστιαία αύξηση του στόλου ήταν η μεγαλύτερη που είχε παρατηρηθεί ποτέ (12,6%), ενώ και το 2008 ο παγκόσμιος στόλος αυξήθηκε κατά 10,2%. Από το 1991 και έπειτα, το 2010 ήταν η μοναδική χρονιά που παρουσιάστηκε συρρίκνωση του στόλου, με ποσοστιαία μείωση ίση με 4,4%, γεγονός που ερμηνεύεται σε μεγάλο βαθμό από την γενικότερη παγκόσμια ύφεση ωθώντας τους πλοιοκτήτες σε μαζικές αποσύρσεις πλοίων (demolition) σε διαλυτήρια της Ασίας.

Αξίζει να σημειωθεί πως τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται έντονη στροφή των πλοιοκτητών σε πλοία μεγαλύτερης χωρητικότητας, πράγμα που αποτυπώνεται εύκολα και από τα νούμερα. Για παράδειγμα, στις αρχές του 1991, η συνολική

χωρητικότητα σε πλοία 15,000-17,499 DWT και 17,500- μεγαλύτερα, δεν ξεπερνούσε τις 970 και 875 χιλιάδες DWT αντίστοιχα. Στις αρχές του 2011, οι χωρητικότητες των πλοίων των ίδιων χωρητικοτήτων είχαν αυξηθεί δραματικά, σε 1,86 εκατομμύρια DWT και 5,81 εκατομμύρια DWT ενώ στις αρχές του 2012 το συνολικό τονάζ της μεγαλύτερης υποκατηγορίας πλοίων τύπου PCC ως προς το DWT είχε αγγίξει τους 6,5 εκατομμύρια τόνους. Μάλιστα αν παρατηρήσει κανείς προσεκτικά τα δεδομένα, μπορεί εύκολα να διαπιστώσει πως οι μεγαλύτερες κατηγορίες πλοίων χαρακτηρίζονται από μια συνεχή αυξητική τάση των στόλων τους (άλλες φορές εντονότερη και άλλες φορές μικρότερη), καθώς το τονάζ και η μεταφορική ικανότητα τους δεν μειώθηκαν ούτε μία χρονιά τα τελευταία 20 χρόνια.

Η ίδια ραγδαία αύξηση δεν είναι εμφανής στις μικρότερες κατηγορίες πλοίων PCTC, αντιθέτως μπορεί να διαπιστώσει κανείς σταθεροποίηση ή και μείωση του συνολικού τονάζ στις περισσότερες από αυτές. Για παράδειγμα, το συνολικό τονάζ των πλοίων PCC με DWT μικρότερο των 5.000 τόνων, το 2003 ισοδυναμούσε με 237.131 τόνους ενώ στις αρχές του 2012 ήταν ίσο με 218.247 τόνους, δηλαδή είχε μειωθεί κατά 18.884 τόνους. Αλλά και πλοία μεσαίων χωρητικοτήτων, όπως αυτά που εντάσσονται στην περιοχή του DWT από 12.500 έως 14.999 τόνους, είδαν το συνολικό τονάζ τους να ελαττώνεται αισθητά το 2010, αφού από 1,57 εκατομμύρια τόνους που ήταν το 2009 μόλις που ξεπέρασε τα 1,22 εκατομμύρια το 2010.

Πέρα όμως τη ξεκάθαρη τάση για ναυπήγηση πλοίων μεγαλύτερης μεταφορικής ικανότητας, πρέπει να σημειωθεί πως τεχνολογική και ποιοτική εξέλιξη αντίστοιχης σημασίας αποτελεί και η ενίσχυση και μορφοποίηση των καταστρωμάτων των σύγχρονων πλοίων έτσι ώστε να μπορούν να δεχτούν τη μεταφορά βιομηχανικού εξοπλισμού, οχήματα πολλαπλών χρήσεων (multi-purpose vehicles) και SUVs.

Στο Πίνακα 2.1 παρατίθενται αναλυτικά τα δεδομένα σχετικά με την εξέλιξη του παγκόσμιου στόλου των PCCs και των διάφορων επί μέρους κατηγοριών του ως προς το DWT, από το 1991 έως σήμερα.

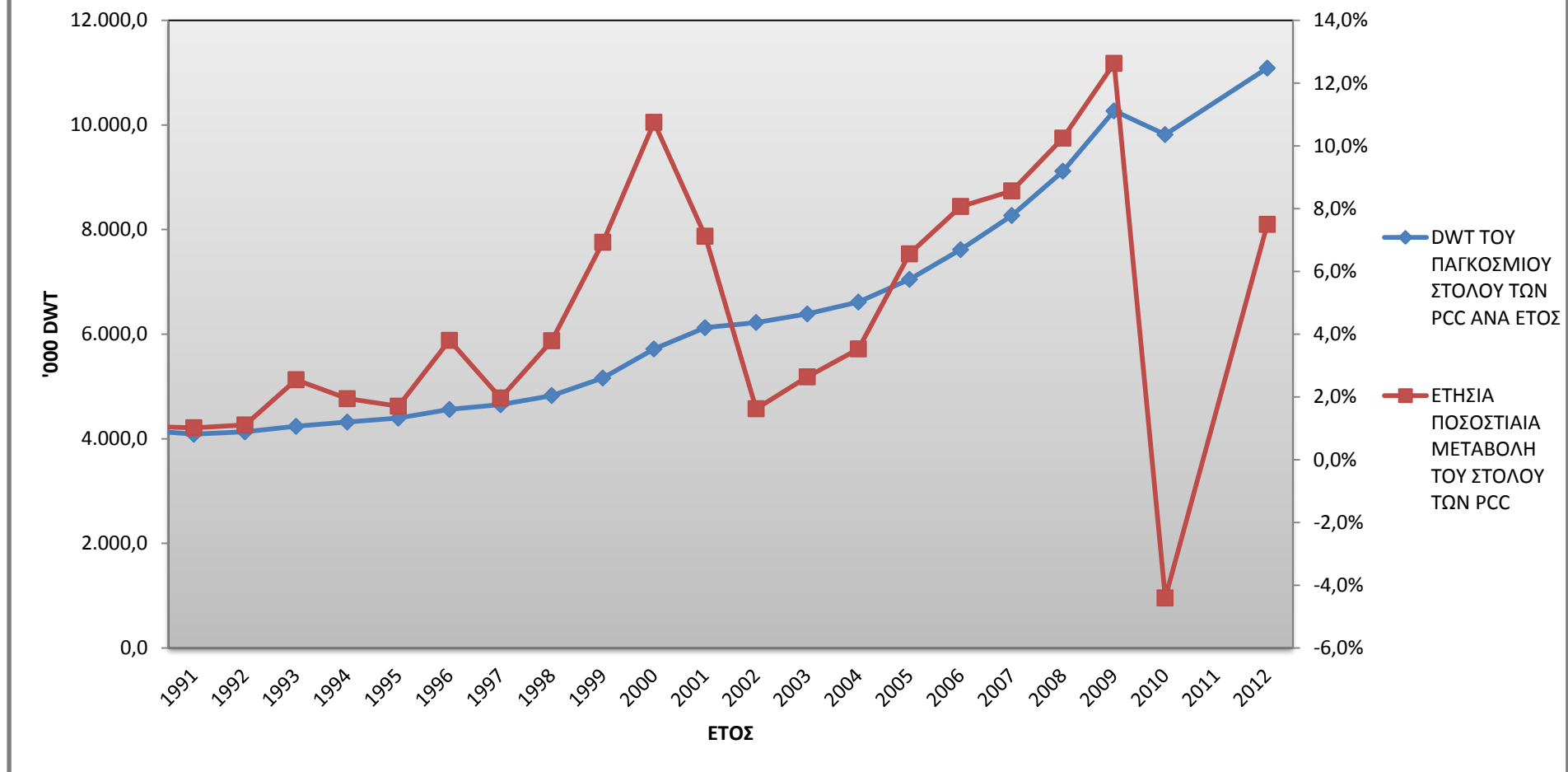
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1 - ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΤΟΛΟΥ ΤΩΝ PCCs ['000 DWT]

ΕΤΟΣ	< 5.000	5.000 έως 9.999	10.000 έως 12.499	12.500 έως 14.999	15.000 έως 17.499	≥ 17.500	ΣΥΝΟΛΟ	% ΑΥΞΗΣΗ
1991	98,8	364,6	692,4	1.091,0	968,4	872,3	4.087,5	1,0%
1992	105,5	373,9	692,4	1.091,0	968,4	901,5	4.132,8	1,1%
1993	113,0	379,2	704,7	1.091,6	1.001,0	948,6	4.238,2	2,6%
1994	116,4	384,4	717,0	1.132,9	1.002,8	967,2	4.320,6	1,9%
1995	127,4	390,7	718,4	1.147,0	1.004,7	1.006,2	4.394,4	1,7%
1996	207,2	345,4	715,4	1.132,3	1.057,5	1.103,7	4.561,5	3,8%
1997	209,3	345,4	705,2	1.146,1	1.057,5	1.187,8	4.651,3	2,0%
1998	218,2	352,2	717,7	1.159,8	1.073,0	1.306,8	4.827,7	3,8%
1999	216,9	361,7	730,2	1.202,9	1.103,9	1.546,5	5.162,2	6,9%
2000	236,9	379,2	751,8	1.228,5	1.219,1	1.901,7	5.717,2	10,8%
2001	238,8	390,4	750,3	1.281,9	1.353,8	2.109,1	6.124,4	7,1%
2002	231,9	386,0	750,0	1.307,1	1.421,9	2.126,9	6.223,9	1,6%
2003	237,1	388,5	738,7	1.332,3	1.490,6	2.201,0	6.388,3	2,6%
2004	236,2	395,5	727,3	1.361,3	1.525,5	2.368,1	6.613,9	3,5%
2005	233,6	400,7	737,3	1.390,1	1.540,7	2.745,4	7.047,8	6,6%
2006	233,6	431,0	761,7	1.461,5	1.618,6	3.110,2	7.616,6	8,1%
2007	236,1	445,0	822,9	1.531,7	1.679,2	3.554,2	8.269,1	8,6%
2008	230,0	474,1	909,1	1.543,6	1.876,0	4.083,7	9.116,5	10,2%
2009	232,1	465,8	982,7	1.570,3	2.075,0	4.942,0	10.267,9	12,6%
2010	218,3	401,6	764,1	1.221,9	1.942,6	5.267,3	9.815,8	-4,4%
2011	218,2	448,6	822,6	1.155,9	1.855,8	5.809,5	10.310,7	5,0%
2012	218,2	472,2	834,5	1.200,3	1.887,8	6.473,6	11.086,7	7,5%

Πηγή: Clarksons Research Services

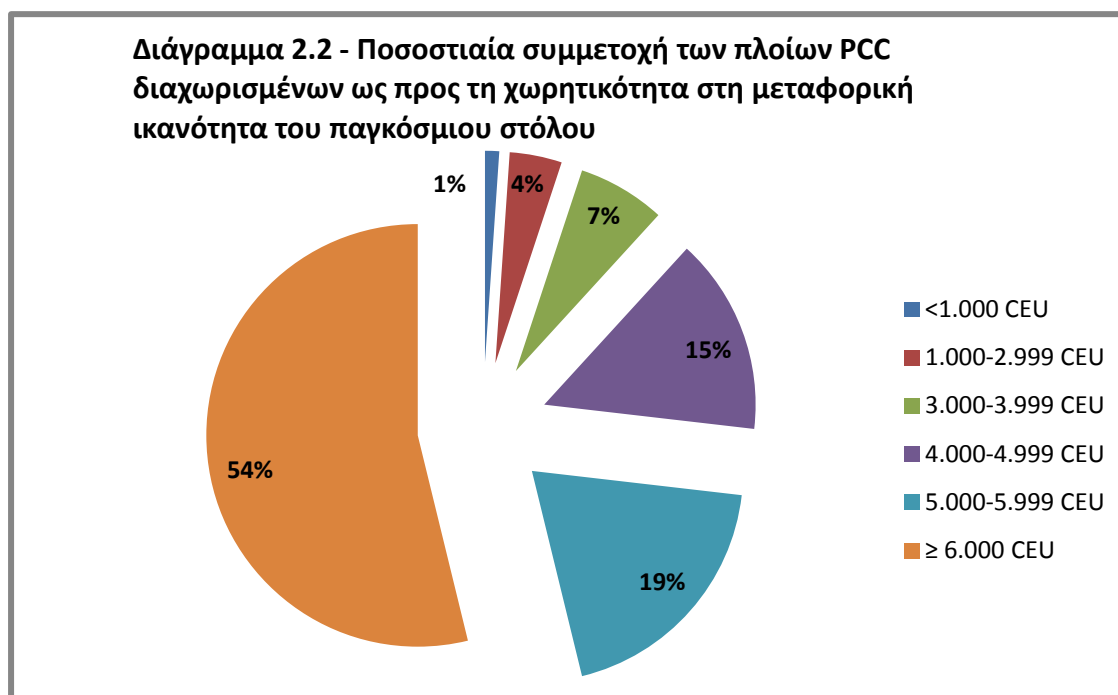
Στο γράφημα 2.1 παριστάνεται γραφικά η εξέλιξη του τονάζ του παγκόσμιου στόλου των PCCs καθώς και η ετήσια ποσοστιαία μεταβολή του από το 1991 έως το 2012.

Διάγραμμα 2.1 - Χρονική εξέλιξη του παγκόσμιου στόλου των PCCs

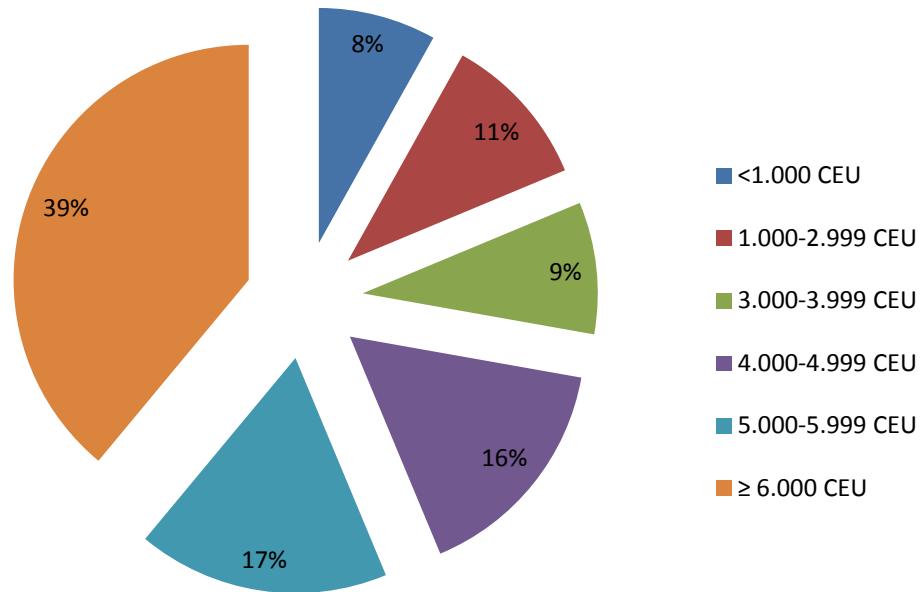


2.4.2 Η Διαμόρφωση του σύγχρονου στόλου των Car Carriers

Σύμφωνα με στοιχεία του Φεβρουαρίου του 2012, τα πλοία μεταφορικής ικανότητας μεγαλύτερης των 6.000 αυτοκινήτων αποτελούν τη πολυπληθέστερη κατηγορία των PCCs καθώς ευθύνονται για το 53,8% του παγκόσμιου στόλου όσον αφορά τη χωρητικότητα και στο 39% σε απόλυτους αριθμούς πλοίων. Ακολουθούν τα πλοία που βρίσκονται στη κατηγορία χωρητικότητας μεταξύ των 5.000 και των 5.999 οχημάτων καθώς συμμετέχουν στο παγκόσμιο στόλο κατά 19,35% και 17,3% αναφορικά με τη μεταφορική ικανότητα και τον αριθμό των πλοίων αντίστοιχα. Αν δε αθροίσει κανείς τα PCCs με μεταφορική ικανότητα από 1.000 έως 2.999 αυτοκίνητα με εκείνα που μπορούν να μεταφέρουν από 3.000 έως 3.999 αυτοκίνητα θα παρατηρήσει πως αντιστοιχούν περίπου στο 11% της συνολικής χωρητικότητας και στο 20% ως προς τον αριθμό πλοίων του παγκόσμιου στόλου. Τα πλοία χωρητικότητας μικρότερης των 1.000 οχημάτων αντιστοιχούν σήμερα μόλις στο 1,08% της χωρητικότητας του στόλου και στο 8,1% του σε αριθμό πλοίων. Είναι φανερό, όπως φαίνεται και από τα Διαγράμματα 2.2 και 2.3, πως οι μεγαλύτερες κατηγορίες πλοίων ως προς τη μεταφορική τους ικανότητα κατέχουν με συντριπτική διαφορά το σημαντικότερο μερίδιο της αγοράς, πράγμα το οποίο δε συμβαίνει σε τόσο έντονο βαθμό σε άλλες αγορές της ναυτιλίας όπως είναι αυτές του ξηρού φορτίου ή το πετρελαίου.

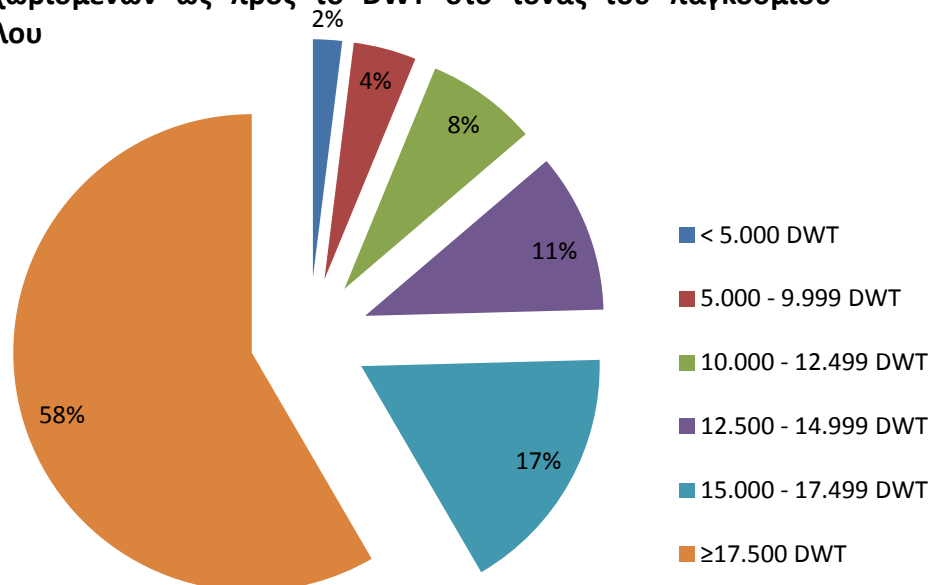


Διάγραμμα 2.3 - Ποσοστιαία συμμετοχή των πλοίων PCC διαχωρισμένων ως προς τη χωρητικότητα στο σύνολο των πλοίων του παγκόσμιου στόλου



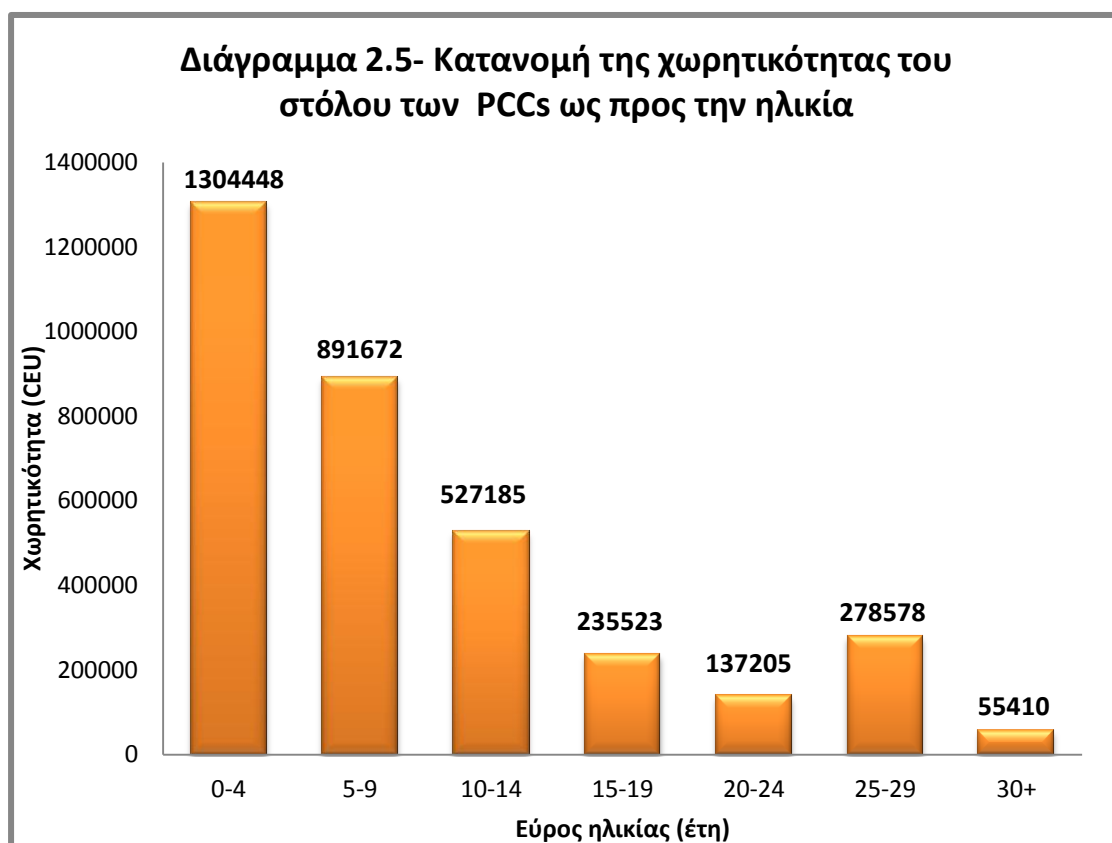
Όπως φαίνεται και ακολούθως από το Διάγραμμα 2.4, ανάλογη είναι και η εικόνα της διαμόρφωσης του στόλου όταν η κατηγοριοποίηση πραγματοποιείται με κριτήριο το Dead Weight Tonnage.

Διάγραμμα 2.4 - Ποσοστιαία συμμετοχή των πλοίων PCC διαχωρισμένων ως προς το DWT στο τονάζ του παγκόσμιου στόλου

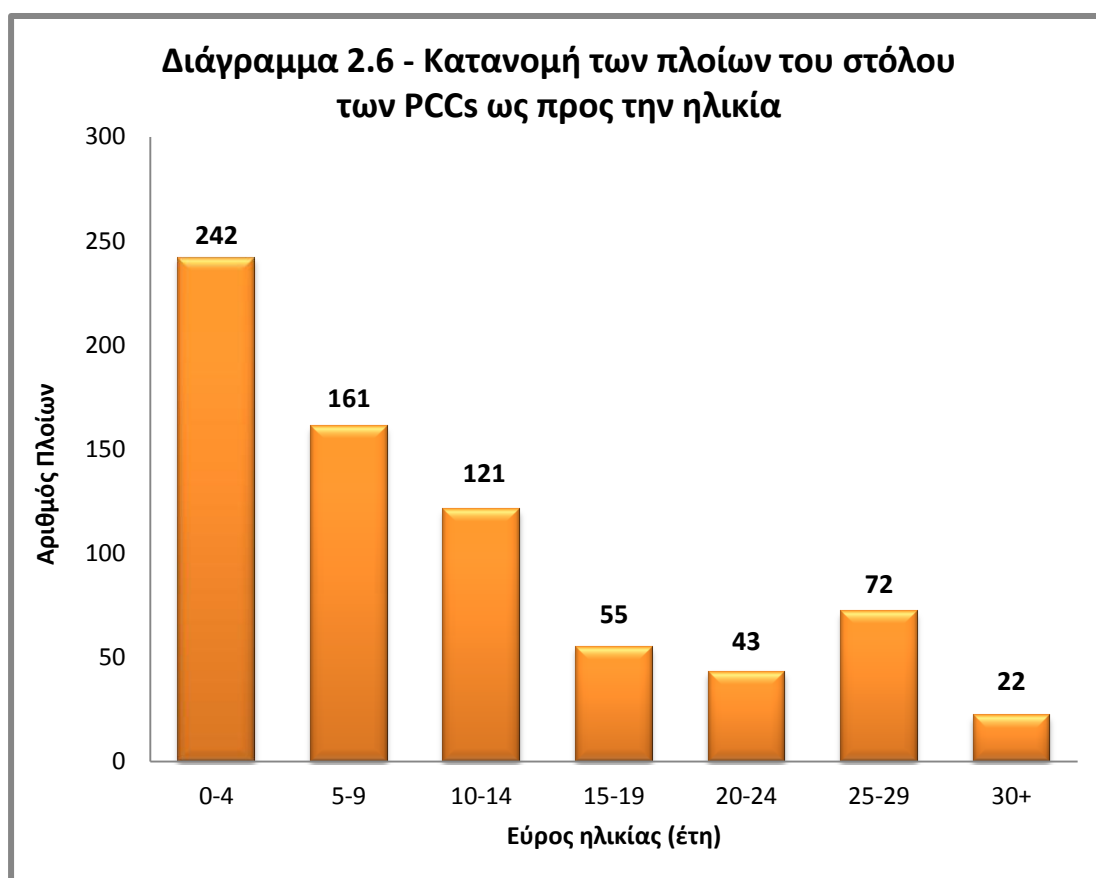


Η μέση ηλικία του παγκόσμιου στόλου των PCTCs είναι 14,66 χρόνια. Ακόμη, περισσότερο από το ένα τρίτο (33,8%) του παγκόσμιου στόλου αποτελείται από 242 πλοία ηλικίας μικρότερης των πέντε ετών, η συνολική μεταφορική ικανότητα των οποίων είναι ίση με 1,304 εκατομμύρια αυτοκίνητα και αντιστοιχεί στο 38% της αντίστοιχης συνολικής. Μάλιστα, μπορεί να παρατηρήσει κανείς πως περισσότερα από τα μισά πλοία του παγκόσμιου στόλου (56,28%) είναι νεώτερα των δέκα ετών, συγκεκριμένα 403 πλοία, ενώ παράλληλα ευθύνονται για το 64% της μεταφορικής ικανότητας του (2,196 εκατομμύρια αυτοκίνητα). Επίσης, αξίζει να σημειωθεί πως περισσότερο από το 15% της χωρητικότητας του παγκόσμιου στόλου (527.185 αυτοκίνητα) οφείλεται στα συνολικά 121 PCCs ηλικίας από 10 έως 14 ετών. Παράλληλα, μόλις 94 πλοία συνολικής χωρητικότητας 333.988 αυτοκινήτων (9,7% της αντίστοιχης συνολικής) έχουν ηλικία ίση ή μεγαλύτερη των 25 ετών ενώ μόνο τα 22 εξ αυτών έχουν ξεπεράσει τα 30 χρόνια ζωής.

Στο Διάγραμμα 2.5 αναπαριστάται γραφικά η κατανομή της χωρητικότητας του στόλου των PCCs ως προς την ηλικία.



Στο Διάγραμμα 2.6 αναπαριστάται γραφικά η κατανομή των πλοίων του στόλου των PCCs ως προς την ηλικία.



Στη συνέχεια γίνεται μια σύντομη περιγραφή του προφίλ των επί μέρους κατηγοριών του στόλου των PCTCs ως προς τη μεταφορική τους ικανότητα.

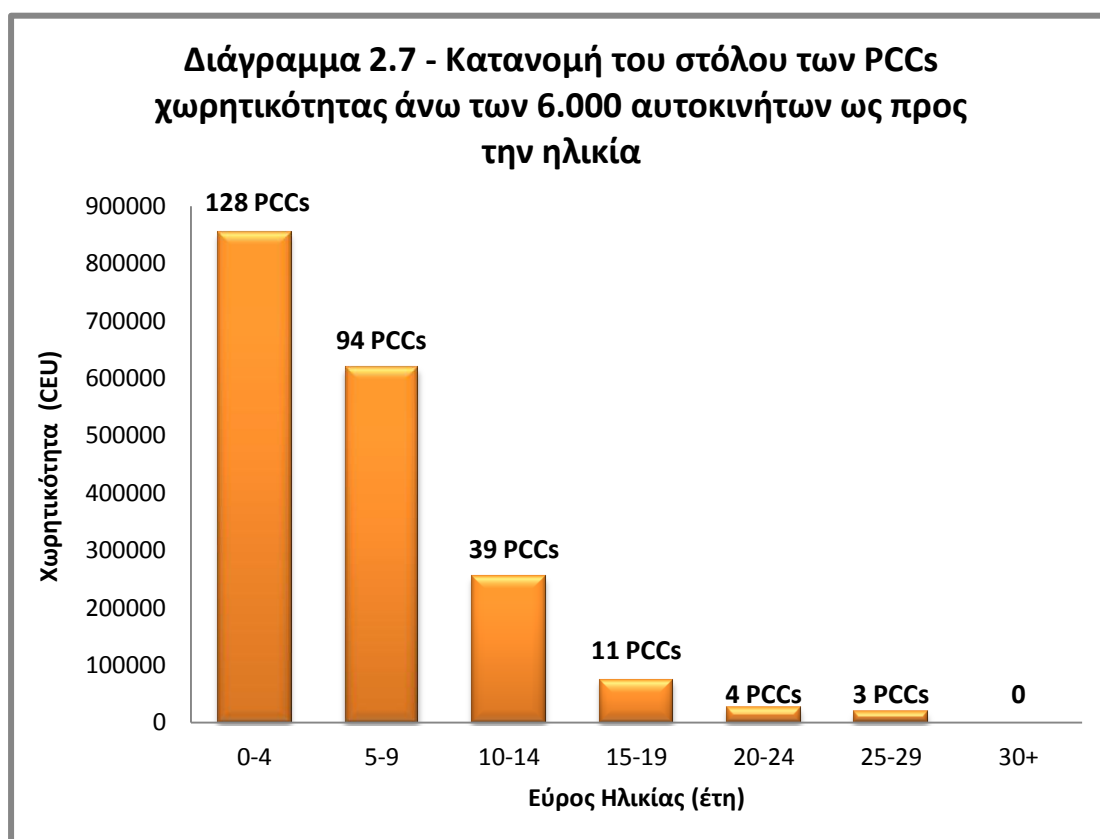
2.4.3 PCTCs με χωρητικότητα μεγαλύτερη ή ίση των 6.000 αυτοκινήτων

Τα πλοία τύπου PCTC με μεταφορική ικανότητα τουλάχιστον 6.000 οχημάτων αποτελεί τη κεντρική και σημαντικότερη κατηγορία πλοίων της αγοράς των Car Carriers. Το παραπάνω γίνεται αμέσως κατανοητό αν σκεφθεί κανείς πως το Φεβρουάριο του 2012 υπήρχαν 279 πλοία αυτής της κατηγορίας μεγέθους με συνολική μεταφορική ικανότητα 1.845.916 οχήματα, αριθμός που όπως προαναφέρθηκε αντιστοιχεί στο 53,82% της χωρητικότητας του παγκόσμιου στόλου.

Η μέση ηλικία των πλοίων αυτών των χωρητικότητων ανέρχεται στα 4,37 έτη ενώ είναι με διαφορά η νεότερη στο παγκόσμιο στόλο των PCCs και η μοναδική που

βρίσκεται κάτω από το όριο των δέκα ετών. Η νεαρή ηλικία του στόλου γίνεται ακόμα πιο αντιληπτή από το γεγονός πως 128 πλοία χωρητικότητας 854.408 αυτοκινήτων είναι νεώτερα των 5 ετών (45,88% του συνόλου των πλοίων αυτής τη χωρητικότητας και το 46,29% της χωρητικότητάς τους), ενώ αν σε αυτά προστεθούν τα 94 πλοία μεταφορικής ικανότητας 618.938 οχημάτων που έχουν ηλικία από 5 έως 9 έτη, παρατηρούμε πως το 79,57% του στόλου των PCCs με χωρητικότητα άνω των 6.000 οχημάτων εκφρασμένο σε αριθμούς πλοίων ή διαφορετικά το 79,82% ως προς τη χωρητικότητα έχει κατασκευαστεί μετά το 2002, δηλαδή είναι νεώτερο των 10 ετών. Από την άλλη πλευρά μόλις 7 PCCs συνολικής χωρητικότητας 43.820 αυτοκινήτων, τα οποία ευθύνονται μόλις για το 2,37% της χωρητικότητας του στόλου αυτής της κατηγορίας, είναι γηραιότερα των 20 ετών ενώ κανένα από αυτά δεν έχει ξεπεράσει τα 30 έτη.

Στο Διάγραμμα 2.7 αναπαριστάται αναλυτικά η κατανομή της μεταφορικής ικανότητας και του πλήθους των PCCs χωρητικότητας άνω των 6.000 αυτοκινήτων στα διάφορα εύρη ηλικιών.

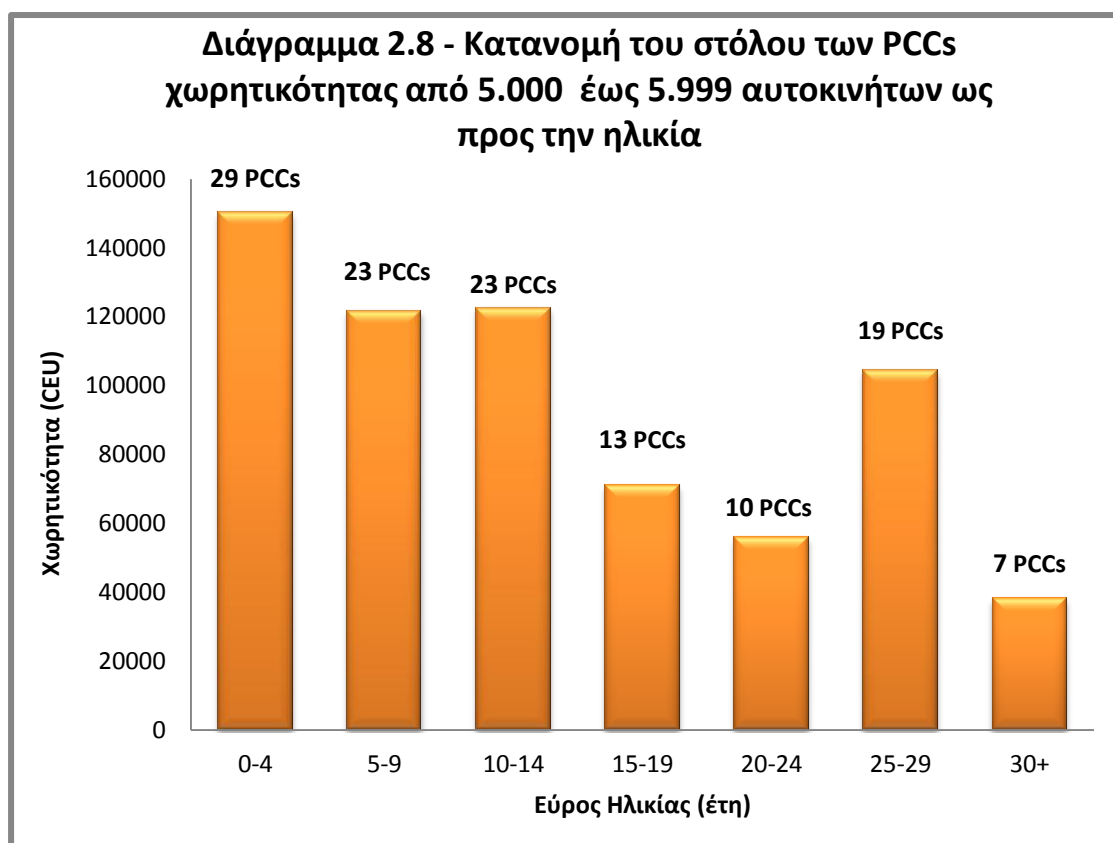


2.4.4 PCTCs με χωρητικότητα μεταξύ 5.000 και 5.999 αυτοκινήτων

Η κατηγορία των PCTCs με χωρητικότητα μεταξύ 5.000 και 5.999 αυτοκινήτων αποτελεί τη δεύτερη πολυπληθέστερη καθώς απαρτίζεται από 124 πλοία συνολικής χωρητικότητας 663.726 αυτοκινήτων και ευθύνεται για το 19,35% της μεταφορικής ικανότητας του παγκόσμιου στόλου των car carriers.

Η μέση ηλικία του στόλου των πλοίων αυτών των χωρητικοτήτων είναι ίση με 14,39 έτη. Πιο αναλυτικά, 29 πλοία χωρητικότητας 150.267 οχημάτων είναι νεώτερα των 5 ετών (22,64% της χωρητικότητας του στόλου αυτής της κατηγορίας) ενώ ηλικία μικρότερη των 15 ετών έχουν συνολικά 75 πλοία μεταφορικής ικανότητας 394.427 αυτοκινήτων, δηλαδή το 60,48% του πλήθους των πλοίων αυτών των χωρητικοτήτων και το 59,43% της μεταφορικής ικανότητάς τους. Επίσης, 36 πλοία χωρητικότητας 198.424 οχημάτων είναι τουλάχιστον 20 ετών και 7 εξ αυτών έχουν ξεπεράσει τα 30 χρόνια ζωής.

Στο Διάγραμμα 2.8 αναπαριστάται γραφικά η κατανομή του στόλου των PCCs χωρητικότητας από 5.000 έως 5.999 αυτοκινήτων ως προς την ηλικία.

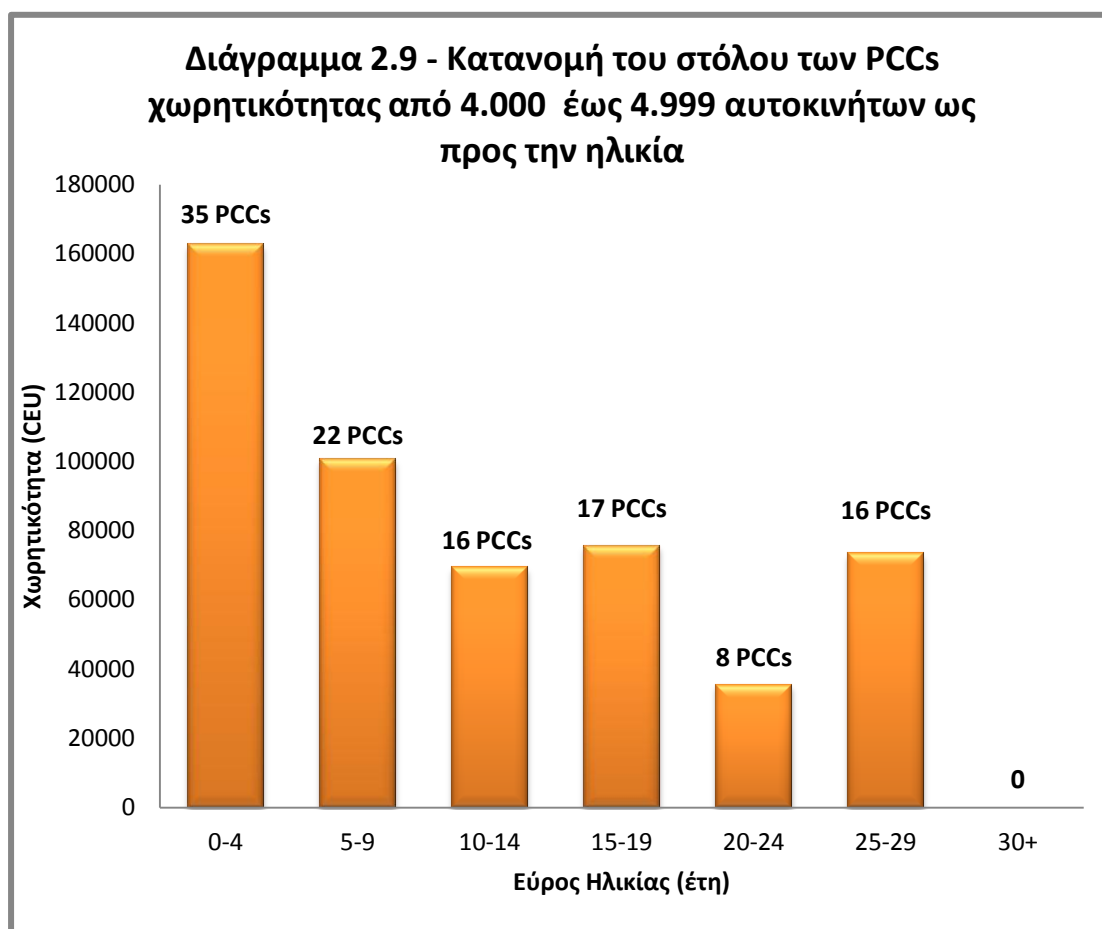


2.4.5 PCTCs με χωρητικότητα μεταξύ 4.000 και 4.999 αυτοκινήτων

Σύμφωνα με στοιχεία του Φεβρουαρίου του 2012, υπάρχουν 114 PCTCs με χωρητικότητα μεταξύ 4.000 και 4.999 αυτοκινήτων, η συνολική μεταφορική ικανότητα των οποίων είναι ίση με 516.055 αυτοκίνητα και αντιστοιχεί στο 15,05% αυτής του παγκόσμιου στόλου.

Η μέση ηλικία των πλοίων αυτής της κατηγορίας είναι 15,95 έτη. Πιο συγκεκριμένα, 57 PCCs χωρητικότητας 262.944 αυτοκινήτων (50,95% της συνολικής αυτής της επί μέρους κατηγορίας) είναι νεώτερα των 10 ετών ενώ 33 πλοία χωρητικότητας 144.720 οχημάτων έχουν ηλικία από 10 έως 19 έτη. Έτσι, μόνον 24 πλοία αυτών των χωρητικοτήτων έχουν συμπληρώσει τα 20 έτη ζωής, εκ των οποίων όμως κανένα δεν έχει φθάσει τα 30.

Στο Διάγραμμα 2.9 φαίνεται αναλυτικά η κατανομή του στόλου των PCCs χωρητικότητας από 4.000 έως 4.999 αυτοκινήτων στα διάφορα εύρη ηλικιών.

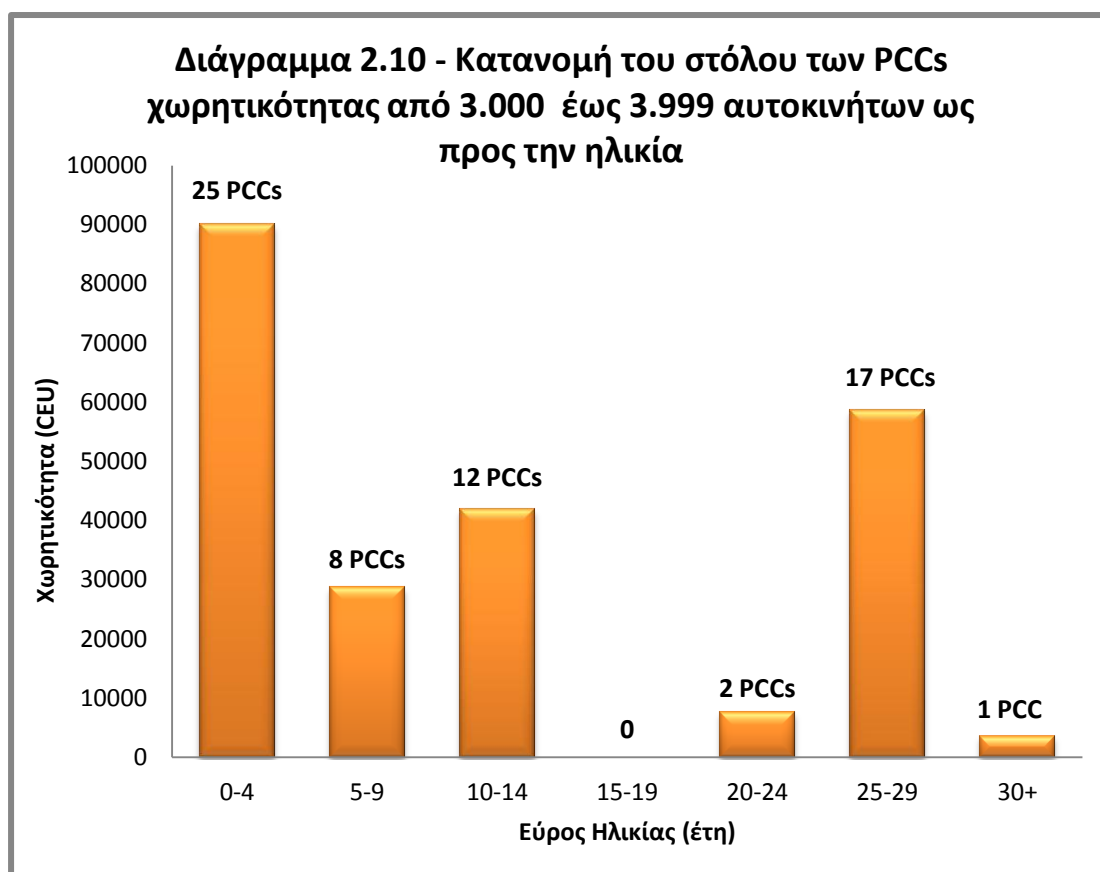


2.4.6 PCTCs με χωρητικότητα μεταξύ 3.000 και 3.999 αυτοκινήτων

Η κατηγορία των πλοίων που αποτελείται από PCTCs με χωρητικότητα μεταξύ 3.000 και 3.999 αυτοκινήτων απαρτίζεται σύμφωνα με στοιχεία του Φεβρουαρίου 2012 από 65 πλοία χωρητικότητας 230.237 αυτοκινήτων.

Η μέση ηλικία των τελευταίων ανέρχεται στα 18,02 έτη και είναι από τις μεγαλύτερες του παγκόσμιου στόλου. Βέβαια το 69,2% των πλοίων αυτών των χωρητικότητων, και συγκεκριμένα 45 πλοία χωρητικότητας 160.476 οχημάτων είναι νεώτερα των 15 ετών ενώ τα 25 εξ αυτών, μεταφορικής ικανότητας 89.981 αυτοκινήτων δεν έχουν συμπληρώσει τα 5 έτη ζωής. Είναι ακόμη αξιοσημείωτο, πως κανένα πλοίο αυτής της κατηγορίας δεν έχει κατασκευαστεί από το 1993 έως το 1997 (15 έως 19 ετών). Επιπροσθέτως, 20 πλοία χωρητικότητας 69.761 αυτοκινήτων έχουν συμπληρώσει το 20^ο έτος ζωής τους και μόνο ένα εξ αυτών έχει ξεπεράσει τα 30 έτη.

Στο Διάγραμμα 2.10 φαίνεται αναλυτικά η κατανομή του στόλου των PCCs χωρητικότητας από 3.000 έως 3.999 αυτοκινήτων στα διάφορα εύρη ηλικιών.

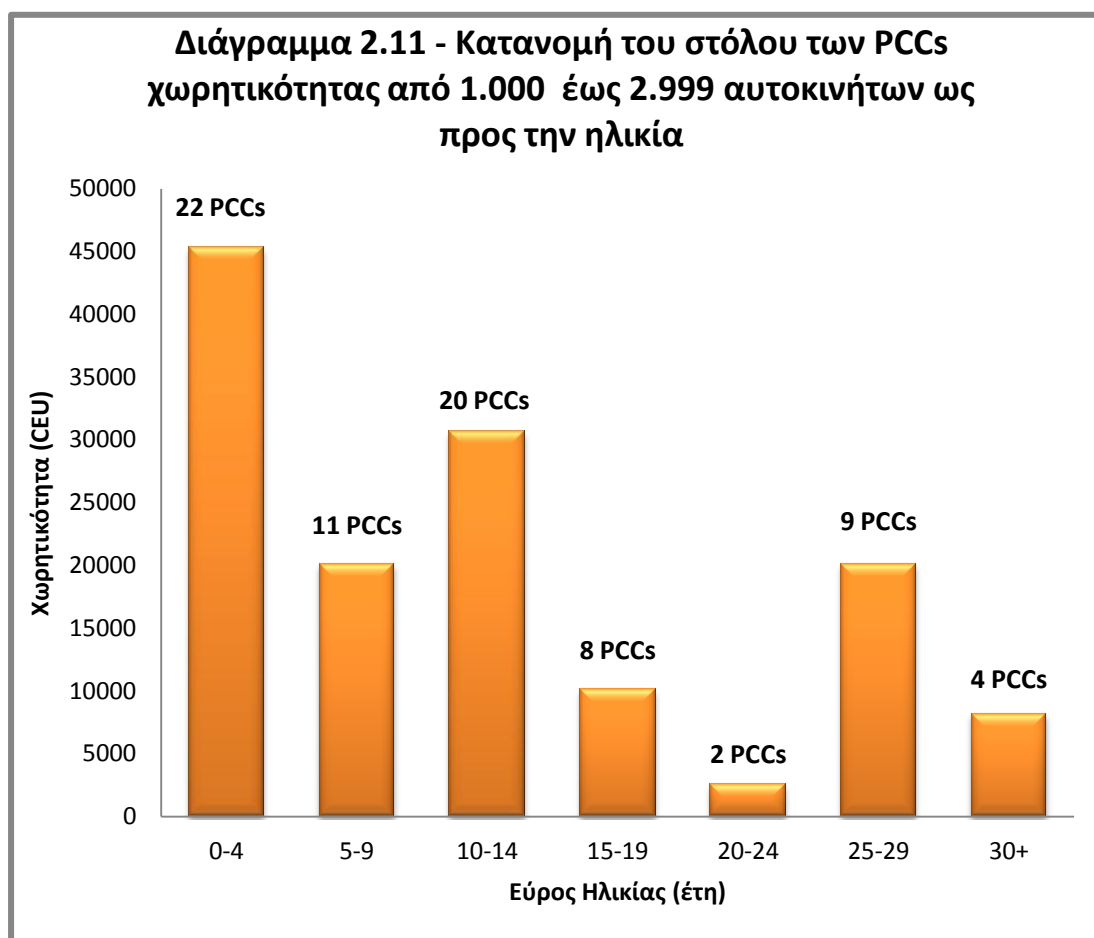


2.4.7 PCTCs με χωρητικότητα μεταξύ 1.000 και 2.999 αυτοκινήτων

Σύμφωνα με στοιχεία του Φεβρουαρίου 2012, η κατηγορία των PCTCs με χωρητικότητα μεταξύ 1.000 και 2.999 αυτοκινήτων αποτελείται από 76 πλοία μεταφορικής ικανότητας 136.974 οχημάτων, αριθμός που αντιστοιχεί μόλις στο 3,99% της αντίστοιχης συνολικής του παγκόσμιου στόλου των Car Carriers.

Η μέση ηλικία του στόλου της συγκεκριμένης κατηγορίας πλοίων ανέρχεται στα 16,26 έτη. Αναλυτικότερα, υπάρχουν 22 PCTCs εντός αυτών των χωρητικοτήτων που είναι νεώτερα των 5 ετών και με μεταφορική ικανότητα 45.306 αυτοκινήτων ενώ απαριθμούνται 53 πλοία που δεν έχουν ξεπεράσει τα 15 χρόνια ζωής. Επίσης, υπάρχουν 15 πλοία χωρητικότητας 30.838 αυτοκινήτων τα οποία είναι γηραιότερα των 20 ετών και από τα οποία τα 4 έχουν ξεπεράσει και τα 30 έτη.

Στο Διάγραμμα 2.11 παρουσιάζεται αναλυτικά η κατανομή του στόλου των PCCs χωρητικότητας από 1.000 έως 2.999 αυτοκινήτων στα διάφορα εύρη ηλικιών.

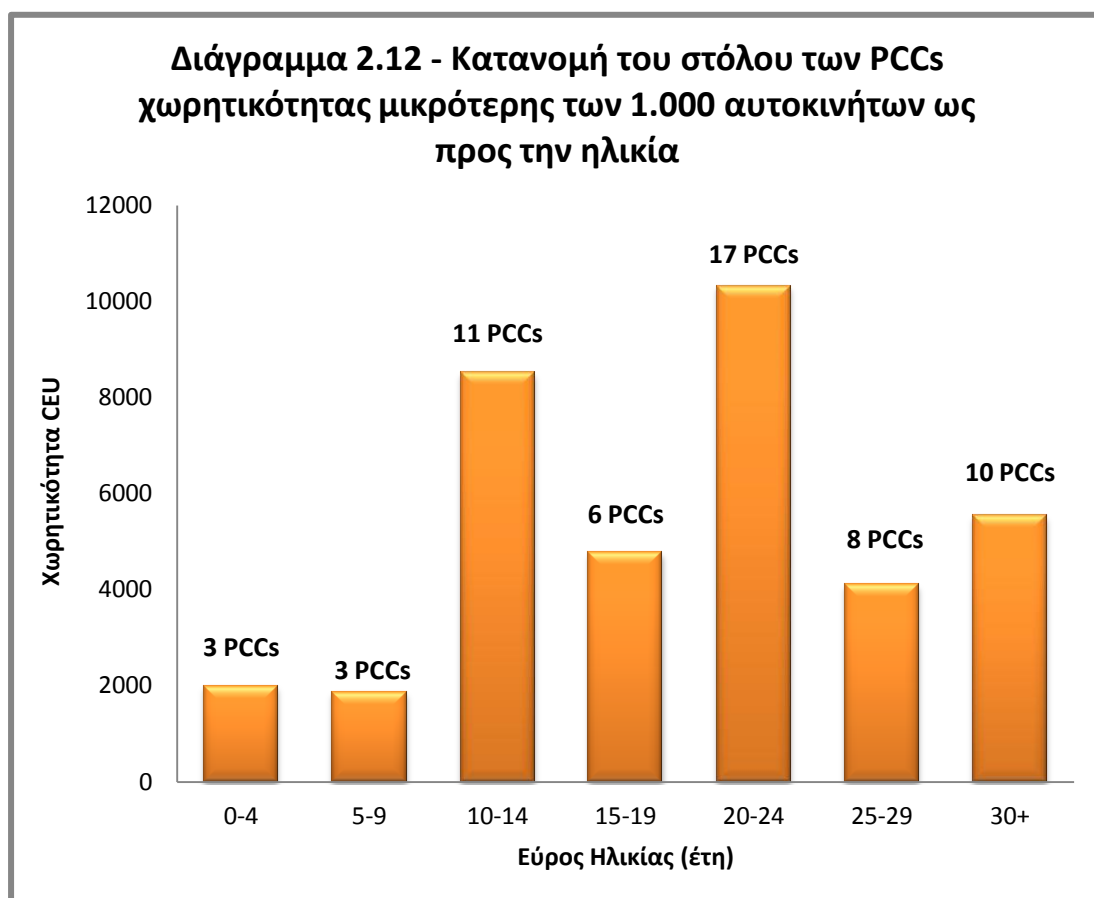


2.4.8 PCTCs με χωρητικότητα μικρότερη των 1.000 αυτοκινήτων

Η μικρότερη κατηγορία των PCTCs ως προς τη χωρητικότητα αποτελείται από μόλις 58 πλοία συνολικής μεταφορικής ικανότητας 37.113 αυτοκινήτων, δηλαδή ευθύνονται μόνο για το 1% της συνολικής μεταφορικής ικανότητας του στόλου.

Μάλιστα η μέση ηλικία των PCTCs με χωρητικότητα μικρότερη των 1.000 αυτοκινήτων είναι η μεγαλύτερη του παγκόσμιου στόλου καθώς ανέρχεται στα 18,69 έτη. Τα τελευταία 3 χρόνια δεν έχει κατασκευαστεί κανένα πλοίο αυτού του εύρους χωρητικότητας ενώ το 2008 και το 2009 εισήλθαν στην αγορά μόνο 3 πλοία συνολικής μεταφορικής ικανότητας 1993 οχημάτων. Η πλειοψηφία των πλοίων αυτής της κατηγορίας (60,3%), και συγκεκριμένα 35 πλοία, έχουν ξεπεράσει τα 20 έτη εκ των οποίων 10 από αυτά είναι γηραιότερα των 30 ετών.

Στο Διάγραμμα 2.12 παρουσιάζεται αναλυτικά η κατανομή του στόλου των PCCs χωρητικότητας μικρότερης των 1.000 αυτοκινήτων στα διάφορα εύρη ηλικιών.



2.4.9 Συγκεντρωτικά στοιχεία για το σύγχρονο στόλο των PCTCs

Όλα τα στοιχεία που προαναφέρθηκαν για το προφίλ του στόλου των PCCs παρουσιάζονται συγκεντρωτικά από το Πίνακα 2.2, στον οποίον τα πλοία του παγκόσμιου στόλου είναι κατηγοριοποιημένα ανά ομάδα μεταφορικής ικανότητας και έτος κατασκευής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2 – ΣΤΟΛΟΣ ΤΩΝ PCCs ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΕΝΟΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΟ ΕΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

Στοιχεία Φεβ-2012

Εύρος μεταφορικής ικανότητας														
Έτος Κατασκευής	< 1.000		1.000 - 2.999		3.000 - 3.999		4.000 - 4.999		5.000 - 5.999		≥ 6.000		Σύνολο	
	No.	Αυτοκ.	No.	Αυτοκ.	No.	Αυτοκ.	No.	Αυτοκ.	No.	Αυτοκ.	No.	Αυτοκ.	No.	Αυτοκ.
<= 1979	6	2927	1	1577	0	0	0	0	0	0	0	0	7	4504
1/1/1980	2	1108	0	0	1	3550	0	0	1	5900	0	0	4	10558
1/1/1981	1	750	0	0	0	0	0	0	3	16130	0	0	4	16880

1/1/1982	1	750	3	6600	0	0	0	0	3	16118	0	0	7	23468
1/1/1983	1	750	1	1082	6	19501	1	4110	0	0	0	0	9	25443
1/1/1984	2	1052	1	2026	0	0	2	9630	1	5410	0	0	6	18118
1/1/1985	0	0	4	9269	3	10230	2	9368	7	38116	0	0	16	66983
1/1/1986	4	1761	0	0	0	0	3	13740	4	22433	0	0	11	37934
1/1/1987	1	533	3	7718	8	28880	8	36265	7	38504	3	18200	30	130100
1/1/1988	1	340	0	0	0	0	5	22510	4	21700	3	19280	13	63830
1/1/1989	5	3084	0	0	0	0	1	4049	1	5630	0	0	7	12763
1/1/1990	1	911	0	0	0	0	0	0	1	5578	1	6340	3	12829
1/1/1991	4	2760	1	1536	0	0	0	0	1	5905	0	0	6	10201
1/1/1992	6	3233	1	1030	2	7600	2	8719	3	17000	0	0	14	37582
1/1/1993	4	3315	0	0	0	0	3	13559	2	10730	1	6400	10	34004
1/1/1994	2	1459	3	3664	0	0	7	30336	4	21603	1	6400	17	63462
1/1/1995	0	0	1	1550	0	0	3	13676	5	27081	2	12980	11	55287
1/1/1996	0	0	1	1000	0	0	1	4310	1	5730	3	21006	6	32046
1/1/1997	0	0	3	3887	0	0	3	13570	1	5730	4	27537	11	50724
1/1/1998	1	850	3	4320	3	10400	3	13045	4	22155	7	49234	21	100004
1/1/1999	6	4904	5	7395	3	10656	4	17320	7	37714	13	87273	38	165262

1/1/2000	1	850	4	6724	5	17477	3	12500	12	62602	8	50760	33	150913
1/1/2001	2	1281	4	6668	1	3343	3	13136	0	0	4	24030	14	48458
1/1/2002	1	630	4	5520	0	0	3	13268	0	0	7	43130	15	62548
1/1/2003	1	681	2	2659	0	0	0	0	2	10758	10	65488	15	79586
1/1/2004	1	603	0	0	1	3505	1	4632	5	26949	15	103674	23	139363
1/1/2005	0	0	3	6114	1	3930	5	22673	5	26126	20	129443	34	188286
1/1/2006	1	588	2	3982	2	7398	8	36072	3	15436	23	149095	39	212571
1/1/2007	0	0	4	7347	4	13786	8	37074	8	42421	26	171238	50	271866
1/1/2008	1	635	1	2003	4	14333	11	50800	5	26125	44	292388	66	386284
1/1/2009	2	1358	4	9000	9	32079	7	33472	13	67446	27	178644	62	321999
1/1/2010	0	0	10	20582	8	28369	12	55017	7	36689	22	146613	59	287270
1/1/2011	0	0	7	13721	4	15200	5	23204	4	20007	35	236763	55	308895
1/1/2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σύνολο	58	37113	76	136974	65	230237	114	516055	124	663726	279	1845916	716	3430021
% στόλου	8,1	1,082	10,6	3,99339	9,1	6,71240788	15,9	15,0452	17,3	19,3505	39	53,816464	100	100
Μέση ηλικία		18,685		16,2625		18,0235294		15,9504		14,3871		4,369863		14,664804

Πηγή: Clarksons Research Services

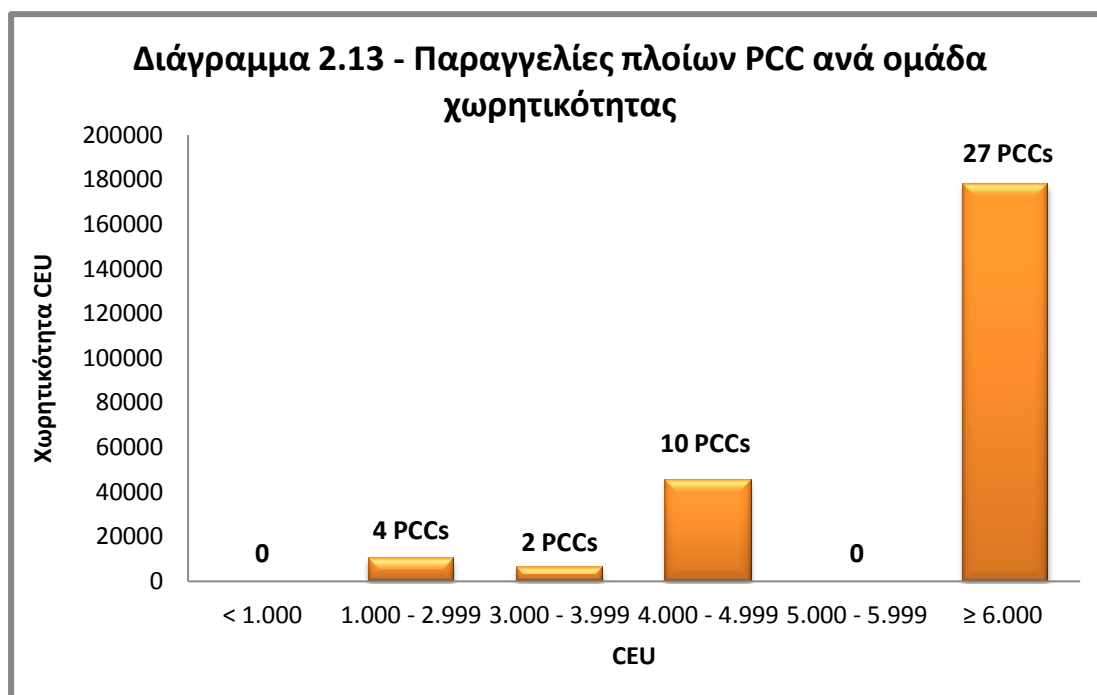
2.5 Νέες παραγγελίες πλοίων PCTC

Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανασκόπηση της αγοράς των Pure Car Carriers ως προς τον τομέα των νέων παραγγελιών την τελευταία πενταετία. Η συνεχώς αυξανόμενη παγκόσμια διακίνηση – μεταφορά αυτοκινήτων και λοιπών οχημάτων δια θαλάσσης που παρουσιαζόταν τα τελευταία χρόνια είχε ωθήσει τη ζήτηση για τέτοιου είδους πλοία σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα. Συνυπολογίζοντας και το γεγονός πως ένα σεβαστό ποσοστό του στόλου ήταν μεγάλης ηλικίας (άνω των 25 ετών), αρκετοί πλοιοκτήτες ωθήθηκαν στην κατασκευή ενός μεγάλου αριθμού PCCs. Η παγκόσμια ύφεση που εκδηλώθηκε στο τρίτο τρίμηνο του 2008 και που έφερε την παγκόσμια αυτοκινητοβιομηχανία λίγο αργότερα σε εξαιρετικά δύσκολη θέση, ανέκοψε αυτή την τάση ενώ δεν ήταν λίγες οι ακυρώσεις ή οι μετατροπές των συμβολαίων για κατασκευή άλλου τύπου πλοίων. Έτσι, για παράδειγμα, σύμφωνα με αναφορές των Clarksons, τον Ιούλιο του 2009, υπήρχαν συνολικά 191 παραγγελίες πλοίων PCCs για παράδοση από το 2009 έως το 2012 και συνολικής μεταφορικής ικανότητας άνω του ενός εκατομμυρίων τόνων. Ο αριθμός αυτός ήταν ιδιαίτερα αυξημένος για μια τόσο εξειδικευμένη αγορά, ενώ αντιστοιχούσε περίπου στο 35% του υπάρχοντος στόλου εκείνης της περιόδου. Αρκετά από αυτά τα πλοία δεν ναυπηγήθηκαν ποτέ λόγω ακύρωσης του συμβολαίου τους ή μετατροπής του συνήθως σε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (containerships), ξηρού φορτίου χύδιν (bulk carrier) ή πετρελαιοφόρα (tanker).

Το Φεβρουάριο του 2012 υπήρχαν συνολικά 43 Pure Car Carriers υπό ναυπήγηση (αντιστοιχούν περίπου στο 6% του στόλου ως προς τον απόλυτο αριθμό πλοίων). Τα 40 από αυτά θα εισέλθουν στην αγορά μέχρι το τέλος του τρέχοντος έτους ενώ για τα υπόλοιπα 3 προβλέπεται παράδοση μέσα στο 2013. Μέχρι τη χρονική στιγμή που συλλέχτηκαν τα δεδομένα δεν υπήρχαν συμβόλαια για παραδόσεις πλοίων από το 2014 και έπειτα. Η συνολική μεταφορική ικανότητα των πλοίων υπό ναυπήγηση είναι ίση με 239.365 οχήματα, νούμερο που αντιστοιχεί στο 6,98% της συνολικής μεταφορικής ικανότητας του υπάρχοντος στόλου των PCCs. Αντίστοιχα, το συνολικό Τονάζ του υπό ναυπήγηση στόλου είναι ίσο με 731.065 τόνους ή αλλιώς ποσοστιαία το 6,6% του υπάρχοντος στόλου.

Αναλυτικότερα, το μεγαλύτερο ποσοστό του βιβλίου παραγγελιών (orderbook), συγκεκριμένα το 62,8% των παραγγελιών, αποτελείται από PCCs χωρητικότητας άνω των 6.000 οχημάτων. Οι συνολικά 27 παραγγελίες (24 για παράδοση το 2012 και 3 για παράδοση το 2013) σε αυτή την κατηγορία πλοίων αντιστοιχούν σε συνολική μεταφορική ικανότητα 177.650 αυτοκινήτων και ισοδυναμούν με το 9,6% της μεταφορικής ικανότητας του στόλου των PCCs αυτής της κατηγορίας. Ακόμη, υπήρχαν δέκα πλοία υπό ναυπήγηση χωρητικότητας από 4.000 έως 4.999 αυτοκινήτων και με συνολική μεταφορική ικανότητα ίση με 45.275 οχήματα (8,8% του υπάρχοντος στόλου πλοίων αυτών των χωρητικοτήτων). Όσον αφορά τις τάξεις των πλοίων PCC με μεταφορικές ικανότητες από 3.000 έως 3.999 αυτοκίνητα και από 1.000 έως 2.999 αυτοκίνητα, υπήρχαν 2 (συνολικής χωρητικότητας 6.400 οχημάτων) και 4 πλοία (συνολικής χωρητικότητας 10.040 οχημάτων) υπό ναυπήγηση αντίστοιχα. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί πως δεν υπήρχαν παραγγελίες για κατασκευή πλοίων με μεταφορική ικανότητα από 5.000 έως 5.999 αυτοκίνητα ή μικρότερη των 1.000 αυτοκινήτων.

Οι εταιρίες που παρουσιάζονται πιο ενεργές στο τομέα των νέων κατασκευών πλοίων τύπου PCC είναι οι Nippon Yusen Kaisha (NYK), Mitsui O.S.K. Lines (MOL) και Ray Car Carriers ενώ αξιοσημείωτο βιβλίο παραγγελιών έχουν και οι F. Laeisz, Gram P.D. και Wilh. Wilhemsen.



ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3 - ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΕΣ ΡCC ΑΝΑ ΕΤΟΣ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

Στοιχεία Φεβ-12

Έτος Παράδοσης	Εύρος μεταφορικής ικανότητας σε αυτοκίνητα														% συνόλου παραγγελιών
	< 1.000		1.000 - 2.999		3.000 - 3.999		4.000 - 4.999		5.000 - 5.999		≥ 6.000		Σύνολο		
	No.	Αυτοκ.	No.	Αυτοκ.	No.	Αυτοκ.	No.	Αυτοκ.	No.	Αυτοκ.	No.	Αυτοκ.	No.	Αυτοκ.	
2012	-	-	4	10040	2	6400	10	45275	0	0	24	158250	40	219965	91.90
2013	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	3	19400	3	19400	8.10
2014	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
2015	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
2016+	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Σύνολο	-	-	4	10040	2	6400	10	45275	0	0	27	177650	43	239365	100.00
% συνόλου	-	-	9.30	4.19	4.65	2.67	23.26	18.91	-	-	62.79	74.22	100.00	100.00	
παραγγελιών															
% του στόλου	-	-	5.26	7.33	3.08	2.78	8.77	8.77	-	-	9.68	9.62	6.01	6.98	

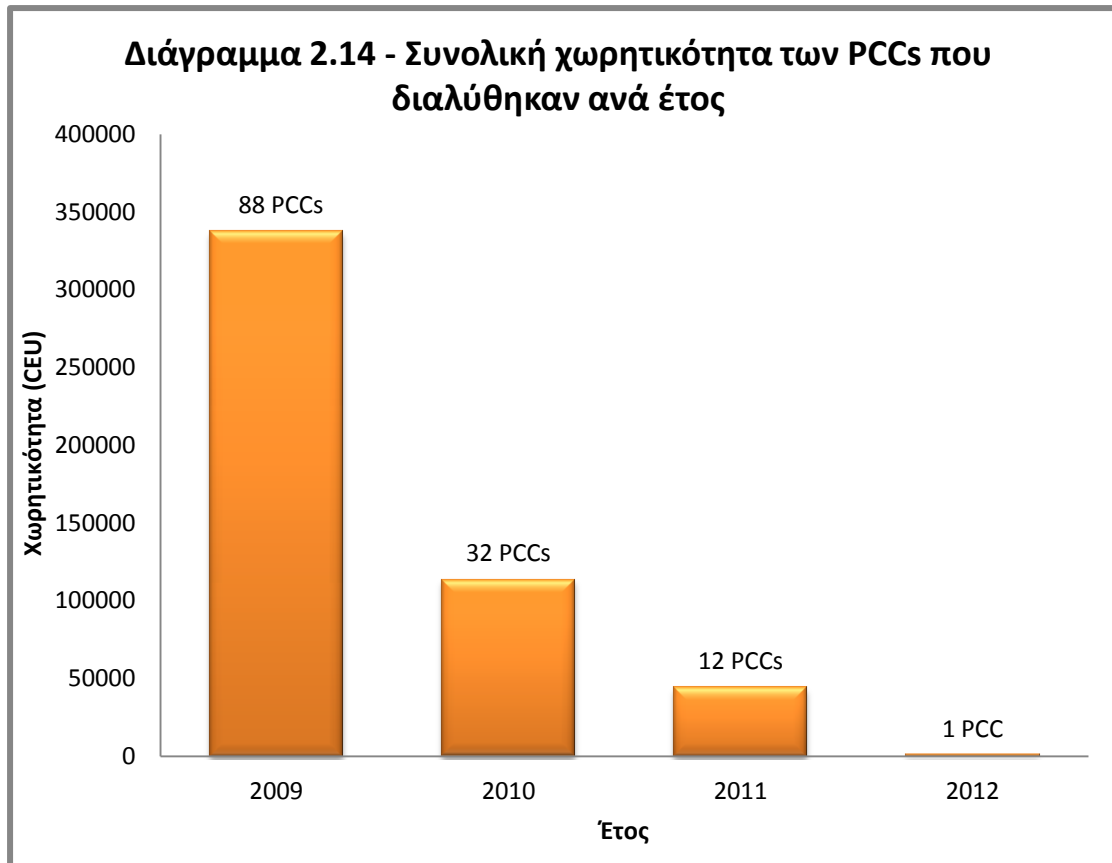
Πηγή: Clarksons Research Services

2.6 Αποσύρσεις πλοίων PCTC

Κάνοντας και πάλι μια γρήγορη ανασκόπηση στο παρελθόν, είναι σημαντικό να σημειωθεί πως οι αποσύρσεις των PCCs μέχρι και το 2008 ήταν ιδιαίτερα περιορισμένες καθώς ο συγκεκριμένος τύπος πλοίων είναι σχετικά καινούριος (η πλειοψηφία του στόλου έχει κατασκευαστεί από το 1980 και έπειτα). Για την μειωμένη κινητικότητα στις αποσύρσεις πλοίων μέχρι και το 2008 συνέβαλε εμφανώς και η πολύ ευνοϊκή αγορά εκείνης της εποχής, όπου μέχρι και πλοία ηλικίας άνω των 25 ετών μπορούσαν να υπερκαλύψουν με ιδιαίτερη ευκολία τα λειτουργικά τους κόστη και να σημειώσουν εντυπωσιακή κερδοφορία.

Σε αντίθεση με το παρελθόν, έντονη δραστηριότητα παρατηρείται την τελευταία τριετία στο τομέα των αποσύρσεων Pure Car Carriers. Συνολικά από το 2009 έως και τις αρχές του 2012 έχουν πουληθεί για scrap 133 Pure Car Carriers συνολικής μεταφορικής ικανότητας ίσης με 496.216 αυτοκίνητα. Το 2009 μάλιστα, οι αποσύρσεις πλοίων ανήλθαν σε τιμές ρεκόρ για τον κλάδο, καθώς αποσύρθηκαν 88 πλοία συνολικής μεταφορικής ικανότητας 337.057 οχημάτων. Ο αριθμός αυτός είναι δε μεγαλύτερος από τις αποσύρσεις των πλοίων που έγιναν αθροιστικά όλα τα προηγούμενα χρόνια στην συγκεκριμένη αγορά. Για το 2010 αναφέρθηκαν 32 αποσύρσεις πλοίων συνολικής μεταφορικής ικανότητας ίσης με 113.494 αυτοκίνητα ενώ και το 2011 το κύμα των αποσύρσεων συνεχίστηκε σε μικρότερο βαθμό με 12 πλοία συνολικής μεταφορικής ικανότητας 44.088 τόνων. Μέχρις στιγμής, μέσα στο 2012 έχει πωληθεί για scrap, σύμφωνα με στοιχεία της Clarksons, μόνο ένα πλοίο χωρητικότητας 1.577 οχημάτων (PCC Ersa).

Τα κράτη που πρωταγωνίστησαν στην διάλυση των πλοίων PCCs την τελευταία τριετία ήταν η Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας, το Μπαγκλαντές, η Ινδία και η Τουρκία. Τέλος, οι τιμές για scrap που αναφέρθηκαν κυμαίνονταν από 230 US\$/Ldt μέχρι και 550 US\$/Ldt.



2.7 Πλοιοκτησία PCTC και δομή της αγοράς

Η ιδιοκτησία του στόλου των Pure Car Carriers είναι αρκετά εδραιωμένη-παγιωμένη και καθοδηγείται από τις Γιαπωνέζικες διαχειρίστριες εταιρίες Nippon Yusen Kaisha (NYK Line), Mitsui OSK Lines Ltd (MOL) και Kawasaki Kisen (K-Line). Μαζί με την Γιαπωνέζικη πλοιοκτήτρια εταιρία Cido Shipping, οι τέσσερις αυτές προαναφερθείσες εταιρίες κατέχουν συνολικά περίπου το 37% του συνολικού τονάζ του στόλου και το 34% σε απόλυτο αριθμό πλοίων. Έπειτα από τις τέσσερις μεγαλύτερες πλοιοκτήτριες εταιρίες, σημαντικό μερίδιο στην αγορά διατηρούν και κάποιες εταιρίες ευρωπαϊκών συμφερόντων, όπως οι Leif Hoegh Autoliners, Wallenius Lines, Wilh Wilhemsen και Eukor (μερική ιδιοκτησία από Wallenius Lines και Wilh Wilhemsen), καθώς και οι Ισραηλινών συμφερόντων επιχειρήσεις Ray Shipping Zodiac και Maritime Agency.

Σύμφωνα με στοιχεία του Φεβρουαρίου 2012, οι 20 μεγαλύτεροι παίχτες της αγοράς των car carriers είχαν υπό την ιδιοκτησία τους περίπου το 95% του συνολικού τονάζ του στόλου, ενώ οι 10 μεγαλύτεροι ήταν αντίστοιχα υπεύθυνοι για περίπου το 66% του συνολικού τονάζ. Επιπροσθέτως, περίπου το 44% της συνολικής μεταφορικής ικανότητας του στόλου ήταν υπό την κατοχή των 5 μεγαλύτερων εταιριών στην αγορά των PCCs. Ωστόσο, επικρατούν και αρκετές λειτουργικές, εμπορικές και στρατηγικές συμφωνίες συνεργασίας στην αγορά αυτή, που καθιστούν τον εμπορικό έλεγχο της ακόμα πιο παγιωμένο ανάμεσα στις βασικές διαχειρίστριες εταιρίες.

Αναφορικά με τη δομή της αγοράς, οι κύριοι πελάτες είναι πολυεθνικές αυτοκινητοβιομηχανίες, συνήθως από την Άπω Ανατολή, όπως είναι λόγου χάρη η Toyota, η Honda και η Nissan. Είναι προφανές ότι οι πελάτες αυτοί έχουν αρκετά υψηλές απαιτήσεις ως προς την παροχή υπηρεσιών, τις εμπορικές συναλλαγές τους, τις συχνότητες των δρομολογίων κλπ., και ειδικά με τις έννοιες “just in time” και “ordered to be built” που είναι καθιερωμένες στην αγορά των αυτοκινήτων. Μάλιστα, κάποιες πλοιοκτήτριες εταιρίες ασχολούνται και με τις εφοδιαστικές αλυσίδες (logistics) των θαλάσσιων μεταφορών ενώ δεν είναι λίγες αυτές που έχουν επενδύσει αρκετά χρήματα σε εξειδικευμένα συστήματα logistics (και στα λιμάνια) για την βιομηχανία την οποία εξυπηρετούν, στοιχείο που θα αναλυθεί περαιτέρω στη συνέχεια.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στη πλοιοκτησία του στόλου των PCCs κυριαρχούν οι Γιαπωνέζικες Nippon Yusen Kaisha (NYK Line), Mitsui OSK Lines Ltd (MOL) και Kawasaki Kisen (K-Line) καθώς και οι Ευρωπαϊκές Hoegh Autoliners, Wallenius Lines, Eukor και Wilh Wilhelmsen. Παρόλα αυτά, πλοιοκτήτες που δεν επιθυμούν να διαχειρίζονται οι ίδιοι τα πλοία τους αλλά προτιμούν να τα ναυλώνουν σε διαχειρίστριες εταιρίες παρουσιάζουν τα τελευταία χρόνια ένα αυξημένο μερίδιο στην αγορά των PCCs. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων πλοιοκτητριών εταιριών είναι οι δύο μεγαλύτερες, η Cido Shipping και η Ray Shipping, στις οποίες ανήκει περίπου το 12,7% του συνολικού τονάζ του στόλου. Αν δε σε αυτές συνυπολογιστούν τα πλοία της αντίστοιχης Zodiac Maritime, το μερίδιο τους στην αγορά ξεπερνάει το 15% του συνολικού τονάζ.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να υπογραμμιστεί πως οι μεγάλες πλοιοκτήτριες εταιρίες ελέγχουν κατά κανόνα πλοία μεγαλύτερων μεταφορικών ικανοτήτων ενώ και εταιρίες που δεν είχαν αρκετά πλοία μεταφορικής ικανότητας άνω των 6.000 αυτοκινήτων στο στόλο τους επιδίωξαν τα τελευταία χρόνια να αυξήσουν την παρουσία τους σε αυτή τη κατηγορία πλοίων.

Στον Πίνακα 2.4 παρατίθενται οι 25 πλοιοκτήτριες εταιρίες με τους μεγαλύτερους ως προς τη μεταφορική ικανότητα στόλους PCCs σύμφωνα με στοιχεία του Φεβρουαρίου 2012.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4 - ΟΙ 25 ΕΤΑΙΡΙΕΣ ΜΕ ΤΟΥ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟΥΣ ΣΤΟΛΟΥΣ ΡCC ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

Μεταφορική ικανότητα

Εταιρία	< 1.000		1.000 - 2.999		3.000 - 3.999		4.000 - 4.999		5.000 - 5.999		≥ 6.000		Σύνολο	
	No.	Αυτόκ.	No.	Αυτόκ.	No.	Αυτόκ.	No.	Αυτόκ.	No.	Αυτόκ.	No.	Αυτόκ.	No.	Αυτόκ.
Nippon Yusen Kaisha	1	652	-	-	5	17.639	6	24.441	29	158.044	32	203.158	73	405.934
Mitsui O.S.K. Lines	-	-	1	1.454	6	21.918	8	36.650	14	73.890	38	241.366	67	375.278
Kawasaki Kisen	4	3.200	3	6.122	5	19.360	11	48.329	14	71.164	24	147.670	61	295.845
Ray Shipping	-	-	6	11.996	2	7.400	7	33.450	-	-	28	182.831	43	235.677
Cido Shipping	-	-	4	9.617	5	17.970	8	33.196	6	31.439	20	131.128	43	223.350
Leif Hoegh & Co.	3	2.402	2	5.012	2	7.260	9	39.644	8	42.030	15	107.760	39	204.108
Wallenius Lines AB	-	-	-	-	4	12.595	-	-	7	38.193	18	133.988	29	184.776
Eukor Car Carriers	-	-	-	-	-	-	1	4.800	2	10.574	22	160.350	25	175.724
Wilh Wilhelmsen	1	709	-	-	-	-	-	-	6	34.260	17	113.923	24	148.892
Zodiac Maritime	-	-	-	-	2	7.000	14	67.244	-	-	3	18.929	19	93.173
Shoei Kisen K.K.	-	-	1	2.768	2	6.940	1	4.508	1	5.221	8	50.608	13	70.045

Toyofuji Shipping	1	600	9	17.127	-	-	1	4.000	1	5.323	4	24.393	16	51.443
Grimaldi Group	-	-	-	-	-	-	8	36.244	2	10.758	-	-	10	47.002
American RoRo	-	-	-	-	-	-	-	-	8	45.705	-	-	8	45.705
Internat. Shipholdg.	-	-	-	-	-	-	2	8.296	1	5.055	5	31.144	8	44.495
Gram P.D.	2	1.700	5	8.000	1	3.500	3	12.587	1	5.000	2	13.000	14	43.787
NOCC	-	-	-	-	-	-	5	22.006	3	16.027	-	-	8	38.033
Excel Marine Co. Ltd	-	-	1	1.450	-	-	1	4.560	1	5.000	4	25.906	7	36.916
Glovis Group	-	-	-	-	-	-	3	12.937	-	-	3	19.380	6	32.317
Vroon	-	-	-	-	7	25.370	-	-	-	-	1	6.478	8	31.848
World Marine Co.	-	-	-	-	4	13.394	1	4.013	1	5.300	1	6.400	7	29.107
Eastern Car Liner	-	-	1	1.536	7	26.395	-	-	-	-	-	-	8	27.931
China Shipping Group	-	-	-	-	1	3.290	2	9.740	-	-	2	13.272	5	26.302
STX Pan Ocean	-	-	-	-	-	-	-	-	2	11.400	2	13.400	4	24.800
TMT Co. Ltd.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	22.800	3	22.800

Πηγή: Clarksons Research Services

Στο Πίνακα 2.5 παρατίθενται όλες οι ναυτιλιακές εταιρίες οι οποίες διαθέτουν τουλάχιστον 2 Pure Car Carriers υπό την πλοιοκτησία τους. Όπως θα παρατηρήσουμε, το πλήθος τους φθάνει μόλις τις 50 εταιρίες, πράγμα που αποδεικνύει για άλλη μια φορά τον μικρό αριθμό των «παιχτών» που δραστηριοποιούνται στη συγκεκριμένη αγορά.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5 - ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΜΕ ΤΟΥΛΑΧΙΣΤΟΝ 2 PCCs (ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΠΛΟΙΩΝ)

Πλοιοκτήτρια εταιρία	Αριθμός πλοίων	Συνολικό DWT	Μέσο DWT	Μέση ηλικία	Χώρα
Nippon Yusen Kaisha	73	1351003	18506	8.48	Japan
Mitsui O.S.K. Lines	67	1176741	17563	7.72	Japan
Kawasaki Kisen	61	913241	14971	9.28	Japan
Cido Shipping	43	687219	15981	8.34	China P.R.
Ray Shipping	43	730909	16997	4.92	Israel
Leif Hoegh & Co.	39	676175	17337	12.49	Norway
Wallenius Lines AB	30	754099	25136	13.74	Sweden
Eukor Car Carriers	25	571090	22843	8.24	South Korea
Wilh Wilhelmsen	24	438003	18250	12.25	Norway
Zodiac Maritime Agy.	19	253389	13336	9.71	United Kingdom
Toyoufuji Shipping	16	171395	10712	10.32	Japan
Gram P.D.	14	122034	8716	6.99	Norway
Shoei Kisen K.K.	13	241810	18600	10.84	Japan
Sinotrans & CSC	11	59222	5383	10.73	China P.R.
Grimaldi Group	10	129171	12917	8.14	Italy
UECC	9	45509	5056	13.79	Norway
Vroon	8	114836	14354	3.39	Netherlands
Neptune Shipping	8	68447	8555	4.91	Greece
NOCC	8	100750	12593	18.89	Norway
Internat. Shipholdg.	8	149626	18703	11.76	United States

Excel Marine Co. Ltd.	8	135760	16970	7.40	Japan
American RoRo	8	170046	21255	19.49	United States
Eastern Car Liner	7	89465	12780	7.98	Japan
Grupo Suardiaz	7	28997	4142	9.96	Spain
World Marine Co.	7	115017	16431	15.21	Japan
Glovis Group	6	103151	17191	16.14	South Korea
Shanghai Ansheng	5	10347	2069	24.28	China P.R.
Fujitrans Corp.	5	33798	6759	11.87	Japan
Nissan Motor Car	5	39571	7914	4.42	Japan
China Shipping Group	5	78826	15765	7.87	China P.R.
United Ocean	4	69331	17332	3.29	Singapore
F. Laeisz	4	45509	11377	1.73	Germany
TMT Co. Ltd.	4	113188	28297	0.58	Taiwan
Meiji Shipping Co.	4	68056	17014	11.10	Japan
STX Pan Ocean	4	90203	22550	12.56	South Korea
Abou Merhi Lines	4	16408	4102	28.42	Lebanon
Dalian Jifa	3	15436	5145	6.58	China P.R.
Minsheng Co.	3	12500	4166	2.11	China P.R.
Liberty Maritime	3	58581	19527	3.61	United States
Hokusei Kaiun K.K.	3	18906	6302	10.28	Japan
Fuyoh Shipping Co.	3	48954	16318	9.89	Japan
Kokoku Kaiun K.K.	3	6253	2084	11.72	Japan
COSCO Group	3	41305	13768	9.44	China P.R.
Manfred Lauterjung	2	24500	12250	1.88	Germany
Fukunaga Kaiun	2	31237	15618	18.29	Japan
Santoku Senpaku	2	18759	9379	3.13	Japan
Tailwind Shipping	2	42151	21075	4.21	Norway
PT. Mitra	2	9392	4696	28.83	Indonesia

MCCL	2	4822	2411	31.71	Greece
Sedona Car Line	2	36022	18011	2.04	Panama

2.8 Αρμοδιότητες και ρόλος των διαχειριστριών ναυτιλιακών εταιριών

Την τελευταία δεκαετία, οι αυξημένες απαιτήσεις της αγοράς έχουν οδηγήσει στην διαφοροποίηση ή καλύτερη την εξέλιξη της δομής, του τρόπου οργάνωσης και κυρίως των αρμοδιοτήτων των διαχειριστριών ναυτιλιακών εταιριών που δραστηριοποιούνται στην αγορά των car carriers. Πιο συγκεκριμένα, οι μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες επιδιώκοντας να ελαττώσουν όσο το δυνατόν περισσότερο τους χρόνους παράδοσης των προϊόντων τους βρήκαν νέους καινοτόμους τρόπους να συναλλάσσονται με τους πελάτες και τους τροφοδότες τους και εξέλιξαν σημαντικά τις εφοδιαστικές δομές τους, στοιχείο που άμεσο αντίκτυπο στην οργάνωση των ναυτιλιακών εταιριών του κλάδου.

Αρχικά, μέχρι και τις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας, οι διαχειρίστριες εταιρίες (operators), διαπραγματεύονταν τα συμβόλαια απευθείας με τις αυτοκινητοβιομηχανίες, κλείνοντας συνήθως μακροχρόνια συμβόλαια διάρκειας 2 έως 5 ετών. Σε κάποιες εμπορικές συμφωνίες δε, αρκετοί operators συνεργάζονταν μεταξύ τους έτσι ώστε να παρέχουν ταξίδια μεγαλύτερης συχνότητας και καλύτερες υπηρεσίες. Επίσης, η βασική υπηρεσία που παρείχαν οι ναυτιλιακές εταιρίες ήταν η μεταφορά μιας ενοποιημένης παραγγελίας-φορτίου από ένα προορισμό παραλαβής σε ένα προορισμό παράδοσης (port to port service) ενώ σε μεμονωμένες περιπτώσεις μπορεί να παρείχαν υπηρεσίες εντοπισμού φορτίου (tracking). Έτσι, προσπαθώντας να μεταφέρουν με τον οικονομικότερο τρόπο ένα μεμονωμένο φορτίο ενός πελάτη τους, λειτουργούσαν καθαρά σχεδόν ως μεταφορείς χωρίς να εφαρμόζουν μεθόδους εφοδιαστικής (logistics). Ο περιορισμένος ρόλος λοιπόν των διαχειριστριών εταιριών για αρκετά χρόνια οφείλεται κατά βάση στην εξειδίκευση της συγκεκριμένης αγοράς και της ύπαρξης μειωμένου αριθμού τέτοιων επιχειρήσεων, στο υψηλό κεφάλαιο εισαγωγής στην αγορά και στις μακρόχρονες σχέσεις που είχαν δημιουργηθεί με τις αυτοκινητοβιομηχανίες. Για λόγους όμως που προαναφέρθηκαν παραπάνω, οι

απαιτήσεις των αυτοκινητοβιομηχανιών τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί, αλλάζοντας τους «όρους του παιχνιδιού». Πριν όμως αναλυθεί ο εξελιγμένος ρόλος των σύγχρονων διαχειριστριών εταιριών, περιγράφεται συνοπτικά ο ρόλος τους όπως ήταν μέχρι τις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας, σύμφωνα με τους Andre Kroneberg και Bengt Ramberg :

- Βασική-κεντρική αρμοδιότητα: Διακίνηση και λειτουργία εξειδικευμένου τονάζ από λιμάνι σε λιμάνι
- Εταιρικές σχέσεις: Σταθερές, άμεσες και μακροχρόνιες σχέσεις με τους πελάτες
- Παρεχόμενες υπηρεσίες: Μεταφορά φορτίου από λιμάνι σε λιμάνι και μεμονωμένες πρόσθετες παροχές (π.χ. cargo tracking).

Οι δύο μεγάλες τάσεις που επαναπροσδιόρισαν τη λειτουργία των αυτοκινητοβιομηχανιών και κατ' επέκταση των σύγχρονων διαχειριστριών ναυτιλιακών εταιριών είναι αυτές των απευθείας αναθέσεων (outsourcing) σε εταιρίες υψηλής τεχνογνωσίας σε συνδυασμό με την εισαγωγή εφαρμογών λύσεων τύπου business to business (B2B) και ηλεκτρονικών αγορών (electronic marketplace), καθώς μετέβαλλαν σημαντικά τις σχέσεις μεταξύ των επιχειρήσεων που λαμβάνουν μέρος στις διάφορες συναλλαγές.

Όσον αφορά το φαινόμενο του **outsourcing**, μια ιδιαίτερα εμφανή τάση στην αυτοκινητοβιομηχανία, εκπροσωπείται κυρίως από μια σχετικά νέα γενιά εταιριών logistics με προηγμένη τεχνογνωσία, οι οποίες συνήθως αναφέρονται ως 3PLs και 4PLs. Οι 3PLs λειτουργούν συνήθως για λογαριασμό του φορτωτή και μπορεί να έχει κάποια ιδιότητα κεφάλαια, κυρίως κατάλληλο εξοπλισμό που απαιτείται για μεταφορά και διανομή. Επίσης αρκετοί 3PLs έχουν την δυνατότητα να οργανώσουν ευρείες διατμηματικές διεργασίες, όπως είναι για παράδειγμα η διεκπεραίωση μιας παραγγελίας. Η πληρωμή τους προέρχεται γενικά απευθείας από τον φορτωτή με την μορφή management fees ή μπόνους καλής απόδοσης. Οι 4PLs δεν διαθέτουν ίδια κεφάλαια (ούτε δικό τους μεταφορικό εξοπλισμό), ενώ το αντικείμενο που τους ανατίθεται αποτελεί την επίβλεψη και τη διαχείριση ενός σημαντικού αριθμού 3PLs και παραδοσιακών ναυτιλιακών διαχειριστριών εταιριών που έχουν συναλλαγές με

τον φορτωτή πελάτη τους. Οι 4PLs γνωρίζουν αναλυτικά την εφοδιαστική διαδικασία και τους ξεχωριστούς τομείς της βιομηχανίας ενώ διαθέτουν συμβουλευτικές ικανότητες και γνώσεις επανασχεδιασμού διαδικασιών, χρησιμοποιώντας συχνά εξαιρετικά τεχνολογικά ανεπτυγμένα συστήματα και προγράμματα. Η πληρωμή τους επίσης προέρχεται από management fees ή μπόνους καλής απόδοσης ενώ συχνά προτιμούν να πληρώνονται με ποσοστά επί των κερδών του φορτωτή πελάτη τους. Ο κοινός στόχος των αυτοκινητοβιομηχανιών και των 3PLs/4PLs είναι προφανώς η βελτίωση αφενός της ταχύτητας της εφοδιαστικής διαδικασίας και αφετέρου η μείωση του χρόνου που μεσολαβεί ανάμεσα στην παραγγελία και στην παράδοση του φορτίου. Για το σκοπό αυτό μάλιστα, οι αυτοκινητοβιομηχανίες αντιτίθενται έντονα εναντίων των αντιμονοπωλιακών απαλλαγών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η σύσταση της Ocean Shipping Reform Act (OSRA) το 1998 στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, η οποία επέτρεψε στις αυτοκινητοβιομηχανίες να διαπραγματεύονται ένα προς ένα τα συμβόλαια με τους μεταφορείς. Ακόμη, ενισχύθηκαν μακροπρόθεσμα οι σχέσεις μεταξύ των κατασκευαστών αυτοκινήτων, των ναυτιλιακών εταιριών και όλων των ενδιάμεσων που λαμβάνουν μέρος στις θαλάσσιες μεταφορές ενώ σημαντική ήταν η προσφορά της ORSA στην κάλυψη των εξειδικευμένων απαιτήσεων ως προς την εφοδιαστική κάθε πελάτη και τη περαιτέρω μείωση του χρόνου παράδοσης του φορτίου.

Άλλο ένα φαινόμενο-τάση που βρήκε τεράστια απήχηση στους κόλπους της αυτοκινητοβιομηχανίας κατά την έναρξη του 21^{ου} αιώνα είναι αυτό του ηλεκτρονικού επιχειρείν (**e-business**), και πιο συγκεκριμένα η ανάπτυξη λύσεων τύπου **Business to Business (B2B)** και η δημιουργία ηλεκτρονικών αγορών(**electronic marketplace**). Η συμβολή των τελευταίων είναι ιδιαίτερα σημαντική τόσο διότι ελαττώνουν το κόστος των συναλλαγών όσο και γιατί βελτιώνουν σημαντικά την ορθή λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας των επιχειρήσεων, δεδομένου πως η ανάπτυξη εξειδικευμένων πακέτων επιτρέπει την μοντελοποίηση και τη βελτιστοποίηση των εφοδιαστικών αλυσίδων και σύνθετων συναλλαγών με αξιοσημείωτη ακρίβεια, πράγμα τεχνολογικά αδύνατα πριν από 15 χρόνια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εδραίωση των Application Service

Providers (ASPs) με εξειδίκευση στα logistics, οι οποίοι επιτρέπουν σε επιχειρήσεις μικρού και μεσαίου μεγέθους να χρησιμοποιούν ιδιαίτερα προηγμένα συστήματα logistics. Τέτοια λογισμικά παρέχουν στους πελάτες τους μεταξύ άλλων υπηρεσίες ηλεκτρονικού αιτήματος για προσφορά (quotation), οδηγό δρομολόγησης (routing guide), υπηρεσίες προσφοράς (tender) και αποδοχής (acceptance), εντοπισμού και παρακολούθησης (track and trace), βελτιστοποίηση της αποστολής, προγραμματισμό των παραδόσεων (delivery appointment scheduler), τιμολόγηση (invoicing) και αναφορά διεκπεραίωσης της αποστολής (reporting).

Λαμβάνοντας υπόψη και τα παραπάνω, ο σύγχρονος ρόλος των διαχειριστριών ναυτιλιακών επιχειρήσεων απαρτίζεται σύμφωνα με τους Andre Kroneberg και Bengt Ramberg από τους ακόλουθους βασικούς άξονες:

❖ Βασικές-κεντρικές αρμοδιότητες:

1. Διακίνηση και λειτουργία εξειδικευμένου τονάζ από λιμάνι σε λιμάνι
2. ικανότητα χειρισμού πολύπλοκων συστημάτων, εφόσον η ναυτιλιακή εταιρία είναι τροφοδότης ή στρατηγικός συνεργάτης με 4PLs.
3. Διαχείριση των Logistics και ικανότητα εύρεσης και επιλογής πιθανών στρατηγικών συμμάχων, εφόσον η ναυτιλιακή εταιρία λειτουργεί και ως 3PL για τις αυτοκινητοβιομηχανίες.

❖ Εταιρικές σχέσεις: Οι εταιρικές σχέσεις καθορίζονται από την επιλογή της ναυτιλιακής διαχειρίστριας εταιρίας να λειτουργεί ως sub-contractor ή ως 3PL για την αυτοκινητοβιομηχανία.

Στην πρώτη περίπτωση οι εταιρικές σχέσεις χαρακτηρίζονται ως Απρόσωπες και έμμεσες σχέση με τον πελάτη, καθώς την επικοινωνία με τον πελάτη διαχειρίζονται οι αρμόδιοι 4PLs.

Στην περίπτωση όμως που οι ναυτιλιακές εταιρίες επιλέξουν να διαδραματίσουν βασικό ρόλο στην εφοδιαστική αλυσίδα, δηλαδή αυτού του 3PL για τον κατασκευαστή αυτοκινήτων, τότε οι εμπορικές σχέσεις αποκτούν την ακόλουθη μορφή:

1. Οι ναυτιλιακές εταιρίες συνεργάζονται στενά με τους πελάτες τους έτσι ώστε να παρέχουν μια όσο το δυνατόν γρηγορότερη και αποδοτικότερη από πλευράς κόστους διακίνηση του φορτίου.
2. Οι ναυτιλιακές εταιρίες επενδύουν σημαντικά ποσά σε εξειδικευμένα συστήματα ώστε να ικανοποιούν τις ανάγκες των πελατών τους. Ένας τρόπος ελάττωσης του κόστους αυτών των επενδύσεων είναι να ανατρέξουν στην αγορά των ASPs.
3. Οι πληρωμές των ναυτιλιακών δεν βασίζονται εξ ολοκλήρου από τα ναύλα των πλοίων. Δίδονται και management fees καθώς και ποσοστά επί των κερδών όταν η ναυτιλιακή εταιρία πετυχαίνει ικανοποιητικές αποδόσεις, στοιχείο που έχει σημαντική επιρροή και στις εταιρικές σχέσεις.

- ❖ Παρεχόμενες υπηρεσίες: Μεταφορά φορτίου από λιμάνι σε λιμάνι, αποθήκευση των οχημάτων, εντοπισμός και παρακολούθηση του φορτίου (track and tracing).

Είναι επομένως προφανής ο αρκετά πιο σύνθετος ρόλος των διαχειριστριών ναυτιλιακών εταιριών σε σχέση με το παρελθόν καθώς και η εξέλιξη των αρμοδιοτήτων και των παρεχόμενων υπηρεσιών τους , καθιστώντας ακόμα πιο σκληρό, απαιτητικό, ανταγωνιστικό και κυρίως εξειδικευμένο το περιβάλλον της αγοράς μεταφοράς αυτοκινήτων δια θαλάσσης.

Τέλος, στον ακόλουθο πίνακα γίνεται με βάση τα όσα προαναφέρθηκαν, μια συνοπτική σύγκριση των σύγχρονων αρμοδιοτήτων των διαχειριστριών ναυτιλιακών εταιριών στην αγορά της μεταφοράς αυτοκινήτων σε σχέση με το παρελθόν.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.6 – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΡΟΛΟΥ ΤΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΡΙΩΝ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΜΕ ΤΟ ΠΑΡΕΛΘΟΝ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ ΤΩΝ CAR CARRIERS

Ρόλος-Ιδιότητα	Παλαιότερος ρόλος	Σύγχρονος ρόλος
Βασικές αρμοδιότητες	Διακίνηση εξειδικευμένου τονάζ από λιμάνι σε λιμάνι	Διακίνηση εξειδικευμένου τονάζ από λιμάνι σε λιμάνι

		<p>Ικανότητα χειρισμού πολύπλοκων συστημάτων</p> <p>Διαχείριση των Logistics και ικανότητα εύρεσης και επιλογής πιθανών στρατηγικών συμμάχων</p>
Εταιρικές σχέσεις	<p>Σταθερές, άμεσες, μακροχρόνιες</p>	<p><i>Sub-contractor:</i></p> <p>δυναμικές, έμμεσες, βραχυπρόθεσμες</p> <p><i>3PL:</i></p> <p>στενή συνεργασία με τους πελάτες, αποδοχές με management fees και μπόνους με βάση την απόδοση και</p>
Παρεχόμενες υπηρεσίες	<p>Μεταφορά φορτίου από λιμάνι σε λιμάνι και κάποιες περιορισμένες πρόσθετες υπηρεσίες</p>	<p>Μεταφορά φορτίου από λιμάνι σε λιμάνι, αποθήκευση οχημάτων, εντοπισμός και παρακολούθηση του φορτίου</p>

2.9 Παγκόσμια ζήτηση για αυτοκίνητα

2.9.1 Παγκόσμια παραγωγή οχημάτων

Η αυτοκινητοβιομηχανία είναι μια από τις σημαντικότερες βιομηχανίες του πλανήτη καθώς η ετήσια παραγωγή της ξεπερνάει τα δύο τρισεκατομμύρια δολάρια. Αν μάλιστα ήταν κράτος, θα κατατασσόταν σίγουρα μέσα στις έξι μεγαλύτερες οικονομίες παγκοσμίως. Στην αυτοκινητοβιομηχανία απασχολούνται άμεσα περισσότεροι από οχτώ εκατομμύρια εργαζόμενοι, αριθμός που αντιστοιχεί σε

περισσότερο από το 5% των εργαζομένων παγκοσμίως στο τομέα της παραγωγής προϊόντων. Αν συνυπολογιστούν δε και όσοι απασχολούνται στην ευρύτερη αγορά των αυτοκινήτων, οι εργαζόμενοι ξεπερνούν τα πενήντα εκατομμύρια.

Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (OICA), το 2011 παρήχθησαν σχεδόν 80,1 εκατομμύρια οχήματα, και συγκεκριμένα 59.929.016 αυτοκίνητα (74,8% της συνολικής παραγωγής) και 20.163.824 (25,2% της συνολικής παραγωγής) οχήματα εμπορικής χρήσης (λεωφορεία, αγροτικά μηχανήματα κλπ.), παρουσιάζοντας μια ποσοστιαία αύξηση της τάξης του 3,2% σε σχέση με το 2010. Η ανοδική αυτή τάση αναμένεται να συνεχιστεί και για το 2012 επισφραγίζοντας ουσιαστικά την έξοδο της αυτοκινητοβιομηχανίας από την κρίση των τελευταίων ετών και την επαναφορά της σε τροχιά ανάπτυξης.

Η Κίνα ήταν για το 2011 το κράτος στο οποίο κατασκευάστηκαν τα περισσότερα οχήματα, συνολικά 18,419 οχήματα, αριθμός που ισοδυναμεί με το 23% της παγκόσμιας παραγωγής οχημάτων για το 2011. Στη δεύτερη θέση της παγκόσμιας κατάταξης επανήλθαν οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής παράγοντας συνολικά 8,65 εκατομμύρια οχήματα (2.966.133 αυτοκίνητα και 5.687.424 οχήματα εμπορικής χρήσης) παρουσιάζοντας σημαντική άνοδο της τάξης του 11.5%. Βέβαια αν λαμβάναμε την Ευρωπαϊκή Ένωση ως ένα κράτος, αυτή θα κατείχε τη δεύτερη θέση με συνολική παραγωγή ίση με περίπου 17,7 εκατομμυρίων οχημάτων. Η Ιαπωνία, η οποία επλήγη σφοδρά από τις φυσικές καταστροφές που προκλήθηκαν από το τσουνάμι το 2011, έπεσε στη Τρίτη θέση (από την δεύτερη που κατείχε το 2010) με 8,4 εκατομμύρια οχήματα, σημειώνοντας πτώση 12,8% σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Τη τέταρτη και πέμπτη θέση της λίστας καταλαμβάνουν η Γερμανία και η Νότιος Κορέα με παραγωγή συνολικά 6,3 και 4,66 οχημάτων. Οι τελευταίες αύξησαν την παραγωγή τους κατά 6,9% και 9% αντίστοιχα επιστρέφοντας οριστικά έτσι σε επίπεδα παραγωγής προ κρίσης. Στο χάρτη της παραγωγής οχημάτων έχουν εισέλθει δυναμικά τα τελευταία χρόνια οι Ινδία (συνολικά 3,93 εκατομμύρια οχήματα), η Βραζιλία (συνολικά 3,4 εκατομμύρια οχήματα) και το Μεξικό (συνολικά 2,68 εκατομμύρια οχήματα), οι οποίες εμφανίζοντας αξιοσημείωτες ετήσιες αυξήσεις στη παραγωγή εκτόπισαν

παραδοσιακές δυνάμεις του χώρου όπως η Ισπανία και η Γαλλία οι οποίες συμπληρώνουν τις τελευταίες θέσεις τις δεκάδας των μεγαλύτερων παραγωγικών κρατών στο τομέα των αυτοκινήτων. Τρομακτική ανάπτυξη της τάξης του 41,5% σε σχέση με το 2010 σημείωσε η Ρωσία παράγοντας συνολικά για το 2011 σχεδόν 2 εκατομμύρια οχήματα (1.738.163 αυτοκίνητα και 249.873 οχήματα εμπορικής χρήσης) επιβεβαιώνοντας σε συνδυασμό με τα προαναφερθέντα για άλλη μια φορά την δυναμική των κρατών BRIC (Βραζιλία, Ρωσία, Ινδία, Κίνα) και στην βιομηχανία των αυτοκινήτων. Ουσιαστικό μερίδιο στην αγορά των αυτοκινήτων επιδιώκουν να αποκτήσουν οι Ινδονησία, Ταϊβάν, Αργεντινή και Νότιος Αφρική, παράγοντας αντίστοιχα 837.948, 343.296, 828.771 και 532.545 οχήματα και παρουσιάζοντας αξιοσημείωτες αυξήσεις σε σχέση με το 2010. Τη μέγιστη ποσοστιαία μείωση αντιθέτως, σημείωσε η Φιλανδία, παράγοντας συνολικά μόνο 2,5 χιλιάδες αυτοκίνητα και παρουσιάζοντας πτώση της τάξης του 61,9% σε σχέση με το 2010. Εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης η παραγωγή μειώθηκε αισθητά και στις Σλοβενία (-17,6%), Ολλανδία (-22,3%), Σουηδία(-13%) και Ιταλία (-5,7%). Εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης, τη μεγαλύτερη πτώση σημείωσαν οι Ιαπωνία (-12,8%), η Σερβία (-12,4%), η Ταϊλάνδη (-10,1%) και η Αυστραλία (-8,1%).

Αναφερόμενοι αποκλειστικά στο τομέα των αυτοκινήτων, πρώτη δύναμη εμφανίζεται και πάλι η Κίνα για το 2011, ενώ ακολουθούν η Ιαπωνία (7,16 εκατομμύρια αυτοκίνητα), η Γερμανία (5,87 εκατομμύρια αυτοκίνητα) και η Νότιος Κορέα (4,22 εκατομμύρια αυτοκίνητα). Οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής βρίσκονταν για το 2011 μόλις στην έκτη θέση, ενώ στην πρώτη δεκάδα βρίσκονται ακόμη η Ινδία, η Βραζιλία, η Ισπανία, η Γαλλία και η Ρωσία.

Λαμβάνοντας πάλι υπόψη μόνο την παραγωγή οχημάτων που προορίζονται για εμπορική χρήση, ο χάρτης της αγοράς είναι κάπως διαφορετικός. Εδώ, στην πρώτη θέση βρίσκονται με κάποια διαφορά οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής ενώ τη πρώτη τριάδα σχηματίζουν η Κίνα και η Ιαπωνία. Στη τέταρτη θέση όμως βρίσκεται ο Καναδάς, με συνολική παραγωγή 1,144 εκατομμυρίων οχημάτων εμπορικής χρήσης και ακολουθεί το Μεξικό με 1,022 εκατομμύρια οχήματα. Στην έκτη θέση βρίσκεται η Ταϊλάνδη με συνολική παραγωγή 928, 7 χιλιάδων οχημάτων ενώ από την έβδομη μέχρι και τη δέκατη θέση βρίσκονται οι Ινδία, Βραζιλία, Τουρκία και

Ισπανία. Γίνεται επομένως εύκολα αντιληπτό ότι στην αγορά οχημάτων εμπορικής χρήσης πρωταγωνιστούν κράτη που η συμμετοχή τους στον τομέα παραγωγής αυτοκινήτων ήταν αρκετά χαμηλότερη, ξεπερνώντας κράτη με παράδοση στην αυτοκινητοβιομηχανία όπως η Γερμανία και η Νότιος Κορέα.

Ο μεγαλύτερος κατασκευαστής αυτοκινήτων και λοιπών οχημάτων εμπορικής χρήσης για το 2010 σύμφωνα με στοιχεία της ΟΙCΑ ήταν η Toyota με συνολική παραγωγή ίση με 8,56 εκατομμύρια οχήματα. Ακολούθησαν οι General Motors (8,476 εκατομμύρια), Volkswagen group (7,341 εκατομμύρια), Hyundai Motor (5,765 εκατομμύρια), Ford (4,988 εκατομμύρια), Nissan (3,982 εκατομμύρια), Honda (3,643 εκατομμύρια), PSA Peugeot Citroen (3,605 εκατομμύρια), Suzuki (2,893 εκατομμύρια) και Renault (2,716 εκατομμύρια). Σημαντική παραγωγή, άνω του ενός εκατομμυρίου οχημάτων ετησίως, παρουσιάζουν επίσης οι Fiat Group, Daimler – Mercedes AG, Chrysler, BMW, Mazda, Mitsubishi, Chana Automobile και Tata.

Ο πίνακας με τα αναλυτικά στοιχεία για τη παραγωγή αυτοκινήτων σε κάθε κράτος είναι ο ακόλουθος:

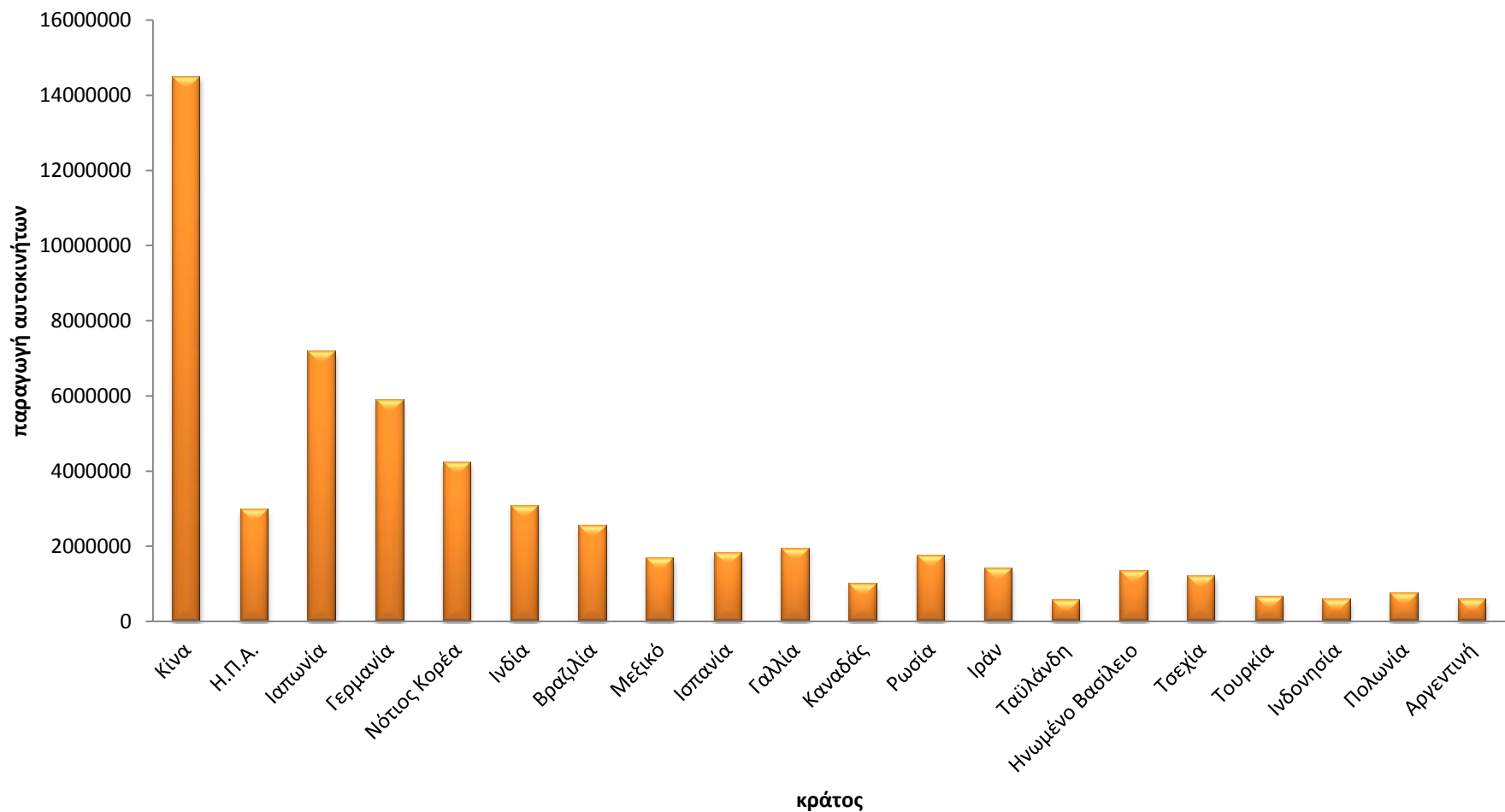
ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7 – ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ 2011

Χώρα	Αυτοκίνητα	Εμπορικά οχήματα	Σύνολο	% μεταβολή από το 2010
Κίνα	14485326	3933550	18418876	0,008
Η.Π.Α.	2966133	5687427	8653560	0,115
Ιαπωνία	7158525	1240129	8398654	-0,128
Γερμανία	5871918	439400	6311318	0,069
Νότιος Κορέα	4221617	435477	4657094	0,090
Ινδία	3053871	882577	3936448	0,107
Βραζιλία	2534534	871616	3406150	0,007
Μεξικό	1657080	1022957	2680037	0,144
Ισπανία	1819453	534229	2353682	-0,014
Γαλλία	1931030	363859	2294889	0,029
Καναδάς	990483	1144410	2134893	0,032
Ρωσία	1738163	249873	1988036	0,417

Ιράν	1413276	235229	1648505	0,031
Ταϊλάνδη	549770	928690	1478460	-0,101
Ηνωμένο Βασίλειο	1343810	120189	1463999	0,051
Τσεχία	1191968	7866	1199834	0,115
Τουρκία	639734	549397	1189131	0,086
Ινδονησία	561863	276085	837948	0,193
Πολωνία	740000	97132	837132	-0,037
Αργεντινή	577233	251538	828771	0,157
Ιταλία	485606	304742	790348	-0,057
Σλοβακία	639763	0	639763	0,139
Βέλγιο	562386	0	562386	0,013
Μαλαισία	496440	43610	540050	-0,049
Νότιος Αφρική	312265	220280	532545	0,128
Ταϊβάν	288523	54773	343296	0,131
Ρουμανία	310243	24989	335232	-0,045
Αυστραλία	189503	34690	224193	-0,081
Ουγγαρία	200000	2800	202800	-0,041
Πορτογαλία	141779	50463	192242	0,211
Σλοβακία	188969	0	188969	-0,13
Ουζμπεκιστάν	146300	33260	179560	0,145
Σλοβενία	168955	5164	174119	-0,176
Αυστρία	130343	22162	152505	0,452
Ουκρανία	97585	7069	104654	0,259
Αίγυπτος	53072	28659	81731	-0,3
Ολλανδία	40772	32379	73151	-0,223
Σερβία	15050	740	15790	-0,124
Φινλανδία	2540	0	2540	-0,619
Υπόλοιπα κράτη	368615	127215	495830	0,022
Σύνολο	59929016	20163824	80092840	0,032

Πηγή: ΟΙΣΑ

Διάγραμμα 2.15 - Οι 20 χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή αυτοκινήτων για το 2011



2.9.2 Πωλήσεις, πωλήσεις έπειτα από εισαγωγή και εξαγωγές αυτοκινήτων παγκοσμίως

Οι πωλήσεις των αυτοκινήτων εξαρτώνται άμεσα από δύο παράγοντες, την αντικατάσταση των παλιών αυτοκινήτων με καινούριων και με την αύξηση του αριθμού τους σε απόλυτους αριθμούς. Σε ώριμες – ανεπτυγμένες αγορές, η απόσυρση και αντικατάσταση των αυτοκινήτων διαδραματίζει το σημαντικότερο ρόλο ενώ αντίθετα σε αναπτυσσόμενες οικονομίες, οι πωλήσεις οδηγούνται κατά βάση από αύξηση του συνολικού αριθμού των αυτοκινήτων, καθώς στις τελευταίες η αγορά αυτοκινήτου είναι μια τάση των τελευταίων χρόνων. Οι πωλήσεις των αυτοκινήτων έχουν άμεση συσχέτιση με την οικονομική ανάπτυξη, στοιχείο που φαίνεται ιδίως στις αναπτυσσόμενες οικονομίες, στις οποίες η ανανέωση των αυτοκινήτων εξαρτάται άμεσα από τη ψυχολογία των καταναλωτών και το ευρύτερο οικονομικό κλίμα.

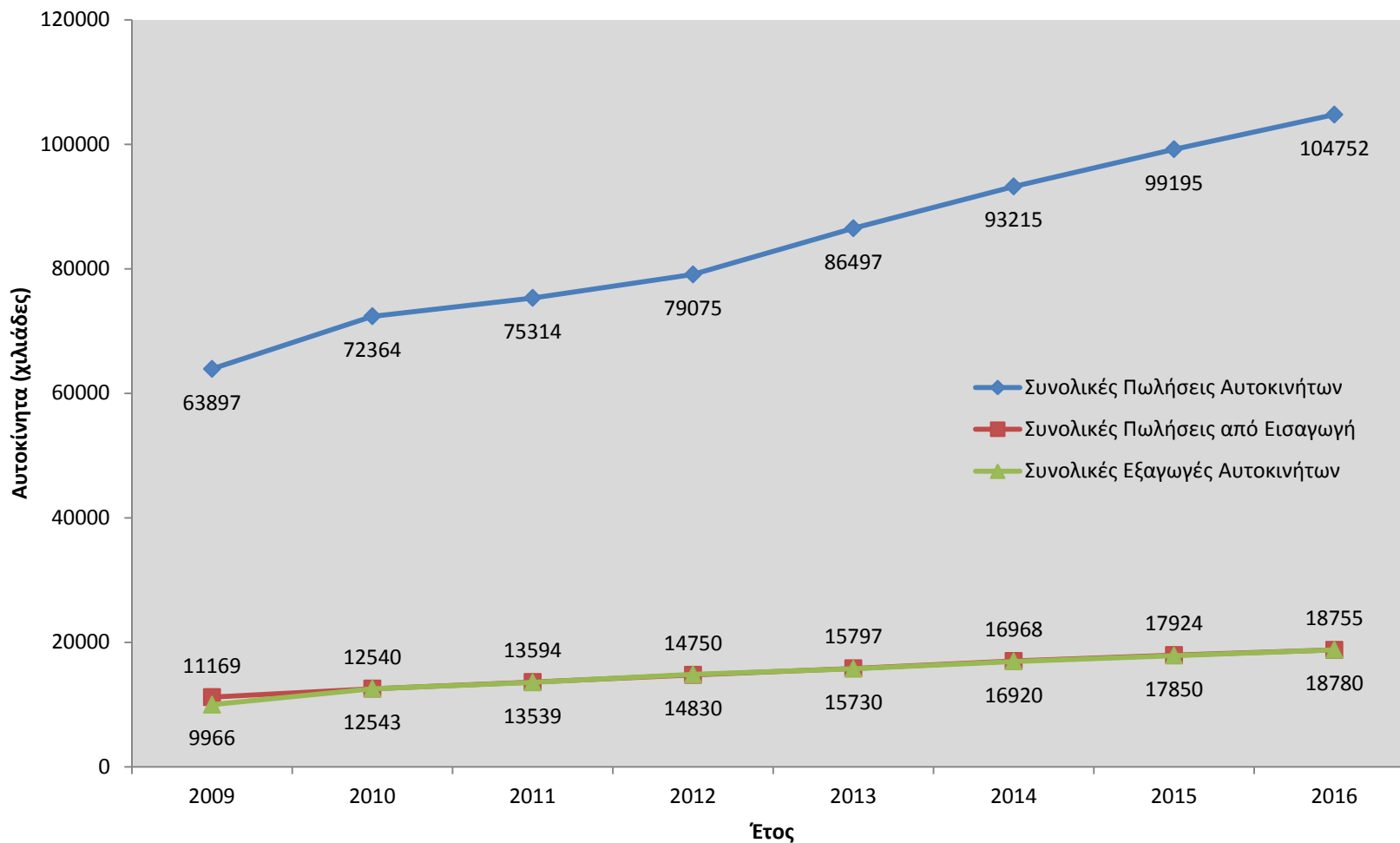
Σύμφωνα με στοιχεία της LMC-Automotive, το 2011 πωλήθηκαν συνολικά 75,314 εκατομμύρια αυτοκίνητα, αριθμός που αντιστοιχεί σε ποσοστιαία αύξηση των πωλήσεων παγκοσμίως της τάξης του 4,1% σε σχέση με το 2010 (πωλήθηκαν συνολικά 72,364 εκατομμύρια οχήματα). Οι παγκόσμιες πωλήσεις για το 2012 αναμένονται να φτάσουν τις 79,075 εκατομμύρια αυτοκίνητα, που αντιστοιχεί σε ποσοστιαία αύξηση της τάξης του 5%. Η ανοδική τάση αναμένεται να συνεχιστεί μέχρι και τουλάχιστον το 2016 με ρυθμούς που θα φθάνουν και το 10% (από το 2012 στο 2013), ενώ το 2015 οι πωλήσεις οχημάτων παγκοσμίως αναμένονται να αγγίξουν τα 100 εκατομμύρια (99,2 εκατομμύρια) για πρώτη φορά στην ιστορία της συγκεκριμένης βιομηχανίας. Καθοριστικό παράγοντα στην ραγδαία αυτή αναμενόμενη άνοδο των πωλήσεων θα διαδραματίσει η Κίνα και τα υπόλοιπα ταχέως αναπτυσσόμενα κράτη.

Όσον αφορά τις πωλήσεις από εισαγωγές οχημάτων από άλλο κράτος, σύμφωνα με τα Automotive News και GCC Estimates, το 2011 ανήλθαν στα 13,594 εκατομμύρια, παρουσιάζοντας μια αύξηση της τάξης του 8,4% σε σχέση με το 2010, κατά το οποίο πραγματοποιήθηκαν παγκοσμίως 12,54 εκατομμύρια τέτοιου είδους πωλήσεις. Για

το 2012 οι πωλήσεις από εισαγωγές οχημάτων αναμένονται να φτάσουν 14,75 εκατομμύρια αυτοκίνητα, αριθμός που αντιστοιχεί σε ποσοστιαία αύξηση της τάξης του 8,5%. Η ανοδική αυτή τάση υπολογίζεται να συνεχιστεί μέχρι τουλάχιστον το 2016, ενώ ενδεικτικά για το 2013 προβλέπονται 15,797 εκατομμύρια πωλήσεις προερχόμενες από εισαγωγή οχημάτων ενώ για το 2015 οι αντίστοιχες πωλήσεις προβλέπονται στα 17,924 εκατομμύρια αυτοκίνητα.

Σύμφωνα με στοιχεία των Japan Automobile Manufacturers Association (Jama), Korean Automobile Manufacturers Association (Kama), GCC estimates και άλλων επίσημων στοιχείων, οι παγκόσμιες εξαγωγές οχημάτων για το 2011 ανήλθαν στα 13,539 εκατομμύρια οχήματα, παρουσιάζοντας μια αύξηση της τάξης του 7,9% σε σχέση με το 2010 κατά το οποίο οι παγκόσμιες εξαγωγές ήταν ίσες με 12,543 εκατομμύρια οχήματα. Όπως αναμένεται να συμβεί και με τις παγκόσμιες πωλήσεις, για το 2012 προβλέπεται αύξηση των παγκόσμιων εξαγωγών κατά 9,5% στα 14,83 εκατομμύρια αυτοκίνητα. Επίσης, και πάλι όπως και για τις πωλήσεις, η ανοδική αυτή τάση πιστεύεται πως θα συνεχιστεί τουλάχιστον μέχρι και το 2016. Ενδεικτικά, το 2013 αναμένονται να εξαχθούν περίπου 15,73 εκατομμύρια οχήματα παγκοσμίως και το 2015 17,85 εκατομμύρια αντίστοιχα.

Διάγραμμα 2.16 - Παγκόσμιες πωλήσεις, πωλήσεις από εισαγωγή και εξαγωγές αυτοκινήτων



2.9.3 Πωλήσεις, πωλήσεις από εισαγωγή και εξαγωγές αυτοκινήτων ανά γεωγραφική περιοχή

Στη συνέχεια αναλύονται εκτενέστερα οι συνολικές πωλήσεις, οι πωλήσεις από εισαγωγή και οι εξαγωγές αυτοκινήτων για τις βασικές χώρες-γεωγραφικές περιοχές που διαμορφώνουν στο μεγαλύτερο βαθμό την αγορά του παγκόσμιου εμπορίου αυτοκινήτων.

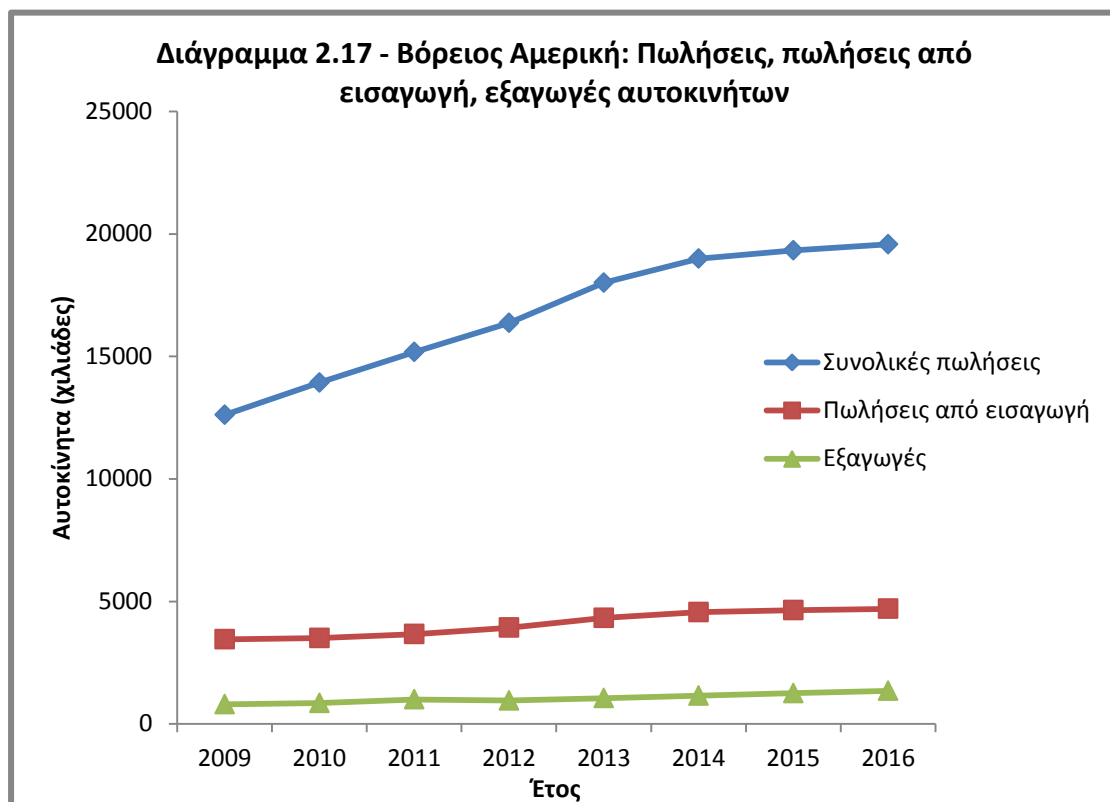
Βόρειος Αμερική

Οι συνολικές πωλήσεις οχημάτων στη Βόρειο Αμερική ανήλθαν για το 2011 στα 15,182 εκατομμύρια καταλαμβάνοντας έτσι τη δεύτερη θέση μετά την Κίνα. Παρουσίασαν δε σημαντική αύξηση σε σχέση με τα προηγούμενα έτη, καθώς το 2009 το αντίστοιχο νούμερο ήταν 12,616 εκατομμύρια ενώ το 2010 13,93 εκατομμύρια. Το 2012, οι πωλήσεις υπολογίζονται στα 16,368 εκατομμύρια αυτοκίνητα, δηλαδή 6,92% περισσότερες σε σχέση με το 2011. Ακόμη, η Βόρειος Αμερική θα σημειώνει τις δεύτερες περισσότερες πωλήσεις παγκοσμίως, οι οποίες θα παρουσιάζουν σταθερή αύξηση τα επόμενα χρόνια ενώ το 2015 θα ξεπεράσουν τα 19 εκατομμύρια (19,3 εκατομμύρια).

Η Βόρειος Αμερική, από την άλλη πλευρά αποτελεί την γεωγραφική περιοχή στην οποία πραγματοποιούνται οι περισσότερες πωλήσεις εισαγόμενων οχημάτων. Το 2011 καταγράφηκαν 3,66 εκατομμύρια τέτοιες πωλήσεις, σχεδόν διακόσιες χιλιάδες περισσότερες σε σύγκριση με το 2010. Για το 2012, οι πωλήσεις εισαγόμενων οχημάτων αναμένεται να ανέλθουν στα 3,93 εκατομμύρια αυτοκίνητα, 7,2% περισσότερες από ότι το 2011. Όπως και οι συνολικές πωλήσεις, έτσι και οι πωλήσεις εισαγόμενων αυτοκινήτων πιστεύεται ότι θα συνεχίσουν να αυξάνονται, φθάνοντας τις 4,32 εκατομμύρια το 2013 και τα 4,64 εκατομμύρια το 2015.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των οχημάτων που κατασκευάζονται στην Βόρειο Αμερική απορροφώνται στις εγχώριες αγορές και δεν εξάγονται. Έτσι, το 2011 εξήχθησαν μόλις 1 εκατομμύριο οχήματα, 150 χιλιάδες περισσότερα σε σχέση με το 2010. Για το 2012, οι εξαγωγές θα μειωθούν στις 950 χιλιάδες, δηλαδή θα κυμανθούν σε

χαμηλότερα επίπεδα της τάξης του 5% σε σχέση με το 2011. Το 2013 οι εξαγωγές αναμένεται να ανακάμψουν και πάλι, φθάνοντας τα 1,05 εκατομμύρια οχήματα το 2013 και τα 1,25 εκατομμύρια το 2015.



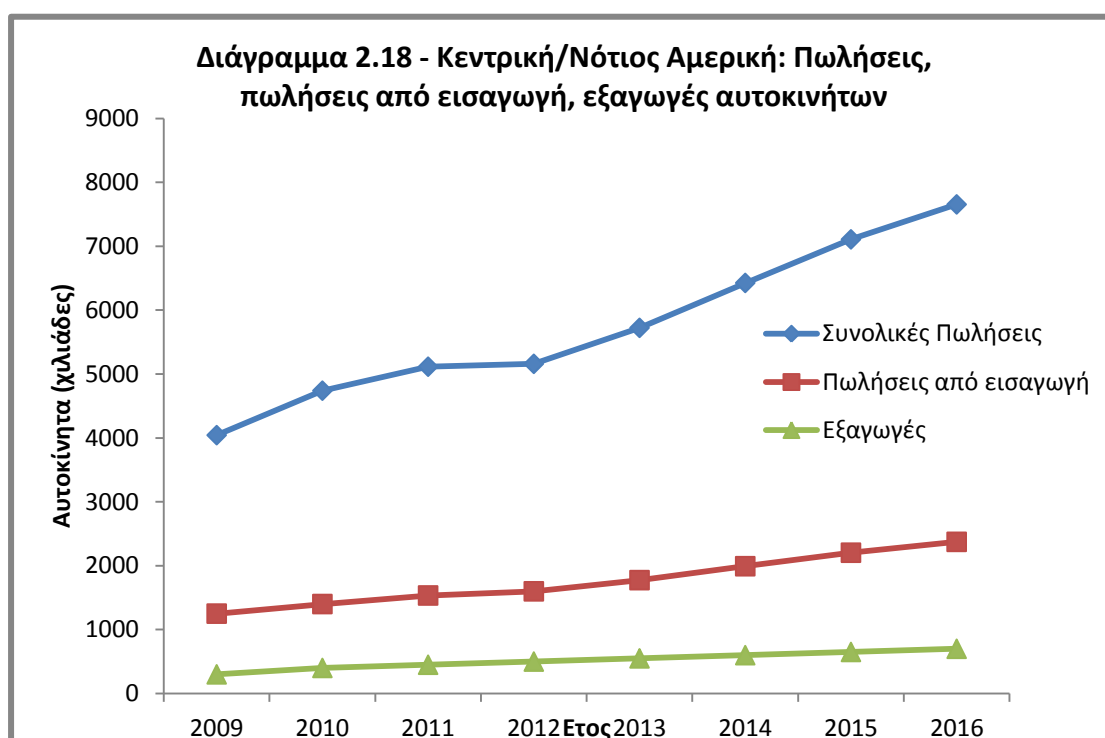
Κεντρική και Νότιος Αμερική

Το 2011 πωλήθηκαν 5,11 εκατομμύρια αυτοκίνητα στην Κεντρική και Νότιο Αμερική, σημειώνοντας αύξηση σε σχέση με το 2010 (4,74 εκατομμύρια). Το 2012, οι συνολικές πωλήσεις θα σημειώσουν αμελητέα αύξηση (5,16 εκατομμύρια) ενώ από το 2013 και έπειτα η ανοδική τάση θα είναι εντονότερη. Ενδεικτικά, το 2013 οι συνολικές πωλήσεις οχημάτων αναμένονται στα 5,72 εκατομμύρια (αύξηση 10,8% από το 2012) και μέχρι το 2015 θα έχουν ξεπεράσει τα 7 εκατομμύρια ετησίως.

Οι πωλήσεις εισαγόμενων οχημάτων το 2011 στην Κεντρική και Νότιο Αμερική ήταν ίσες με 1,53 εκατομμύρια οχήματα, αριθμός που ισοδυναμεί στο 30% των συνολικών πωλήσεων. Το 2012, τα εισαγόμενα αυτοκίνητα που θα πουληθούν θα φθάσουν τα 1,6 εκατομμύρια ενώ η αύξηση θα συνεχιστεί και τα επόμενα χρόνια.

Το 2014, θα αγγίξουν τα 2 εκατομμύρια οχήματα ενώ το 2015 θα ανέλθουν στα 2,2 εκατομμύρια.

Μόλις 450 χιλιάδες αυτοκίνητα εξήγαγε η Κεντρική και Νότιος Αμερική το 2011, 50 χιλιάδες περισσότερα από το 2010. Το 2012, πιστεύεται πως οι εξαγωγές οχημάτων θα ανέλθουν στο μισό εκατομμύριο (αύξηση 11,1%). Κατά 50 χιλιάδες ετησίως θα αυξάνονται οι εξαγωγές αυτοκινήτων έως και τουλάχιστον το 2016, σύμφωνα με τις προβλέψεις.



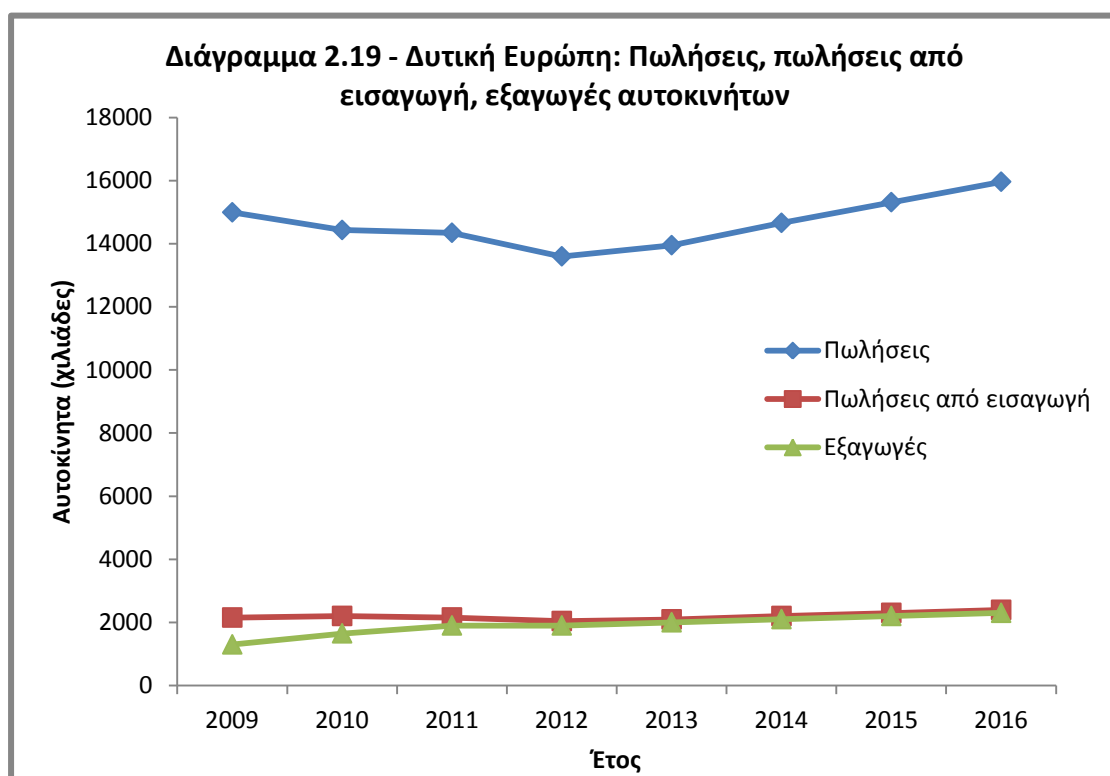
Δυτική Ευρώπη

Η δυτική Ευρώπη ήταν ο τρίτος μεγαλύτερος καταναλωτής αυτοκινήτων το 2011, χάνοντας την δεύτερη θέση την οποία κατείχε μέχρι και το 2010, αφού οι συνολικές πωλήσεις της εξακολούθησαν να σημειώνουν πτώση για δεύτερη συνεχή χρονιά ως αποτέλεσμα της ύφεσης που πλήττει την Ευρωζώνη τα τελευταία χρόνια. Συγκεκριμένα, το 2011 σημειώθηκαν 14,34 εκατομμύρια πωλήσεις οχημάτων, 0,6% μειωμένες σε σχέση με το 2010 (14,43 εκατομμύρια) και αρκετά λιγότερες από το 2009. Δεδομένου ότι η ύφεση στην Ευρωζώνη επιδεινώνεται, το 2012 αναμένεται

περεταίρω πτώση των συνολικών πωλήσεων της τάξης του 5,2% που αντιστοιχεί σε 13,6 εκατομμύρια. Από το 2013 και έπειτα αναμένεται σταδιακή αναθέρμανση της αγοράς με οριακή αύξηση των πωλήσεων για το 2013 (13,95 εκατομμύρια) και υπέρβαση των 15 εκατομμυρίων οχημάτων το 2015.

Το 2011 πωλήθηκαν 2,15 εκατομμύρια εισαγόμενα οχήματα στη δυτική Ευρώπη, περίπου 850 χιλιάδες λιγότερα από το 2010. Αντίστοιχα, το 2012 εκτιμάται συνέχιση της πτώσης των πωλήσεων εισαγόμενων αυτοκινήτων κατά 5,2% στα 2,04 εκατομμύρια αυτοκίνητα. Όπως και με τις συνολικές πωλήσεις σταδιακή ανάκαμψη αναμένεται από το 2013. Ενδεικτικά, το 2015 οι πωλήσεις των εισαγόμενων οχημάτων θα είναι ίσες με 2,2 εκατομμύρια.

Παρά την ύφεση, η δυτική Ευρώπη παρέμεινε και το 2011 ο τρίτος μεγαλύτερος εξαγωγέας αυτοκινήτων μετά την Ιαπωνία και Νότιο Κορέα, διατηρώντας μεγάλο προβάδισμα από την τέταρτη Αμερική. Παρά δε την πτώση των πωλήσεων, οι εξαγωγές οχημάτων αυξήθηκαν κατά 15%, από 1,65 εκατομμύρια το 2010 σε 1,9 εκατομμύρια το 2011. Για το 2012, δεν προβλέπεται καμία άνοδος στις εξαγωγές, ενώ αύξησή τους αναμένεται και πάλι από το 2013, κατά το οποίο θα φθάσουν τα 2 εκατομμύρια ενώ το 215 θα αγγίξουν τα 2,2 εκατομμύρια.

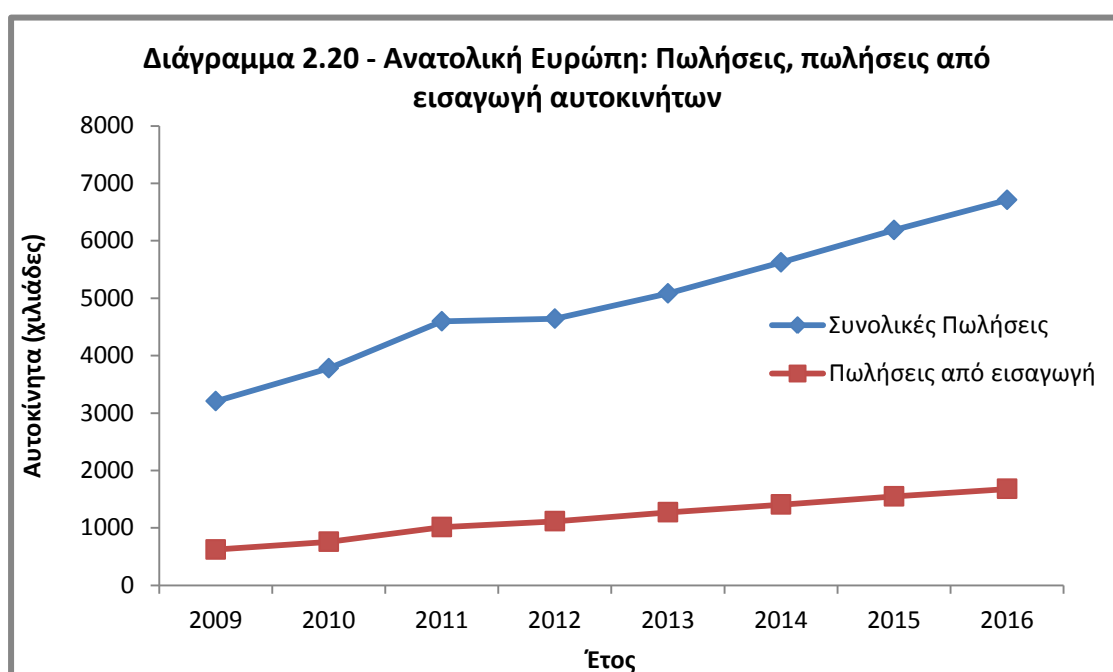


Ανατολική Ευρώπη

Οι πωλήσεις αυτοκινήτων στην Ανατολική Ευρώπη έχουν αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, γεγονός που οφείλεται στην οικονομική ανάπτυξη της Ρωσίας και των υπόλοιπων κρατών της πρώην Σοβιετικής Ένωσης. Έτσι, το 2011 πωλήθηκαν συνολικά σχεδόν 4,6 εκατομμύρια οχήματα, 21,6% περισσότερα από το 2010 κατά το οποίο σημειώθηκαν 3,78 εκατομμύρια πωλήσεις. Το 2012, θα πωληθούν 4,64 εκατομμύρια αυτοκίνητα και το 2013 περισσότερα από 5 εκατομμύρια σύμφωνα με τις προβλέψεις.

Ένα μεγάλο μέρος των πωλήσεων αυτοκινήτων στην ανατολική Ευρώπη προέρχεται από εισαγόμενα αυτοκίνητα. Το 2011, για παράδειγμα, καταγράφηκαν 1,01 εκατομμύρια πωλήσεις εισαγόμενων αυτοκινήτων αριθμός που αντιστοιχεί στο 22% περίπου των συνολικών πωλήσεων. Αντίστοιχα, το 2012 θα πραγματοποιηθούν 1,11 εκατομμύρια πωλήσεις εισαγόμενων αυτοκινήτων και μέχρι το 2015 θα πωλούνται ετησίως πάνω από 1,5 εκατομμύρια εισαγόμενα αυτοκίνητα.

Οι εξαγωγές των κρατών της Ανατολικής Ευρώπης είναι αμελητέες, καθώς η πλειοψηφία των αυτοκινήτων που παρασκευάζονται εκεί προορίζονται για εσωτερική κατανάλωση.



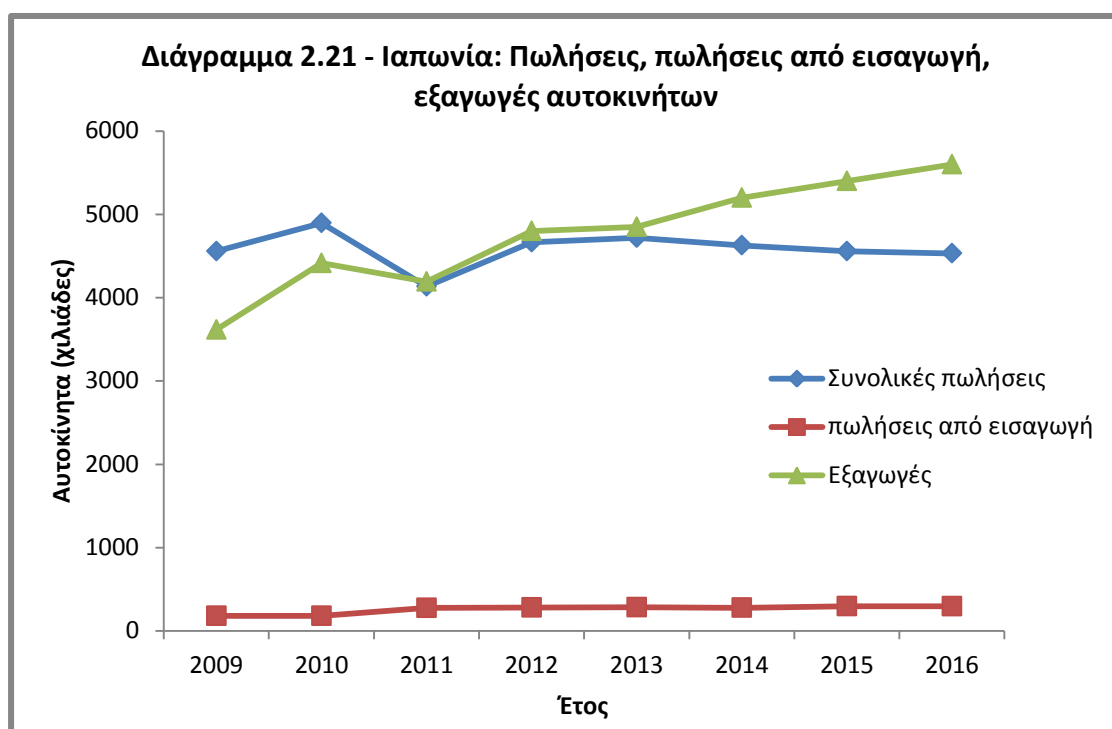
Ιαπωνία

Στην Ιαπωνία πωλήθηκαν 4,13 εκατομμύρια αυτοκίνητα το 2011, παρουσιάζοντας μεγάλη πτώση της τάξης του 15,5% σε σχέση με το 2010 κατά το οποίο πραγματοποιήθηκαν συνολικά 4,9 εκατομμύρια πωλήσεις. Είναι εύκολα κατανοητό πως η μείωση των πωλήσεων οφείλεται κυρίως στο υποθαλάσσιο σεισμό που έπληξε την Ιαπωνία το Μάρτιο του 2011 προκαλώντας ανεπανόρθωτες υλικές και οικονομικές καταστροφές στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και στις περιουσίες των καταναλωτών. Για το 2012, υπολογίζεται πως θα ολοκληρωθούν συνολικά 4,66 εκατομμύρια πωλήσεις οχημάτων, αριθμός που ισοδυναμεί με ποσοστιαία ανάκαμψη ίση με 12,8%. Το 2013 οι προβλέψεις θέλουν τις πωλήσεις να αυξάνονται στα 4,72 εκατομμύρια αυτοκίνητα και από το 2014 και έπειτα να επέλθουν εκ νέου σε πτώση.

Οι πωλήσεις εισαγόμενων αυτοκινήτων στην Ιαπωνία ιστορικά είναι αρκετά περιορισμένες, αφού λόγω της τεράστιας εγχώριας παραγωγής οχημάτων, δεν αποτελούν δελεαστικές επιλογές για τους καταναλωτές. Αξιοσημείωτο, βέβαια, αποτελεί το γεγονός πως ενώ μέχρι και το 2010, τα εισαγόμενα αυτοκίνητα αντιστοιχούσαν μόλις σε 180 χιλιάδες πωλήσεις, το 2011 καταγράφηκαν 275 χιλιάδες πωλήσεις ή ποσοστιαία εκφραζόμενοι, σημείωσαν δραματική αύξηση ίση με 52,8%. Μάλιστα, ο αριθμός αυτός θα διατηρηθεί σε αυτά τα επίπεδα για αρκετά χρόνια, ενώ κατά το 2012 θα πραγματοποιηθούν 280 χιλιάδες τέτοιες πωλήσεις. Το 2015 οι πωλήσεις εισαγόμενων αυτοκινήτων θα αγγίξουν τις 300 χιλιάδες.

Είναι γνωστό, πως η Ιαπωνία αποτελεί με τεράστια διαφορά την μεγαλύτερη εξαγωγική δύναμη της παγκόσμιας αυτοκινητοβιομηχανίας. Για λόγους που αναφέρθηκαν και παραπάνω, οι εξαγωγές αυτοκινήτων το 2011 παρουσίασαν μια μικρή αλλά αισθητή πτώση της τάξης το 5% σε σύγκριση με το 2010 (από 4,42 εκατομμύρια το 2010 μειώθηκαν στα 4,19 εκατομμύρια αυτοκίνητα το 2011). Το 2012 προβλέπεται πως από την Ιαπωνία θα εξαχθούν 4,8 εκατομμύρια αυτοκίνητα, δηλαδή 14,5% περισσότερα από το 2011. Η αύξηση των εξαγωγών θα συνεχισθεί

και τα επόμενα χρόνια, ενώ ενδεικτικά το 2015 θα φθάσουν τα 5,4 εκατομμύρια οχήματα.



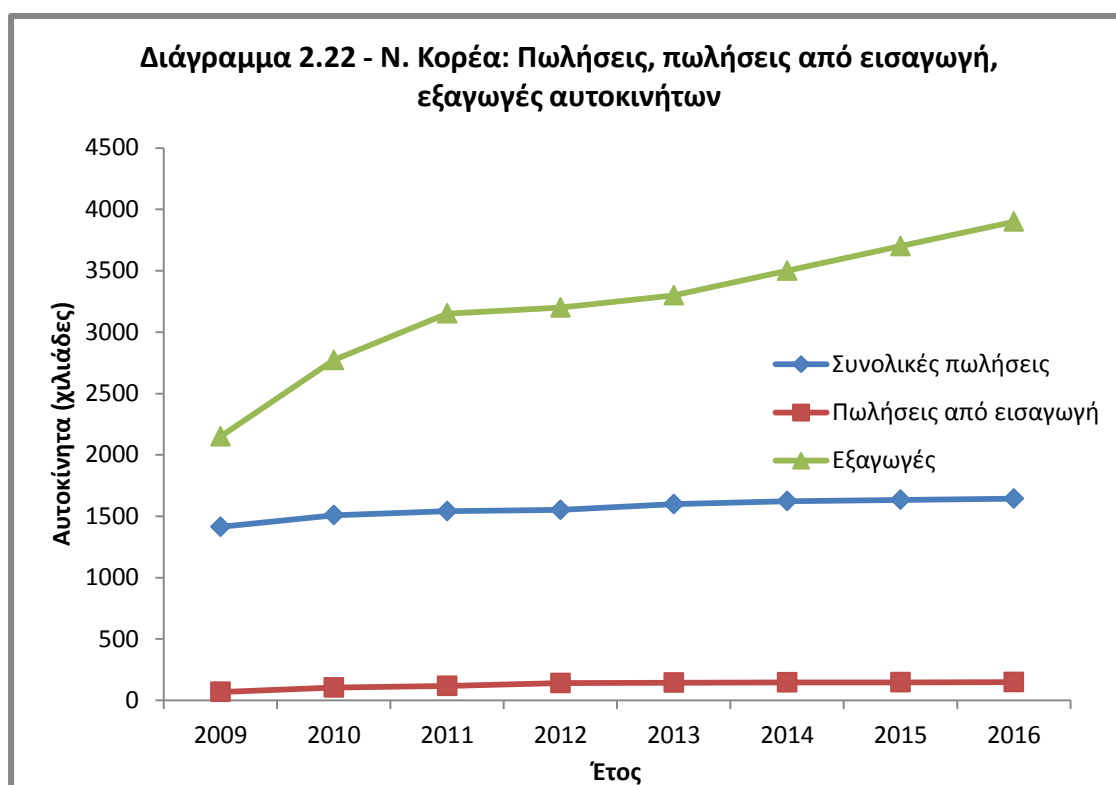
Νότιος Κορέα

Μπορεί πληθυσμιακά να θεωρείται ένα μικρό κράτος, όμως λόγω της σημαντικής βιομηχανίας της, η Νότιος Κορέα κατέχει εξέχοντα ρόλο στην παγκόσμια αγορά αυτοκινήτων. Το 2011 καταγράφηκαν 1,54 εκατομμύρια συνολικές πωλήσεις αυτοκινήτων, ελαφρώς περισσότερες από το 2010 (1,51 εκατομμύρια). Για το 2012, προβλέπονται να πωληθούν συνολικά 1,55 εκατομμύρια αυτοκίνητα, που ισοδυναμεί με μια ανεπαίσθητη αύξηση της τάξης του 0,6%. Μέχρι το 2014, οι πωλήσεις θα έχουν ξεπεράσει τα 1,6 εκατομμύρια οχήματα.

Όπως συμβαίνει και στην Ιαπωνία, έτσι και στη Νότιο Κορέα, οι πωλήσεις εισαγόμενων αυτοκινήτων αναλογούν σε ένα πολύ μικρό ποσοστό των αντίστοιχων συνολικών, αλλά τα τελευταία χρόνια παρουσιάζουν αυξητική τάση. Έτσι, ενώ το 2009 πωλήθηκαν μόλις 69 χιλιάδες αυτοκίνητα εισαγωγής, ο αριθμός αυτός ανήλθε στα 104 χιλιάδες το 2010 και στα 117 χιλιάδες το 2011, διαγράφοντας διαδοχικές

ποσοστιαίες αυξήσεις της τάξης του 50,7% και 12,5%. Το 2012 και το 2013 θα πωληθούν αντίστοιχα 140 και 144 χιλιάδες εισαγόμενα αυτοκίνητα.

Όσον αφορά τις εξαγωγές αυτοκινήτων, σε αντίθεση με την Ιαπωνία, η Νότιος Κορέα σημείωσε το 2011 για δεύτερη συνεχόμενη χρονιά σημαντική αύξηση των εξαγωγών. Συγκεκριμένα, από τη δεύτερη μεγαλύτερη δύναμη σε αυτό το τομέα, εξήχθησαν 3,15 εκατομμύρια αυτοκίνητα το 2011, 13,7% περισσότερες από το 2010 (2,77 εκατομμύρια) και πάνω από ένα εκατομμύριο περισσότερες από το 2009. Το 2012 θα κυμανθούν στα ίδια επίπεδα με το 2011, καθώς αναμένεται να εξαχθούν 3,2 εκατομμύρια αυτοκίνητα ενώ το 2014 θα ξεπεράσουν τα 3,5 εκατομμύρια.



Κίνα

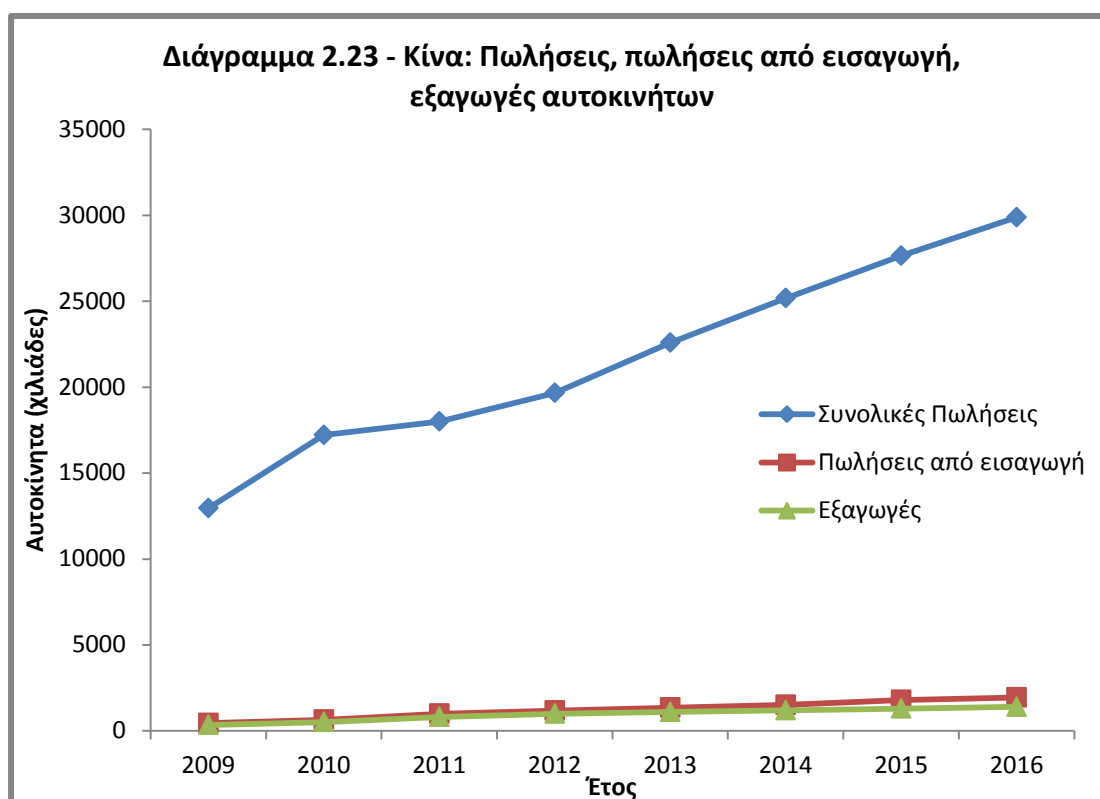
Τα τελευταία χρόνια, η Κίνα έχει εξελιχθεί σε έναν από τους πιο κρίσιμους παίκτες της αυτοκινητοβιομηχανίας. Οι πωλήσεις αυτοκινήτων στην Κίνα αυξάνονται ετησίως με ταχύτετους ρυθμούς, ενώ από το 2010 και έπειτα κατέχει την πρώτη θέση σε αυτό το τομέα ξεπερνώντας τόσο την Αμερική όσο και την Ευρωπαϊκή Ένωση στο σύνολο της. Μάλιστα, στο άμεσο μέλλον η διαφορά της από τα άλλα

κράτη θα διογκωθεί ακόμα περισσότερο. Πιο συγκεκριμένα, το 2011 πωλήθηκαν στην Κίνα 18 εκατομμύρια αυτοκίνητα, 4,5% περισσότερα σε σχέση το 2010 (17,21 εκατομμύρια) και πάνω από 5 εκατομμύρια περισσότερα από το 2009. Το 2012 αναμένεται να πωληθούν 19,67 εκατομμύρια οχήματα, δηλαδή 9,2% περισσότερα από το 2011. Πρέπει επίσης να τονισθεί πως το 2013, οι συνολικές πωλήσεις θα έχουν ξεπεράσει κατά πολύ τα 20 εκατομμύρια (22,59 εκατομμύρια), το 2014 θα φθάσουν τα 25,18 εκατομμύρια ενώ μέχρι το 2016 οι ετήσιες πωλήσεις θα έχουν αγγίξει τα 30 εκατομμύρια. Το φαινόμενο αυτό ερμηνεύεται εύκολα αν αναλογισθεί κανείς τη τάξη μεγέθους του Κινέζικου πληθυσμού (άνω του ενός δισεκατομμυρίου) και το γεγονός πως το αυτοκίνητο αποτελεί ένα καταναλωτικό αγαθό που μέχρι πολύ προσφάτως δεν ήταν προσβάσιμο στο μεγαλύτερο μέρος των πολιτών.

Οι πωλήσεις των εισαγόμενων στην Κίνα αυτοκινήτων καταλάμβαναν ένα αμελητέο ποσοστό επί των αντίστοιχων συνολικών μέχρι πολύ προσφάτως. Αν όμως παρατηρήσει κανείς, πως οι πωλήσεις εισαγόμενων οχημάτων το 2009 ήταν μόλις 450 χιλιάδες ενώ το 2011 είχαν ανέλθει στο ένα εκατομμύριο, σημειώνοντας μάλιστα αύξηση 53,8% σε σχέση με το 2010, μπορεί εύκολα να κατανοήσει πως το φαινόμενο αυτό έχει πάψει να ισχύει. Το 2012 πιστεύεται πως θα πωληθούν 1,18 εκατομμύρια εισαγόμενα αυτοκίνητα (18% περισσότερα από το 2011) ενώ μέχρι το 2016 θα πωλούνται ετησίως παραπάνω από 2 εκατομμύρια. Η τάση αυτή εξηγείται από την πρόσφατη εμφάνιση αλλά και εκτίναξη της αστικής και ανώτερης τάξης στην Κίνα που προτιμάει να αγοράζει αυτοκίνητα πολυτελείας και υψηλών προδιαγραφών, η πλειοψηφία των οποίων δε παρασκευάζεται ακόμα στην Κίνα.

Η Κίνα υστερεί αρκετά στο τομέα των εξαγωγών καθώς η πλειοψηφία των οχημάτων που παρασκευάζονται είναι ακόμα σχετικά χαμηλών προδιαγραφών και προορίζονται για εσωτερική κατανάλωση. Με την αύξηση της εμπειρίας, της τεχνογνωσίας και της εξειδίκευσης, σύντομα θα αρχίσουν να παρασκευάζονται ποιοτικότερα αυτοκίνητα και θα εξαγονται σημαντικές ποσότητες των τελευταίων στο εξωτερικό. Αναλυτικότερα, το 2011 εξήχθησαν 814 χιλιάδες αυτοκίνητα, σχεδόν 300 χιλιάδες περισσότερα από το 2011. Το 2012, οι εξαγωγές θα ξεπεράσουν για πρώτη φορά το ένα εκατομμύριο αυτοκίνητα ενώ από το 2013 και έπειτα αναμένεται ετήσια ποσοστιαία αύξηση των εξαγωγών που θα κυμαίνεται από 7%

έως 10%. Ενδεικτικά, οι εξαγωγές το 2015 πιστεύεται πως θα φθάσουν τα 1,3 εκατομμύρια αυτοκίνητα.

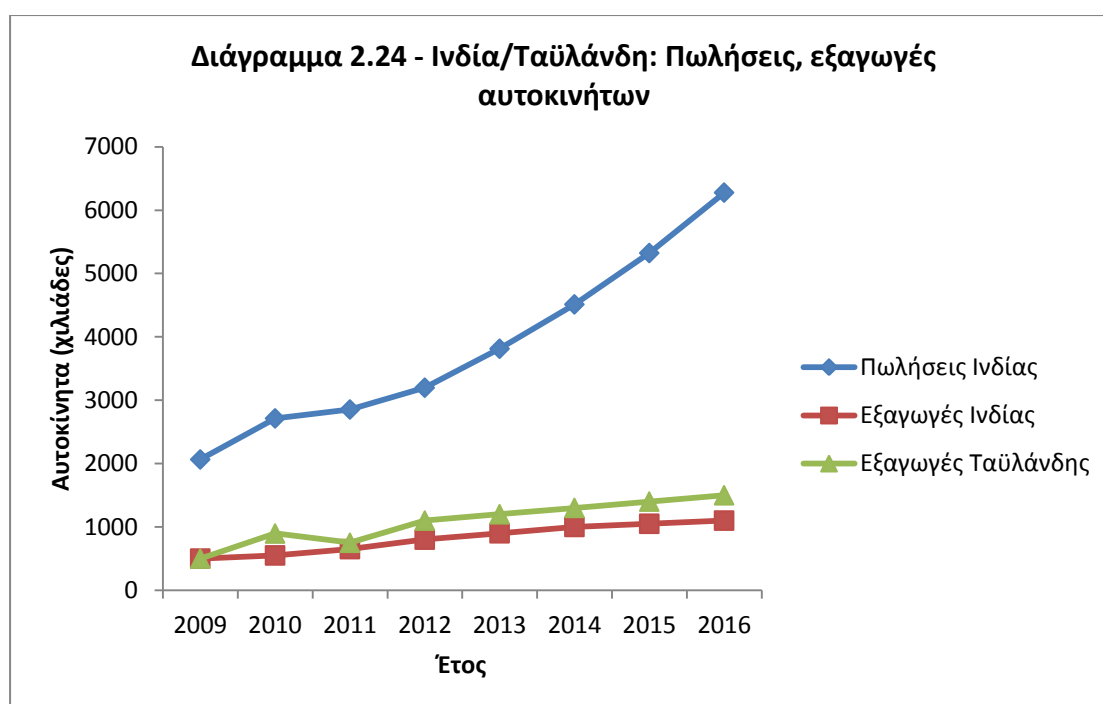


Ινδία και Ταϊλάνδη

Η Ινδία αποτελεί μετά την Κίνα, την πιο σημαντική ταχέως αναπτυσσόμενη οικονομία της αυτοκινητοβιομηχανίας, αφού εκτός από υψηλή παραγωγή σημειώνει και μεγάλο όγκο πωλήσεων. Το 2011 πωλήθηκαν συνολικά 2,85 εκατομμύρια αυτοκίνητα, 5,2% περισσότερα από το 2010 ενώ το 2012 θα πωληθούν περίπου 3,2 εκατομμύρια αυτοκίνητα. Οι πωλήσεις θα συνεχίσουν να αυξάνονται τουλάχιστον μέχρι και το 2016 με γοργούς ρυθμούς, ενώ το 2015 θα ξεπεράσουν τα 5 εκατομμύρια (5,32 εκατομμύρια).

Το 2011 εξήχθησαν από την Ινδία 650 χιλιάδες οχήματα, 100 χιλιάδες περισσότερα σε σχέση με το 2010, ενώ το 2012 θα φθάσουν τις 800 χιλιάδες. Οι εξαγωγές θα συνεχίσουν να αυξάνονται και το 2014 θα ξεπεράσουν για πρώτη φορά το 1 εκατομμύριο αυτοκίνητα.

Αναφορικά με την Ταϊλάνδη, μπορεί οι εγχώριες πωλήσεις αυτοκινήτων να είναι ελάχιστες σε σχέση με την παραγωγική της ισχύ, όμως δε παύει να αποτελεί μια υπολογίσιμη εξαγωγική δύναμη της αυτοκινητοβιομηχανίας. Το 2011 εξήχθησαν 750 χιλιάδες αυτοκίνητα από την Ταϊλάνδη, μειωμένα κατά 16,3% από το 2010. Οι εξαγωγές της όμως θα ανακάμψουν ήδη από το 2012 καθώς θα ξεπεράσουν το 1,1 εκατομμύριο (αύξηση 46,7%) ενώ μέχρι το 2016 θα αγγίξουν το 1,5 εκατομμύριο αυτοκίνητα.



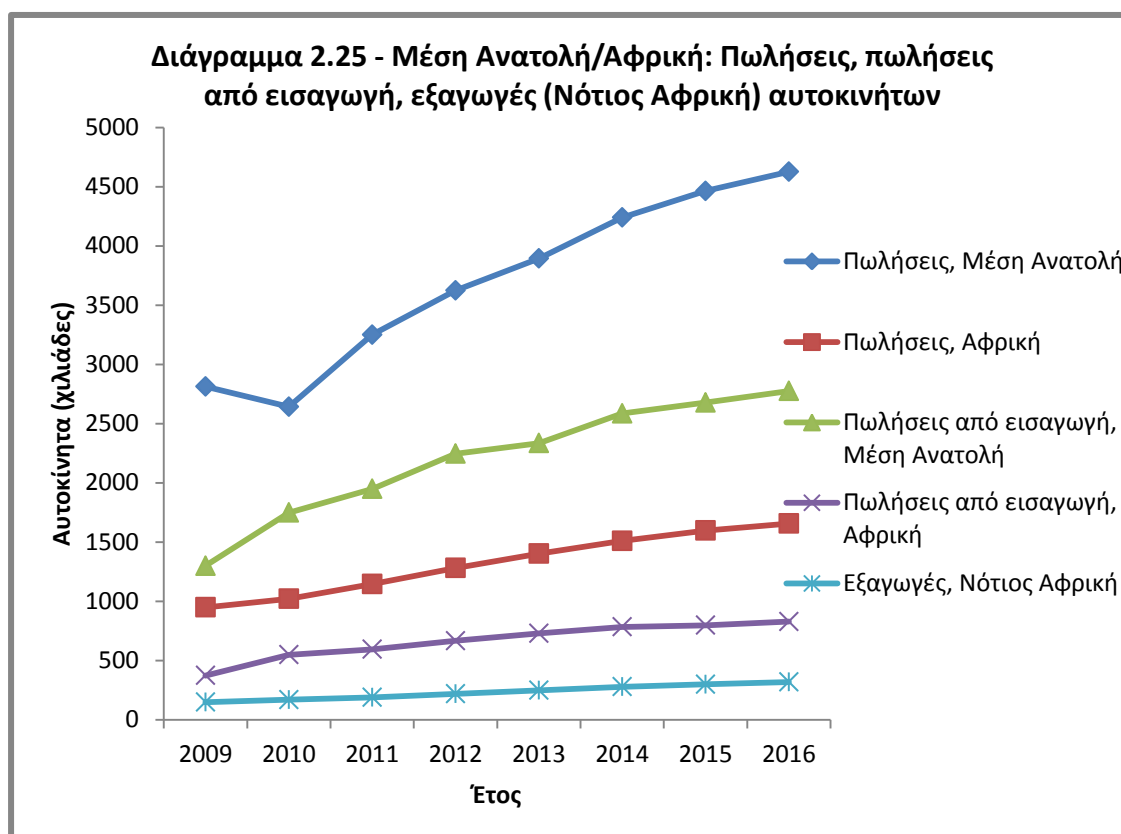
Αφρική και Μέση Ανατολή

Η Μέση Ανατολή αποτελεί μια γεωγραφική περιοχή στην οποία οι πωλήσεις των αυτοκινήτων κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα παρά το γεγονός ότι η εγχώρια παραγωγή τους είναι αρκετά περιορισμένη έως και ουσιαστικά ανύπαρκτη. Το 2011 πωλήθηκαν συνολικά 3,25 εκατομμύρια αυτοκίνητα στα δυτικά κράτη της Ασίας, σημειώνοντας αύξηση 23% σε σχέση με το 2010 (2,64 εκατομμύρια). Μέσα στο 2012 θα πωληθούν 3,62 εκατομμύρια αυτοκίνητα, δηλαδή 11,4% περισσότερα από το 2011. Η αυξητική τάση των ετήσιων πωλήσεων θα συνεχιστεί, οι οποίες μέχρι το 2014 θα έχουν ξεπεράσει τα 4 εκατομμύρια. Στην Αφρικανική ήπειρο, πάλι, το 2011 καταγράφηκαν 1,14 εκατομμύρια πωλήσεις, αυξημένες κατά 12,1% σε σχέση με το

2010 ενώ για το 2012 υπολογίζονται στα 1,28 εκατομμύρια. Οι ετήσιες πωλήσεις αυτοκινήτων στην Αφρική θα ξεπεράσουν το 1,5 εκατομμύριο μέχρι το 2014.

Ένα μεγάλο μέρος των συνολικών πωλήσεων αυτοκινήτων τόσο στην Αφρική όσο και στη Μέση Ανατολή προέρχονται από εισαγόμενα αυτοκίνητα. Το 2011 πωλήθηκαν 1,95 εκατομμύρια εισαγόμενα αυτοκίνητα στη Δυτική Ασία και 596 χιλιάδες στην Αφρική, αριθμοί που αναλογούν ποσοστιαία στο 53,9% και στο 52,3% των συνολικών πωλήσεων αντίστοιχα. Το 2012 αναμένεται να πωληθούν 2,25 εκατομμύρια εισαγόμενα αυτοκίνητα στη Μέση Ανατολή και 667 χιλιάδες στην Αφρική ενώ προβλέπεται αύξησή τους και στις δύο περιοχές για τα επόμενα χρόνια. Ενδεικτικά αναφέρεται πως το 2015, προβλέπονται 2,68 εκατομμύρια πωλήσεις για τη Μέση Ανατολή και σχεδόν 800 χιλιάδες για την Αφρική.

Η μοναδική χώρα εντός της περιγραφείσας γεωγραφικής ζώνης που παρουσιάζει κάποιο ενδιαφέρον ως προς τις εξαγωγές της είναι η Νότιος Αφρική, από την οποία το 2011 εξήχθησαν 190 χιλιάδες οχήματα, 20 χιλιάδες περισσότερα από το 2010. Το 2012 οι εξαγωγές αυτοκινήτων της Νοτίου Αφρικής θα είναι ίσες τις 220 χιλιάδες και το 2013 πιστεύεται πως θα φθάσουν τα 250 χιλιάδες αυτοκίνητα.

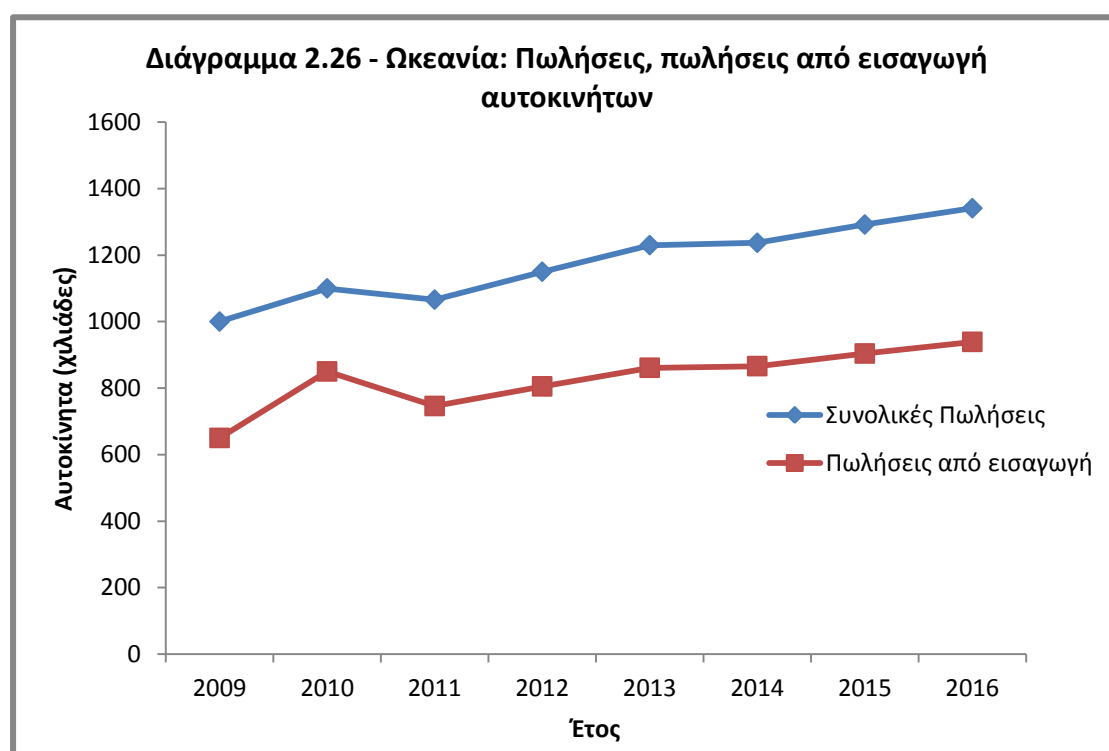


Ωκεανία

Το 2011 πωλήθηκαν 1,07 εκατομμύρια αυτοκίνητα στην Ωκεανία, μόλις 34 χιλιάδες λιγότερα από το 2010, ενώ για το 2012 προβλέπεται να παρουσιαστεί ετήσια ποσοστιαία αύξηση των πωλήσεων της τάξης του 7,9%, φθάνοντας τα 1,15 εκατομμύρια αυτοκίνητα. Οι τελευταίες θα συνεχίσουν να αυξάνονται και τα επόμενα έτη με ρυθμούς που θα κυμαίνονται από 0,5% έως και σχεδόν 7%.

Το μεγαλύτερο μέρος των πωλήσεων αυτοκινήτων στην Ωκεανία προέρχεται από πώληση εισαγόμενων αυτοκινήτων. Το 2011, για παράδειγμα, το 69,7% των συνολικών πωλήσεων προερχόταν από αυτοκίνητα εισαγωγής, καθώς καταγράφηκαν 746 χιλιάδες τέτοιες πωλήσεις. Το 2012 θα σημειωθούν λίγο περισσότερες από 800 χιλιάδες πωλήσεις εισαγόμενων αυτοκινήτων ενώ ο αριθμός αυτός θα αυξάνεται και για τα επόμενα χρόνια σύμφωνα με τις προβλέψεις.

Οι ελάχιστες εξαγωγές αυτοκινήτων της Ωκεανίας προέρχονται σχεδόν αποκλειστικά από την Αυστραλία, από την οποία το 2011 εξήχθησαν 140 χιλιάδες οχήματα, 20 χιλιάδες περισσότερα από το 2010. Για το 2012 οι εξαγωγές θα φθάσουν τις 160 χιλιάδες, παρουσιάζοντας ετήσια αύξηση 14,3%. Το 2015, για πρώτη φορά οι εξαγωγές της Αυστραλίας θα αγγίξουν τις 200 χιλιάδες.



ΠΙΝΑΚΑΣ 2.8 - ΠΩΛΗΣΕΙΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ

	Χιλιάδες Αυτοκίνητα							
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Βόρειος Αμερική	12616	13930	15182	16368	18010	18993	19330	19577
Κεντρική/Νότιος Αμερική	4043	4739	5114	5159	5722	6425	7107	7654
Δυτική Ευρώπη	14989	14430	14342	13595	13948	14656	15311	15959
Ανατολική Ευρώπη	3205	3778	4595	4641	5081	5621	6185	6710
Ιαπωνία	4557	4896	4134	4664	4718	4628	4557	4532
Νότιος Κορέα	1413	1509	1541	1551	1598	1623	1634	1643
Κίνα	12960	17215	18004	19667	22587	25180	27644	29880
Ινδία	2065	2713	2854	3198	3813	4513	5324	6278
Ωκεανία	1000	1100	1066	1150	1230	1237	1292	1341
Μέση Ανατολή	2813	2642	3250	3624	3894	4240	4463	4626
Αφρική	950	1022	1146	1282	1403	1510	1598	1657
Υπόλοιπες περιοχές	3285	4389	4086	4176	4493	4589	4750	4895
Σύνολο	63897	72364	75314	79075	86497	93215	99195	104752

Πηγή: LMC-Automotive

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.9 - ΠΩΛΗΣΕΙΣ ΕΙΣΑΓΩΜΕΝΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ

	Χιλιάδες αυτοκίνητα							
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Βόρειος Αμερική	3450	3500	3663	3928	4322	4558	4639	4698
Κεντρική/Νότιος Αμερική	1250	1400	1534	1599	1774	1992	2203	2373
Δυτική Ευρώπη	2150	2200	2151	2039	2092	2198	2297	2394
Ανατολική Ευρώπη	620	756	1011	1114	1270	1405	1546	1678
Ιαπωνία	180	180	275	280	283	278	296	295
Νότιος Κορέα	69	104	117	140	144	146	147	148
Κίνα	450	650	1000	1180	1355	1511	1797	1942
Ωκεανία	650	850	746	805	861	866	904	939
Μέση Ανατολή	1300	1750	1950	2247	2336	2586	2678	2776
Αφρική	375	550	596	667	730	785	799	829
Υπόλοιπες περιοχές	675	600	550	752	629	642	617	685
Σύνολο	11169	12540	13594	14750	15797	16968	17924	18755

Πηγές: Automotive News/GCC Estimates/Various

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.10 - ΕΞΑΓΩΓΕΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ

	Χιλιάδες αυτοκίνητα							
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Βόρειος Αμερική	800	850	1000	950	1050	1150	1250	1350
Κεντρική/Νότιος Αμερική	300	400	450	500	550	600	650	700
Δυτική Ευρώπη	1300	1650	1900	1900	2000	2100	2200	2300
Αυστραλία	100	120	140	160	180	190	200	210
Ιαπωνία	3616	4415	4193	4800	4850	5200	5400	5600
Νότιος Κορέα	2150	2772	3152	3200	3300	3500	3700	3900
Κίνα	350	520	814	1000	1100	1200	1300	1400
Ινδία	500	550	650	800	900	1000	1050	1100
Ταϊλάνδη	500	896	750	1100	1200	1300	1400	1500
Νότιος Αφρική	150	170	190	220	250	280	300	320
Υπόλοιποι	200	200	300	200	350	400	400	400
Σύνολο	9966	12543	13539	14830	15730	16920	17850	18780

Πηγές: JAMA/KAMA/Other official statistics/GCC estimates

2.10 Ζήτηση για Car Carriers, Μεταφορά αυτοκινήτων δια θαλάσσης

Η ζήτηση για μεταφορά οχημάτων δια θαλάσσης από τα PCCs βασίζεται γενικά στην οικονομική ανάπτυξη και στην αύξηση των καταναλωτικών εξόδων και εξαρτάται άμεσα από τη θέση του εργοστασίου παραγωγής των αυτοκινήτων σε σχέση με τις περιοχές που τα τελευταία αγοράζονται. Η ζήτηση για μεταφορά εξειδικευμένων οχημάτων εμπορικής χρήσης επηρεάζεται από ξεχωριστούς παράγοντες, όπως για παράδειγμα η άνθηση στον κατασκευαστικό κλάδο και των δημοσίων έργων και η αγροτική ανάπτυξη.

Τα οχήματα εμπορικής χρήσης, τα οποία συνήθως αναφέρονται και ως “high and heavy cargo” γενικά διακινούνται με ποντοπόρα PCCs από την Βόρειο Αμερική ή την Ευρώπη προς την Ασία. Με το ακριβώς αντίθετο ταξίδι γίνεται η μεταφορά των αυτοκινήτων που κατασκευάζονται στις δύο μεγάλες εξαγωγικές χώρες, την Ιαπωνία και τη Νότιο Κορέα. Έτσι, καθίσταται σαφές πως η εμπορική διαδρομή με το μεγαλύτερο όγκο μεταφοράς οχημάτων ετησίως είναι αυτή που συνδέει την Ιαπωνία, που είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας παγκοσμίως, με την Βόρειο Αμερική και την Ευρώπη. Βέβαια, η ραγδαία αύξηση της παραγωγής αυτοκινήτων σε αναπτυσσόμενες οικονομίες όπως είναι η Κίνα, η Ινδία και η Βραζιλία και η Ρωσία έχει δημιουργήσει μια σειρά από εξίσου σημαντικές εμπορικές διαδρομές. Βέβαια, ειδικά αναφερόμενοι στην Κίνα και την Ινδία, το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγωγής των αυτοκινήτων τους προορίζεται για εσωτερική κατανάλωση στην εγχώρια αγορά και έτσι μέχρι στιγμής τουλάχιστον οι εξαγωγές των αυτοκινήτων τους και κατ’ επέκταση της μεταφοράς τους δια θαλάσσης είναι σχετικά περιορισμένες.

Σύμφωνα με στοιχεία των Henses Shipping, LMC-Automotives και GCC estimates, το 2011 μεταφέρθηκαν δια θαλάσσης περίπου 13,6 εκατομμύρια οχήματα, αριθμός που αντιστοιχεί στο 18% των πωλήσεων παγκοσμίως και σε ποσοστιαία αύξηση της τάξης του 4% σε σχέση με τα αυτοκίνητα που μεταφέρθηκαν το 2010 δια θαλάσσης (12,5 εκατομμύρια). Το 2009, μια από τις χειρότερες χρονιές για την αγορά των Car Carriers, μεταφέρθηκαν μόλις 10 εκατομμύρια αυτοκίνητα (15,7% των συνολικών

πωλήσεων) σημειώνοντας κάθετη πτώση σε σχέση με το 2008 της τάξης του 30%. Για το 2012 υπολογίζεται πως θα διακινηθούν με ποντοπόρα πλοία περίπου 14,8 εκατομμύρια αυτοκίνητα, νούμερο που ισοδυναμεί με το 18,7% των συνολικών πωλήσεων και με ποσοστιαία αύξηση ίση με 10% σε σχέση με το 2011. Από το 2013 έως και τουλάχιστον το 2016 προβλέπεται πως θα αυξάνεται με ρυθμούς της τάξης του 4% έως 7% ο όγκος των διακινούμενων δια θαλάσσης αυτοκινήτων, από 15,8 εκατομμύρια το 2013 στα 18,8 εκατομμύρια αυτοκίνητα το 2016. Βέβαια, αν οι αριθμοί αυτοί εκφραστούν ως ποσοστά των παγκόσμιων πωλήσεων, θα παρατηρήσει κανείς πως εμφανίζουν καθοδική πορεία. Το 2013, θα αντιστοιχούν στο 18,3% των συνολικών πωλήσεων, 0,4% λιγότερο από το 2012, ενώ από το 2014 έως και το 2016 θα συνεχίσουν την καθοδική τάση κατά μόλις 0,1% με 0,2% ετησίως και έτσι το 2016 θα αντιστοιχούν στο 17,9% των συνολικών πωλήσεων.

Οι παραπάνω μετρήσεις και προβλέψεις αναφέρονται στη θαλάσσια μεταφορά καινούριων αυτοκινήτων και βασικών κατηγοριών οχημάτων εμπορικής χρήσης. Στις παραπάνω κατηγορίες, λοιπόν, επιδιώκοντας να έχουμε μια ακριβέστερη εικόνα της ζήτησης των Pure Car Carriers, πρέπει να συναθροιστεί και η ζήτηση για μεταφορά δια θαλάσσης μεταχειρισμένων αυτοκινήτων και εξειδικευμένων τύπων οχημάτων high and heavy. Έτσι, το 2011 διακινήθηκαν συνολικά 16,7 εκατομμύρια παντός τύπου οχήματα, καινούρια ή μεταχειρισμένα, 700 χιλιάδες περισσότερα από το 2010 και σχεδόν 4 εκατομμύρια παραπάνω από το 2009. Αντίστοιχα, το 2012 ο αριθμός αυτός αναμένεται να ανέλθει στα 18,4 εκατομμύρια καθώς και να συνεχίζει να αυξάνεται με σταθερούς ρυθμούς. Ενδεικτικά το 2014 τα οχήματα που θα μεταφερθούν δια θαλάσσης προσδοκείται να ξεπεράσουν τα 20 εκατομμύρια για πρώτη φορά, και συγκεκριμένα να φθάσουν τα 20,8 εκατομμύρια, ενώ μέχρι το 2015 θα αγγίξουν τα 22 εκατομμύρια.

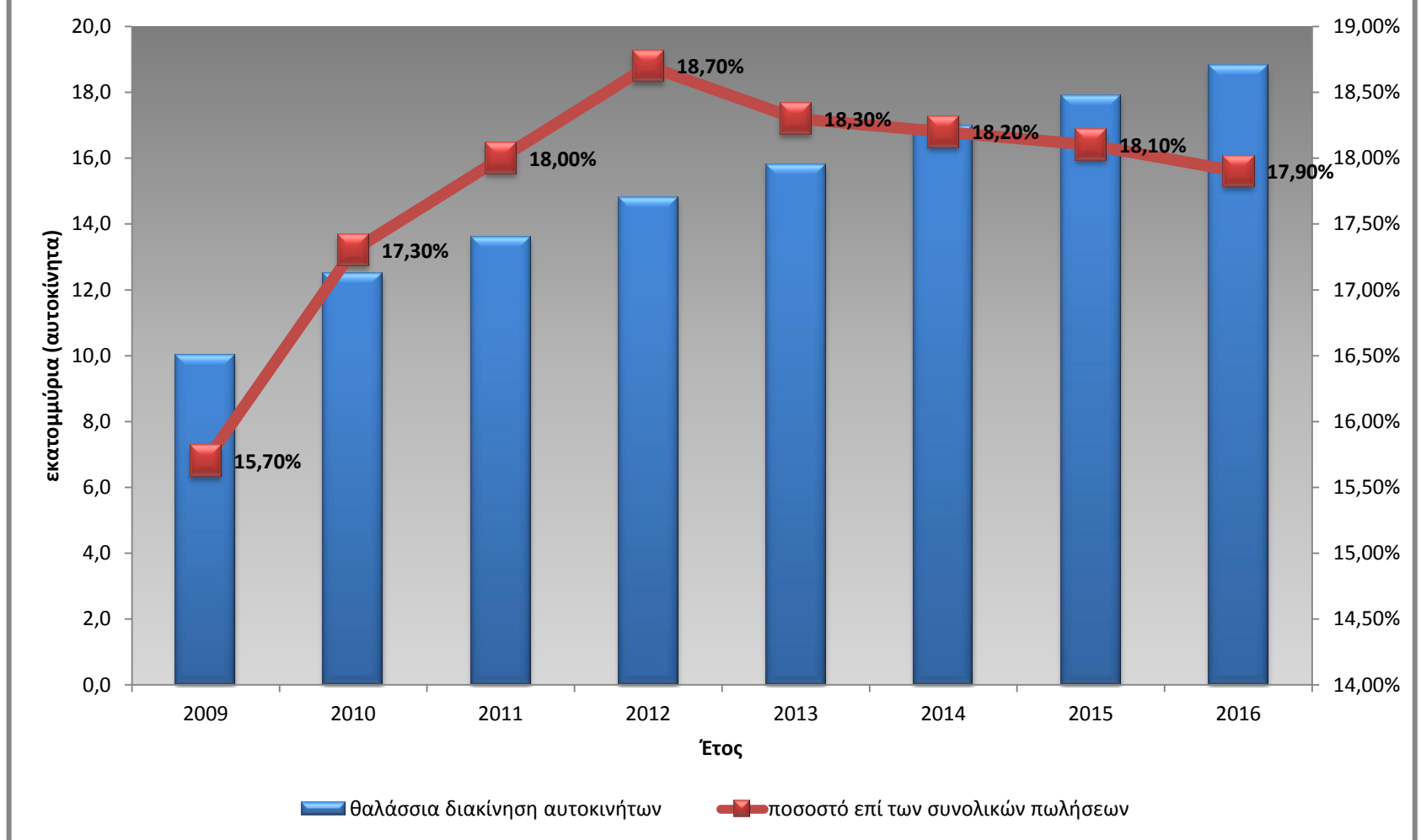
Εξειδικευμένα και αναλυτικότερα στοιχεία σχετικά με τη ζήτηση για θαλάσσια μεταφορά αυτοκινήτων και λοιπών οχημάτων δια θαλάσσης βρίσκονται στον Πίνακα 2.10 και το Διάγραμμα 2.26.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.11 - ΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΑ ΘΑΛΑΣΣΗΣ

	Εκατομμύρια αυτοκίνητα							
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Παγκόσμιες πωλήσεις αυτοκινήτων	63,9	72,4	75,3	79,1	86,5	93,2	99,2	104,8
διακινώμενα δια θαλάσσης αυτοκίνητα	10,0	12,5	13,6	14,8	15,8	17,0	17,9	18,8
ποσοστό επί των συνολικών πωλήσεων	15,7%	17,3%	18,0%	18,7%	18,3%	18,2%	18,1%	17,9%
ποσοστιαία μεταβολή των πωλήσεων	-4%	13%	4%	5%	9%	8%	6%	6%
ποσοστιαία μεταβολή της θαλάσσιας διακίνησης	-30%	19%	4%	10%	6%	7%	5%	4%
μεταχειρισμένα αυτοκίνητα	2,0	2,0	1,8	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
φορτίο High and Heavy	1,5	1,5	1,3	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
Συνολική Ζήτηση για θαλάσσια μεταφορά	13,5	16,0	16,7	18,4	19,5	20,8	21,8	22,8

Πηγές: Hesnes Shipping/LMC-Automotives/GCC estimates

Διάγραμμα 2.27 - Ζήτηση για μεταφορά αυτοκινήτων δια θαλάσσης



2.11 Προσφορά και ζήτηση στην αγορά των Car Carriers

Παρόλο που η αγορά των Car Carriers δεν είναι τόσο διαφανής σε σχέση με άλλες παραδοσιακές αγορές της ποντοπόρου ναυτιλίας, οι παράγοντες που επηρεάζουν την προσφορά και τη ζήτηση είναι τεράστιας σημασίας, καθώς η απόσταση μεταξύ του διατιθέμενου τονάζ και του της ζήτησης για μεταφορά αυτοκινήτων δια θαλάσσης καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τόσο τις τιμές ναύλωσης των PCCs (charter rates) όσο και τις αξίες τους. Η σημασία της συσχέτισης της προσφοράς και της ζήτησης μπορεί να φανεί ιδιαίτερα στην περίπτωση που οι διαχειρίστριες ναυτιλιακές εταιρίες χρειάζονται περισσότερο τονάζ –μεταφορική ικανότητα για να εκπληρώσουν τις υποχρεώσεις τους καταφεύγουν συνήθως στη χρονοναύλωση πλοίων PCC.

Μέχρι και τα μέσα του 2008, λόγω κυρίως του περιορισμένου αριθμού πλοίων τύπου PCC και της ευρύτερης οικονομικής παγκόσμιας ανάπτυξης, οι τιμές των ναύλων έφτασαν σε ιστορικά υψηλά επίπεδα. Με το ξέσπασμα όμως της παγκόσμιας οικονομικής ύφεσης το Σεπτέμβριο του 2008, η κατάρρευση της αυτοκινητοβιομηχανίας περιόρισε σε τεράστιο βαθμό τη ζήτηση για μεταφορά αυτοκινήτων. Οι διαχειρίστριες ναυτιλιακές εταιρίες αναγκάστηκαν όχι μόνο να σταματήσουν να ναυλώνουν πλοία αλλά άρχισαν να «δένουν» και ένα μεγάλο ποσοστό του στόλου. Χαρακτηριστικό είναι πως οι τιμές χρονοναύλωσης για έξι έως 12 μήνες ενός μοντέρνου PCC χωρητικότητας 5.000 έως 6.000 αυτοκινήτων στα τέλη του 2008 και για όλο το 2009 κυμαίνονταν από US\$ 12.000 έως US\$ 14.000 την ημέρα, ενώ το 2007 PCC μικρότερο μεγέθους μπορούσε να ναυλωθεί για περισσότερα από US\$ 40.000 ημερησίως.

Ένας από τους αποτελεσματικότερους τρόπους που οι πλοιοκτήτες προσπάθησαν να αντιμετωπίσουν την μειωμένη ζήτηση ήταν η μείωση της ταχύτητας υπηρεσίας των πλοίων (slow steaming), καθώς δεν υπήρχε πια η ανάγκη για ταχεία μεταφορά των αυτοκινήτων από τους κατασκευαστές τους στους καταναλωτές. Η μείωση στις ταχύτητες υπηρεσίας όχι μόνο βοήθησε στη μείωση των καταναλώσεων πετρελαίου αλλά λειτούργησε σαν ένας μηχανισμός τεχνητής απορρόφησης περισσότερων

πλοίων στην αγορά. Συγκεκριμένα, με την λειτουργία των πλοίων σε χαμηλότερες ταχύτητες από ότι πρωτύτερα, στις ναυλαγορές τύπου «liner» απαιτείται η αξιοποίηση περισσότερων πλοίων ώστε να εκπληρώνονται τα δρομολόγια στην ώρα τους.

Το 2011, θεωρείτο από πολλούς ως η χρονιά κατά την οποία η συγκεκριμένη αγορά θα σημείωνε ανάκαμψη και οι διαχειρίστριες εταιρίες θα επανέρχονταν στην κερδοφορία, γεγονός που αποτράπηκε από το σεισμό που προκλήθηκε στις 11 Μαρτίου 2011 στην Ιαπωνία. Δημιουργήθηκαν τεράστιες ζημιές στις εγκαταστάσεις πολλών αυτοκινητοβιομηχανιών περιορίζοντας έτσι σημαντικά τις εξαγωγικές δυνατότητες της Ιαπωνίας, η οποία όπως έχει τονισθεί επανειλημμένως είναι και ο μεγαλύτερος εξαγωγέας αυτοκινήτων παγκοσμίως. Μέσα στο 2011, η ζήτηση για car carriers επηρεάστηκε αρνητικά από φυσικό φαινόμενο, σε πολύ μικρότερο βαθμό βέβαια, για δεύτερη φορά μέσα σε ένα έτος και συγκεκριμένα από τις πλημμύρες που έπληξαν τον Ιούλιο του 2011 την Ταϊλάνδη. Έτσι, ενώ το 2011 ο όγκος των διακινούμενων οχημάτων ήταν αυξημένος σε σχέση με το 2010, η ποσοστιαία ανάπτυξη ήταν μικρότερη του αναμενόμενου και μη επαρκής για να διαμορφώσει και πάλι μια υγιή αγορά και να φέρει ισορροπία μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης.

Η ουσιαστική ανάκαμψη της αγοράς αναμένεται εντός του 2012 ενώ προβλέπεται και συνέχιση της τάσης αυτής για τα προσεχή χρόνια, καθώς ο νόμος της προσφοράς και της ζήτησης θα είναι και πάλι με το μέρος των πλοιοκτητών. Οι βασικοί λόγοι για τους οποίους προβλέπεται αυτή η ανάκαμψη είναι οι ακόλουθοι:

1. Οι αποσύρσεις υπερήλικων πλοίων PCC κατά τη διετία 2009-2011 ανήλθαν σε ιστορικά υψηλά για την συγκεκριμένη αγορά επίπεδα βοηθώντας έτσι στη μείωση της προσφοράς του διαθέσιμου τονάζ. Ακόμη, νέο κύμα αποσύρσεων αναμένεται εντός της πενταετίας καθώς ήδη ένα αξιοσημείωτο ποσοστό του στόλου είναι άνω των 25 ετών.
2. Ένας σημαντικό ποσοστό των παραγγελιών για ναυπήγηση Pure Car Carriers που έλαβαν χώρα προ κρίσης και θα παραδίδονταν μέσα στη τριετία 2009-2012 δεν κατασκευάστηκαν ποτέ, είτε λόγω αδυναμίας εύρεσης

χρηματοδότησης είτε λόγω μετατροπής του συμβολαίου τους για ναυπήγηση άλλων τύπων πλοίων. Επίσης, ελάχιστα νέα συμβόλαια για ναυπήγηση Car Carriers έχουν σημειωθεί τα τελευταία δύο χρόνια, πράγμα που σημαίνει πως σύντομα ο διαθέσιμος στόλος δεν θα επαρκεί για την κάλυψη όλων των διαθέσιμων φορτίων.

3. Η παγκόσμια αγορά αυτοκινήτων έχει ανακάμψει και αναπτύσσεται και πάλι με σταθερούς ρυθμούς, πράγμα που συνεπάγεται και αύξηση της ζήτησης για μεταφορά αυτοκινήτων δια θαλάσσης. Αυτό οφείλεται στην ολοένα και αυξανόμενη κατανάλωση αυτοκινήτων από τις ταχέως αναπτυσσόμενες χώρες, και κυρίως τα BRICS, αλλά και τη σταδιακή έξοδο από την παγκόσμια ύφεση των οικονομιών του δυτικού κόσμου.

Συνοψίζοντας, η ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση για μεταφορά αυτοκινήτων που αναμένεται να συνεχιστεί για αρκετά ακόμα χρόνια, σε συνδυασμό με την μικρή αύξηση της συνολικής μεταφορικής ικανότητας του παγκόσμιου στόλου μέσα στην επόμενη τριετία, αποδεικνύει πως η συγκεκριμένη αγορά διαθέτει αρκετές προοπτικές για σημαντική ανάκαμψη.

2.12 Το προφίλ των μεγαλύτερων ναυτιλιακών εταιριών στο χώρο των PCCs

Είναι κατανοητό πως η πλειοψηφία του στόλου των Pure Car Carriers βρίσκεται υπό την ιδιοκτησία ενός αρκετά περιορισμένου αριθμού εταιριών ενώ η διαχείριση τους γίνεται σχεδόν αποκλειστικά από ένα ακόμη μικρότερο πλήθος ναυτιλιακών επιχειρήσεων. Ενδεικτικά, επαναλαμβάνεται το γεγονός πως περίπου το 37% του συνολικού τονάζ βρίσκεται υπό την ιδιοκτησία των πέντε μεγαλύτερων ναυτιλιακών εταιριών του χώρου ενώ αντίστοιχα στις είκοσι πρώτες αντιστοιχεί περισσότερο από το 95% του συνόλου του στόλου. Για αυτό, κρίνεται απαραίτητο να πραγματοποιηθεί ακολούθως μια εκτενέστερη παρουσίαση των πλέον καθιερωμένων και αναγνωρισμένων εταιριών που δραστηριοποιούνται στο συγκεκριμένο χώρο.

Nippon Yusen Kaisha (NYK)

Η Nippon Yusen Kaisha (NYK) ιδρύθηκε το 1885 και αποτελεί τη μεγαλύτερη εταιρία στο τομέα των θαλάσσιων μεταφορών της Ιαπωνίας καθώς διαχειρίζεται ένα τεράστιο στόλο περισσότερων από 840 πλοία όλων των κατηγοριών και χωρητικότητων (bulk carriers, containerships, tankers, car carriers, LNG carriers κ.α.). Η εταιρία δραστηριοποιείται στη ναυλαγορά Liner, στη μεταφορά φορτίου χύδιν, στα Logistics, στη κρουαζιέρα και σε διάφορες μεταφορικές υπηρεσίες σε μεγάλα λιμάνια ενώ είναι εισηγμένη στο χρηματιστήριο του Τόκυο.

Η NYK διαχειρίζεται περισσότερα από 120 πλοία τύπου PCC, στοιχείο που τη καθιστά τη μεγαλύτερη διαχειριστική εταιρία παγκοσμίως στο συγκεκριμένο χώρο. Ο βασικός πυρήνας της δραστηριοποίησης του ομίλου αυτού στην αγορά των Car Carriers αφορά τη μεταφορά καινούριων αυτοκινήτων από την Ασία στην Ευρώπη και την Αμερική ενώ έχει επεκταθεί και στη μεταφορά μεταχειρισμένων οχημάτων προς την Ιαπωνία. Μάλιστα, προσφέρει και υπηρεσίες ελέγχου των οχημάτων πριν τη διανομή τους (pre distribution inspection) καθώς και την επισκευή συναρμολογημένων αυτοκινήτων στους τερματικούς σταθμούς. Υπολογίζεται πως μέσω της NYK μεταφέρονται ετησίως περισσότερα από 3 εκατομμύρια αυτοκίνητα.

Πρέπει μάλιστα να σημειωθεί πως από τον όμιλο NYK έχει κατασκευαστεί ένα εύρωστο δίκτυο με υπερσύγχρονες υποδομές με σκοπό τη χερσαία μεταφορά των αυτοκινήτων εντός της Ευρώπης, της Κίνας και άλλων Ασιατικών κρατών και για το λόγο αυτό κατέχει ποσοστά σε κεντρικούς τερματικούς σταθμούς όπως το λιμάνι της Αμβέρσας, η Σαγκάη, το Νταλιάν και η Σιγκαπούρη. Ακόμη έχει λάβει μέρος σε στρατηγικές συμμαχίες με τη COSCO και την Anji Automotive Logistics Co. Ltd. για τη μεταφορά οχημάτων κατασκευασμένων στη Κίνα ενώ είναι συνιδιοκτήτρια με ποσοστό 50% στην μεγαλύτερη εταιρία μεταφορών αυτοκινήτων μικρών αποστάσεων εντός της Ευρώπης, την United European Car Carriers (UECC).

Σύμφωνα με στοιχεία του Φεβρουαρίου 2012, ο όμιλος NYK έχει υπό την ιδιοκτησία του ένα στόλο 73 πλοίων τύπου PCC με συνολική μεταφορική ικανότητα ίση με 405.934 αυτοκίνητα και συνολικό DWT ίσο με 1.351.003 τόνους, αριθμοί που αντιστοιχούν στο 10,2% του συνολικού αριθμού των πλοίων PCC, στο 11,8% της

συνολικής μεταφορικής χωρητικότητας και στο 12,2% του συνολικού τονάζ. Ο μέσος όρος ηλικίας του στόλου είναι ίσος με 8,48 έτη, το μέσο DWT είναι ίσο με 18.506 τόνους ενώ η μέση χωρητικότητα είναι ίση με 5560,7 αυτοκίνητα.

Το μεγαλύτερο μέρος του ιδιόκτητου στόλου της NYK αποτελείται από πλοία μεταφορικής ικανότητας άνω των 5.000 οχημάτων, συγκεκριμένα 61 πλοία, ενώ περισσότερη από τη μισή συνολική μεταφορική ικανότητα του στόλου προκύπτει από πλοία χωρητικότητας άνω των 6.000 αυτοκινήτων έκαστο (32 πλοία χωρητικότητας τουλάχιστον 6.000 αυτοκινήτων με συνολική μεταφορική ικανότητα 203.158 αυτοκινήτων). Μάλιστα η NYK διαθέτει μόλις 6 πλοία με χωρητικότητα χαμηλότερη των 3.000 οχημάτων ενώ μόλις 1 από αυτά δύναται να μεταφέρει λιγότερα από 1.000 αυτοκίνητα. Η NYK διαθέτει το μεγαλύτερο στόλο και στη κατηγορία των πλοίων μεταφορικής ικανότητας από 5.000 έως 5.999 αυτοκινήτων.

Σύμφωνα με στοιχεία του Φεβρουαρίου 2012, το βιβλίο παραγγελιών της NYK περιλαμβάνει 5 πλοία με συνολική μεταφορική ικανότητα ίση με 27225 αυτοκίνητα, αριθμός που αντιστοιχεί στο 6,7% του ενεργού στόλου της. Μάλιστα τα 3 από τα 5 πλοία υπό ναυπήγηση έχουν χωρητικότητα μεγαλύτερη των 6.000 οχημάτων έκαστο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.12 - ΣΤΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΠΗΓΗΣΕΩΝ ΤΗΣ NIPPON YUSEN KAISHA (NYK)

	Μεταφορική ικανότητα (αυτοκίνητα)						Σύνολο
	< 1.000	1.000- 2.999	3.000- 3.999	4.000- 4.999	5.000- 5999	≥ 6.000	
Ενεργός Στόλος							
Αριθμός πλοίων	1	0	5	6	29	32	73
Χωρητικότητα	652	0	17639	26441	158044	203158	405934
Μέση Χωρητικότητα	652	0	3527,8	4406,8	5449,8	6348,7	5560,74
Πλοία υπό ναυπήγηση							
Αριθμός πλοίων	0	0	0	2	0	3	5
Χωρητικότητα	0	0	0	8075	0	19150	27225

Mitsui O.S.K. Lines (MOL)

Η Mitsui O.S.K. Lines (MOL) θεωρείται η εταιρία που εισήγαγε στην αγορά το πρώτο Pure Car Carrier το 1965 με σκοπό να εξυπηρετήσει τις τεράστιες εξαγωγικές ανάγκες αυτοκινήτων της Ιαπωνίας. Είναι δε ένας από τους μεγαλύτερους ομίλους που δραστηριοποιούνται στη ναυτιλία ενώ εκτός από την αγορά των Car Carriers έχει παρουσία σε αρκετούς τομείς της όπως τη μεταφορά ξηρού φορτίου χύδιν, πετρελαίου, εμπορευματοκιβωτίων και φυσικού αερίου αλλά και σε τομείς όπως τα Logistics και η Κρουαζιέρα. Είναι εισηγμένη στο χρηματιστήριο του Τόκιο και σε άλλα και σε μικρότερου βεληνεκούς κεφαλαιαγορές της Ιαπωνίας.

Αναφορικά με την αγορά των αυτοκινήτων, τα τελευταία χρόνια η MOL έχει επιδείξει τεράστιο ενδιαφέρον στο ταχέως αναπτυσσόμενο εμπόριο αυτοκινήτων της Ινδίας και της Κίνας ενώ έχει επεκτείνει τις δραστηριότητές της σε διάφορους τερματικούς σταθμούς αυτοκινήτων, αποκτώντας ποσοστά σε λιμάνια της Ταϊλάνδης, της Κίνας, της Ινδίας, της Τουρκίας και της Αυστραλίας ώστε να λειτουργήσουν υποστηρικτικά στο δίκτυο των θαλάσσιων μεταφορών της. Ακόμη, η MOL έχει λάβει μέρος σε εμπορικές και στρατηγικές συμφωνίες με την NYK, το Guangzhou Port Group Co. Ltd. της Κίνας και την Ινδική εταιρία εφοδιαστικής Sical Logistics.

Σύμφωνα με στοιχεία του Φεβρουαρίου 2012, η Mitsui O.S.K. Lines (MOL) έχει υπό την ιδιοκτησία της ένα στόλο 67 πλοίων PCC συνολικής μεταφορικής ικανότητας ίσης μεταφορικής ικανότητας ίσης με 375.278 οχήματα και DWT 1.176.741 τόνων, αριθμοί που αντιστοιχούν στο 9,35% του στόλου των PCCs σε αριθμό πλοίων, στο 10,9% ως προς τη μεταφορική ικανότητα και στο 10,6% ως προς το τονάζ. Η μέση ηλικία του στόλου της MOL ανέρχεται στα 7,72 έτη ενώ η μέση χωρητικότητα και το μέσο DWT είναι αντίστοιχα 5.601,2 αυτοκίνητα και 17.563 τόνοι. Η πλειοψηφία του στόλου της MOL βρίσκεται στις υψηλές κατηγορίες από άποψη χωρητικότητας, δεδομένου ότι περισσότερα από τα δύο τρίτα του στόλου της, και συγκεκριμένα 52 πλοία, έχουν χωρητικότητα μεγαλύτερη των 5.000 οχημάτων, εκ των οποίων τα 38 μπορούν να μεταφέρουν έκαστο περισσότερα από 6.000 αυτοκίνητα. Έτσι, η MOL

βρίσκεται στη πρώτη θέση όσον αφορά την ιδιοκτησία πλοίων χωρητικότητας άνω των 6.000 αυτοκινήτων.

Το βιβλίο παραγγελιών του ομίλου αποτελείται από 9 πλοία χωρητικότητας 6.400 οχημάτων το καθένα (συνολικής χωρητικότητας 57.600 οχημάτων), αριθμός που αντιστοιχεί στο 15,3% της χωρητικότητας του ενεργού στόλου. Τα 7 από τα 9 πλοία θα παραδοθούν εντός του 2012 και τα υπόλοιπα το 2013.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.13 - ΣΤΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΠΗΓΗΣΕΩΝ ΤΗΣ MITUI O.S.K. LINES (MOL)

	Μεταφορική ικανότητα (αυτοκίνητα)						Σύνολο
	<	1.000-	3.000-	4.000-	5.000-	≥	
	1.000	2.999	3.999	4.999	5999	6.000	
Ενεργός Στόλος							
Αριθμός πλοίων	0	1	6	8	14	38	67
Χωρητικότητα	0	1454	21918	36650	73890	241366	375278
Μέση Χωρητικότητα	0	1454	3653	4581,3	5277,9	6351,7	5601,16
Πλοία υπό ναυπήγηση							
Αριθμός πλοίων	0	0	0	0	0	9	9
Χωρητικότητα	0	0	0	0	0	57600	57600

Kawasaki Kisen Kaisha (K-Line)

Η Ιαπωνική Kawasaki Kisen Kaisha (K-Line) ιδρύθηκε το 1919 και είναι ένας από τους μεγαλύτερους ομίλους της ναυτιλίας παγκοσμίως με ενεργή παρουσία στους περισσότερους τομείς των θαλασσιών μεταφορών. Στην αγορά των Car Carriers εισήλθε το 1970 ενώ σήμερα θεωρείται η Τρίτη μεγαλύτερη εταιρία του χώρου. Τα πλοία της μάλιστα χαρακτηρίζονται στην πλειοψηφία τους από αρκετά υψηλές προδιαγραφές σε σχέση με τον ανταγωνισμό, όπως για παράδειγμα ράμπες

αντοχής πολύ βαρέων φορτίων μέχρι και 150 τόνους και κυλιόμενα δάπεδα που διευκολύνουν τη φόρτωση και τη μεταφορά εξειδικευμένων μηχανημάτων.

Οι κύριες εμπορικές διαδρομές που εξυπηρετούνται από την εταιρία αφορούν τη μεταφορά καινούριων αυτοκινήτων από την Ασία σε μεγάλες καταναλωτικές περιοχές όπως η Βόρειος Αμερική και η Ευρώπη. Παράλληλα, στο δίκτυό της περιλαμβάνεται απευθείας σύνδεση μεταξύ της Νοτίου Αφρικής και της Ινδίας ενώ έχει δημιουργηθεί συνδέσεις με την Ανατολική Ευρώπη και τη Μαύρη Θάλασσα. Η ταχεία ανάπτυξη της αγοράς αυτοκινήτων στη Κίνα έχει οδηγήσει την K-Line στη σύναψη στρατηγικών εμπορικών σχέσεων με τη China Shipping με σκοπό τη μεταφορά αυτοκινήτων που κατασκευάζονται στη Κίνα.

Ο ιδιόκτητος στόλος της K-Line αποτελείται από 61 PCCs, συνολικής μεταφορικής ικανότητας 295.845 αυτοκινήτων και συνολικού DWT 913.241 τόνων, κατέχοντας έτσι σημαντικό μερίδιο της αγοράς που αγγίζει το 8,5% του παγκόσμιου στόλου σε αριθμό πλοίων και το 8,6% της συνολικής χωρητικότητάς του. Ο στόλος της K-Line αποτελείται από πλοία διαφόρων χωρητικοτήτων, καθώς διαθέτει 12 πλοία χωρητικότητας μικρότερης των 4.000 αυτοκινήτων έκαστο (4 μικρότερης των 1.000) αλλά και 24 πλοία των οποίων η μεταφορική ικανότητα ξεπερνάει τα 6.000 αυτοκίνητα. Η μέση ηλικία του στόλου αυτού του ομίλου είναι 9,28 έτη, η μέση χωρητικότητα ισοδυναμεί με 4849,9 αυτοκίνητα και το μέσο DWT με 14.971 τόνους.

Το βιβλίο παραγγελιών της K-Line είναι αρκετά μικρό για το μέγεθος της εταιρίας και περιλαμβάνει μόλις 2 PCCs χωρητικότητας 6.400 (2,1% του ενεργού στόλου της) αυτοκινήτων των οποίων η παράδοση έχει οριστεί εντός του 2012.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.14 - ΣΤΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΠΗΓΗΣΕΩΝ ΤΗΣ KAWASAKI KISEN KAISHA (K-LINE)

	Μεταφορική ικανότητα (αυτοκίνητα)						Σύνολο
	< 1000	1.000- 2.999	3.000- 3.999	4.000- 4.999	5.000- 5999	≥ 6.000	
Ενεργός Στόλος							
Αριθμός πλοίων	4	3	5	11	14	24	61

Χωρητικότητα	3200	6122	19360	48329	71164	147670	295845
Μέση Χωρητικότητα	800	2040,7	3872	4393,6	5083,14	6152,9	4849,92
Πλοία υπό ναυπήγηση							
Αριθμός πλοίων	0	0	0	0	0	2	2
Χωρητικότητα	0	0	0	0	0	12800	12800

Cido Shipping

Η Cido Shipping, η οποία εδρεύει στο Bussan, αποτελεί τη μεγαλύτερη ναυτιλιακή εταιρία της Νοτίου Κορέας που δραστηριοποιείται στην αγορά των Car Carriers ενώ είναι η πέμπτη μεγαλύτερη σε καθολική-παγκόσμια κατάταξη τόσο ως προς τον αριθμό των πλοίων όσο και ως προς τη μεταφορική ικανότητα του στόλου. Εκτός από Pure Car Carriers, η Cido Shipping κατέχει και πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδιν, πετρελαίου και παραγώγων του, χημικών καθώς και εμπορευματοκιβωτίων. Κρίνεται απαραίτητο να σημειωθεί πως η Cido Shipping δεν λειτουργεί ως διαχειρίστρια εταιρία των πλοίων που διαθέτει όπως οι εταιρίες που παρουσιάστηκαν παραπάνω, αλλά προτιμάει να τα ναυλώνει σε κάποια από αυτές παρέχοντας μόνο τεχνική υποστήριξη και εξασφάλιση της λειτουργίας του στόλου της.

Ο στόλος της εταιρίας έχει υπό την ιδιοκτησία του 43 πλοία τύπου PCC συνολικής μεταφορικής ικανότητας 223.350 αυτοκινήτων και συνολικού DWT 687.219 τόνων, νούμερα που αναλογούν στο 6,5% της χωρητικότητας του παγκόσμιου στόλου και στο 6,2% του συνολικού τονάζ των PCCs. Το 60,4% του στόλου της Cido Shipping απαρτίζεται από πλοία χωρητικότητας άνω των 5.000 αυτοκινήτων (26 πλοία). Μάλιστα, μόνο τα πλοία που βρίσκονται στη κατηγορία των 6.000 και άνω οχημάτων ευθύνονται για το 50,7% της συνολικής μεταφορικής ικανότητας του στόλου της. Παρόλο όμως που η πλειοψηφία του στόλου της συγκεντρώνεται στις μεγάλες κατηγορίες, η Cido Shipping βρίσκεται στη πρώτη παγκοσμίως θέση όσον

αφορά την ιδιοκτησία πλοίων χωρητικότητας από 1.000 έως 3.999 αυτοκινήτων, αφού διαθέτει 9 τέτοια πλοία συνολικής χωρητικότητας 27.587 οχημάτων. Η μέση ηλικία του στόλου της είναι 8,34 έτη, η μέση μεταφορική ικανότητα 5.194,2 αυτοκίνητα ενώ το μέσο DWT ισοδυναμεί με 15.981 τόνους.

Η Cido Shipping έχει πρόσφατα ολοκληρώσει ένα αξιοσημείωτο πρόγραμμα ναυπήγησης πλοίων τύπου PCC και αυτή τη στιγμή δεν έχει κάποιο συμβόλαιο για κατασκευή νέων Car Carriers.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.15 - ΣΤΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΠΗΓΗΣΕΩΝ ΤΗΣ CIDO SHIPPING

	Μεταφορική ικανότητα (αυτοκίνητα)						Σύνολο
	< 1.000	1.000- 2.999	3.000- 3.999	4.000- 4.999	5.000- 5.999	≥ 6.000	
Ενεργός Στόλος							
Αριθμός πλοίων	0	4	5	8	6	20	43
Χωρητικότητα	0	9617	17970	33196	31439	131128	223350
Μέση Χωρητικότητα	0	2404	3594	4149,5	5239,8	6556,4	5194,19
Πλοία υπό ναυπήγηση							
Αριθμός πλοίων	0	0	0	0	0	0	0
Χωρητικότητα	0	0	0	0	0	0	0

Ray Car Carriers Ltd.

Η Ισραηλινών συμφερόντων Ray Car Carriers Ltd. ιδρύθηκε το 1992 και σήμερα είναι ο τέταρτος μεγαλύτερος πάροχος μεταφορικού τονάζ στο τομέα των Car Carriers παγκοσμίως, ύστερα μόνο από τις τρεις μεγαλύτερες Ιαπωνικές διαχειρίστριες εταιρίες. Η Ray shipping, όπως και η Cido shipping, είναι υπεύθυνη μόνο για τη λειτουργία και τη τεχνική υποστήριξη του ιδιόκτητου στόλου της καθώς δεν

διαχειρίζεται η ίδια τα πλοία της προτιμώντας να τα χρονοναυλώνει σε τρίτους. Η Ray shipping δραστηριοποιείται αποκλειστικά στην αγορά των car carriers αφού δε διαθέτει πλοία άλλου τύπου.

Η Ray Car Carriers Ltd. κατέχει 43 πλοία τύπου PCC συνολικής μεταφορικής ικανότητας 235.677 αυτοκινήτων και DWT ίσο με 730.909 τόνους, δίνοντας της σημαντικό μερίδιο στην αγορά που αντιστοιχεί στο 6% του παγκόσμιου στόλου και στο 6,87% της χωρητικότητάς του. Μάλιστα η έντονη συγκέντρωση του στόλου της σε πλοία μεταφορικής ικανότητας άνω των 6.000 αυτοκινήτων (συνολικά 28 πλοία χωρητικότητας 182.831 οχημάτων), την φέρνει στη τρίτη θέση παγκοσμίως ως προς την ιδιοκτησία πλοίων τέτοιας κατηγορίας (μετά την NYK και τη MOL). Αντιθέτως, η Ray shipping δε διαθέτει κανένα πλοίο με χωρητικότητα από 5.000 έως 5.999 οχημάτων ή με μικρότερη των 1.000. Η μέση ηλικία του στόλου της ανέρχεται στα 4,92 έτη, η μέση μεταφορική ικανότητα είναι ίση με 5.480,86 αυτοκίνητα ενώ το μέσο DWT του είναι 16.997 τόνοι. Παρατηρούμε πως η Ray Car Carriers Ltd. διαθέτει έναν από τους μικρότερους σε ηλικία στόλους και τον μικρότερο από τις μεγάλες επιχειρήσεις, πράγμα που οφείλεται στη πρόσφατη ανανέωση και αντικατάσταση των πλοίων της τα τελευταία χρόνια.

Το βιβλίο παραγγελιών της Ray Shipping σε PCCs είναι ένα από τα μεγαλύτερα στην αγορά καθώς περιλαμβάνει τη κατασκευή 7 πλοίων, εκ των οποίων τα 5 έχουν χωρητικότητα 6.697 αυτοκινήτων έκαστο ενώ το καθένα από τα υπόλοιπα 2 μπορεί να μεταφέρει μέχρι 4.500 οχήματα. Η συνολική μεταφορική ικανότητα των πλοίων υπό ναυπήγηση φθάνει τις 42.485 αυτοκίνητα, αριθμός που αντιστοιχεί στο 18% του ενεργού στόλου της εταιρίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.16 - ΣΤΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΠΗΓΗΣΕΩΝ ΤΗΣ RAY CAR CARRIERS LTD.

	Μεταφορική ικανότητα (αυτοκίνητα)						Σύνολο
	< 1.000	1.000- 2.999	3.000- 3.999	4.000- 4.999	5.000- 5999	≥ 6.000	
Ενεργός Στόλος							
Αριθμός πλοίων	0	6	2	7	0	28	43

Χωρητικότητα	0	11996	7400	33450	0	182831	235677
Μέση Χωρητικότητα	0	1999	3700	4778,57	0	6529,7	5480,86
Πλοία υπό ναυπήγηση							
Αριθμός πλοίων	0	0	0	2	0	5	7
Χωρητικότητα	0	0	0	9000	0	33485	42485

Leif Hoegh & Co (Hoegh Autoliners)

Η Hoegh Autoliners, θυγατρική της Νορβηγικής εταιρίας Leif Hoegh & Company, είναι ο μεγαλύτερος ευρωπαϊκός πάροχος υπηρεσιών θαλάσσιας μεταφοράς αυτοκινήτων με τεράστια διεθνή αναγνώριση. Ιστορικά, η εταιρία ιδρύθηκε το 1970 υπό την ονομασία Hoegh-Ugland Autoliners (HUAL) έπειτα από τη στρατηγική και εμπορική συνεργασία των Leif Hoegh & Co και Ugland ενώ το Μάρτιο του 2000 πέρασε εξ ολοκλήρου στα χέρια της πρώτης μετά την εξαγορά του συνόλου των μετοχών της Ugland. Το 2006, πραγματοποιήθηκε αναδιοργάνωση της Leif Hoegh & Co, η οποία μοίρασε το στόλο της στις Hoegh Autoliners και Hoegh LNG. Μάλιστα, τον Ιανουάριο του 2008, η δανική A.P. Moller-Maersk A/S, ο μεγαλύτερος ναυτιλιακός όμιλος παγκοσμίως, στα πλαίσια της πρόσφατης ενασχόλησής της με την αγορά των Car Carriers, προχώρησε στην εξαγορά του 37,5% των μετοχών της Hoegh Autoliners.

Η Hoegh Autoliners διαχειρίζεται μέσω ενός δικτύου 30 γραφείων παγκοσμίως ένα στόλο 59 πλοίων PCC με τον οποίον μόνο το 2011 μετέφερε περισσότερα από 1,86 εκατομμύρια αυτοκίνητα. Πέραν των μακροχρόνιων συμβολαίων με αρκετούς από τους μεγαλύτερους κατασκευαστές αυτοκινήτων, η Hoegh Autoliners είναι ο μεγαλύτερος μεταφορέας μεταχειρισμένων αυτοκινήτων καθώς και οχημάτων «high and heavy».

Ο ιδιόκτητος στόλος της εταιρίας αποτελείται από 39 PCCs συνολικής μεταφορικής ικανότητας 204.108 αυτοκινήτων και DWT ίσου με 676.175 τόνους, αριθμοί που αντιστοιχούν στο 5,4% του παγκόσμιου στόλου σε αριθμό πλοίων και στο 5,95% ως προς τη χωρητικότητα. Η εταιρία διαθέτει πλοία όλων των χωρητικότητων, αφού στο στόλο της συναντάει κανείς από τα μικρότερα (χωρητικότητας κάτω των 1.000 οχημάτων) μέχρι και κάποια από τα μεγαλύτερα της αγοράς (χωρητικότητας άνω των 7.000 οχημάτων). Βέβαια, περισσότερο από το 75% της μεταφορικής ικανότητας του στόλου οφείλεται στα πλοία της εταιρίας με χωρητικότητα άνω των 5.000 οχημάτων. Η μέση ηλικία του στόλου είναι 12,49 έτη, η μέση χωρητικότητα 5233,5 αυτοκίνητα ενώ το μέσο DWT είναι ίσο με 17.337 τόνους.

Το βιβλίο παραγγελιών της εταιρίας δεν προβλέπει μέχρι στιγμής, Μάρτιος 2012, τη κατασκευή πλοίων τύπου PCC.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.17 - ΣΤΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΠΗΓΗΣΕΩΝ ΤΗΣ ΗOEGH AUTOLINERS

	Μεταφορική ικανότητα (αυτοκίνητα)						Σύνολο
	< 1.000	1.000- 2.999	3.000- 3.999	4.000- 4.999	5.000- 5.999	≥ 6.000	
Ενεργός Στόλος							
Αριθμός πλοίων	3	2	2	9	8	15	39
Χωρητικότητα	2402	5012	7260	39644	42030	107760	204108
Μέση Χωρητικότητα	800,7	2506	3630	4404,9	5253,75	7184	5233,54
Πλοία υπό ναυπήγηση							
Αριθμός πλοίων	0	0	0	0	0	0	0
Χωρητικότητα	0	0	0	0	0	0	0

Wallenius Lines AB

Η Wallenius Lines, η οποία είναι μια ιδιωτικών συμφερόντων εταιρία που εδρεύει στη Στοκχόλμη της Σουηδίας, έχει από το 1950 ηγετικό ρόλο στο τομέα των θαλάσσιων μεταφορών αυτοκινήτων. Ο συνολικός στόλος της Wallenius Lines αποτελείται από πλοία τα οποία είναι ναυλωμένα και εμπορικά διαχειριζόμενα από εταιρίες στις οποίες είναι μέτοχος, όπως είναι οι Wallenius Wilhemsen Logistics (WWL), Eukor Car Carriers και United European Car Carriers (UECC). Υπολογίζεται ότι από το στόλο της Wallenius Lines μεταφέρονται ετησίως περισσότερα από 8 εκατομμύρια οχήματα.

Η Wallenius Lines έχει προχωρήσει σε τρεις τεράστιες επενδύσεις τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια στην αγορά των Car Carriers. Συγκεκριμένα, το 1999 η Wallenius Lines σε συνεργασία με τη Wilh. Wilhemsen ίδρυσαν τη διαχειρίστρια εταιρία Wallenius Wilhemsen Logistics (WWL), στην οποία συμμετέχουν με ποσοστό ίσο με 50% έκαστη. Μάλιστα, η τελευταία πέρα από τη διαχείριση πλοίων, δραστηριοποιείται και στις χερσαίες μεταφορές, τη διαχείριση τερματικών σταθμών και τα Logistics. Στη συνέχεια, στα τέλη του 2002, η Wallenius Lines (40%) και η Wilh. Wilhemsen (40%) μαζί με τις Hyundai Motors και Kia Motors (20%) αγόρασαν τον εμπορικό στόλο των PCCs της Hyundai ιδρύοντας την εταιρία που σήμερα λειτουργεί ως Eukor Car Carriers Inc. Επιπροσθέτως, το 1991 η Wallenius Lines σε συνεργασία με την NYK ίδρυσαν τη United European Car Carriers (UECC) με σκοπό να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες μεταφοράς αυτοκινήτων για μικρές αποστάσεις μέσα στη Μεσόγειο.

Ο ιδιόκτητος στόλος της Wallenius Lines σύμφωνα με στοιχεία του Μαρτίου 2012 αποτελείται από 30 PCCs συνολικής χωρητικότητας 192.655 αυτοκινήτων και DWT ίσου με 754.099 τόνους. Η πλειοψηφία των ιδιόκτητων πλοίων ανήκουν στις υψηλότερες κατηγορίες μεγεθών (άνω των 5.000 οχημάτων) ενώ διαθέτει μόλις 4 πλοία χωρητικότητας από 3.000 έως 3.999 αυτοκινήτων. Η μέση ηλικία του στόλου της είναι 13,74 έτη ενώ η μέση χωρητικότητα και το μέσο DWT είναι αντίστοιχα 6.421,8 αυτοκίνητα και 25.136 τόνοι.

Η Wallenius Lines δεν έχει κάποια συμφωνία για κατασκευή νέων πλοίων αυτή τη στιγμή.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.18 - ΣΤΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΠΗΓΗΣΕΩΝ ΤΗΣ WALLENIUS LINES

	Μεταφορική ικανότητα (αυτοκίνητα)						Σύνολο
	< 1.000	1.000- 2.999	3.000- 3.999	4.000- 4.999	5.000- 5.999	≥ 6.000	
	Ενεργός Στόλος						
Αριθμός πλοίων	0	0	4	0	7	19	30
Χωρητικότητα	0	0	12595	0	38193	141867	192655
Μέση Χωρητικότητα	0	0	3148,75	0	5456,7	7466,7	6421,83
Πλοία υπό ναυπήγηση							
Αριθμός πλοίων	0	0	0	0	0	0	0
Χωρητικότητα	0	0	0	0	0	0	0

Eukor Car Carriers

Όπως προαναφέρθηκε, η Eukor Car Carriers είναι μια εταιρία συνιδιοκτησίας των Wallenius Lines με ποσοστό 40%, Wilh. Wilhemsen επίσης με ποσοστό 40% και των αυτοκινητοβιομηχανιών Hyundai Motors και Kia Motors με ποσοστό 20%. Η Eukor είναι εξειδικευμένη στη θαλάσσια μεταφορά τόσο αυτοκινήτων αλλά και πιο εξειδικευμένου φορτίου, χάρη στις υψηλές αντοχής ράμπες, και τις μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των καταστρωμάτων των πλοίων του στόλου της. Παρόλο που η Eukor εξυπηρετεί αρκετούς μεγάλους κατασκευαστές αυτοκινήτων, ο κύριος όγκος των μεταφορών που πραγματοποιεί γίνονται για λογαριασμό των αυτοκινητοβιομηχανιών Kia και Hyundai, για τις οποίες αξίζει να σημειωθεί πως η Eukor μέχρι και το 2010 ήταν ο μοναδικός μεταφορέας των προϊόντων τους. Οι κύριες εμπορικές διαδρομές στις οποίες δραστηριοποιείται η Eukor Car Carriers

είναι από Ασία με προορισμό την Ευρώπη, την Αμερική αλλά και την Κεντρική και Νότιο Αμερική, από την Ευρώπη με προορισμό τη Μέση Ανατολή, την Ανατολική Αφρική και την Άπω Ανατολή.

Σύμφωνα με στοιχεία του Μαρτίου 2012, ο ιδιόκτητος στόλος της Eukor Car Carriers αποτελείται από 25 PCCs συνολικής χωρητικότητας ίσης με 175.724 αυτοκίνητα και DWT ίσο με 571.090 τόνους. Πρέπει δε να τονισθεί πως ο στόλος της εταιρίας διαθέτει μόνο πλοία με χωρητικότητα μεγαλύτερη των 4.000 αυτοκινήτων, ενώ τα 22 μάλιστα έχουν μεγαλύτερη των 6.000 οχημάτων. Η μέση ηλικία του στόλου είναι 8,24 έτη ενώ η μέση χωρητικότητα και το μέσο DWT αντίστοιχα είναι 7028,96 οχήματα και 22843 τόνοι.

Αναφορικά με το βιβλίο παραγγελιών, η Eukor Car Carriers φαίνεται να υπέγραψε συμφωνία στα μέσα του Μαΐου για ναυπήγηση δύο πλοίων χωρητικότητας 6.600 οχημάτων έκαστο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.19 - ΣΤΟΛΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΑΥΠΗΓΗΣΕΩΝ ΤΗΣ EUKOR CAR CARRIERS

	Μεταφορική ικανότητα (αυτοκίνητα)						Σύνολο
	< 1.000	1.000- 2.999	3.000- 3.999	4.000- 4.999	5.000- 5999	≥ 6.000	
Ενεργός Στόλος							
Αριθμός πλοίων	0	0	0	1	2	22	25
Χωρητικότητα	0	0	0	4800	10574	160350	175724
Μέση Χωρητικότητα	0	0	0	4800	5287	7288,63	7028,96
Πλοία υπό ναυπήγηση							
Αριθμός πλοίων	0	0	0	0	0	2	2
Χωρητικότητα	0	0	0	0	0	13200	13200

2.13 Σύνοψη-Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας την ανασκόπηση και τη μελέτη της αγοράς των Car Carriers μπορούμε να τη χαρακτηρίσουμε ως μία άκρως ενδιαφέρουσα αλλά ταυτόχρονα σύνθετη και ιδιόμορφη αγορά που διαφοροποιείται σε αρκετά σημεία από τους κλασσικούς τομείς της ναυτιλίας. Συνοψίζοντας τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούν να εξαχθούν τα κυριότερα συμπεράσματα ως ακολούθως:

- ❖ Η αγορά των Car Carriers ελέγχεται από έναν ιδιαίτερα περιορισμένο αριθμό εταιριών. Το πλήθος των πλοιοκτητριών εταιριών ανέρχεται μόλις στις 107, από τις οποίες οι 20 μεγαλύτερες κατέχουν περισσότερο από το 95% του παγκόσμιου στόλου. Μάλιστα, ο αριθμός των εταιριών που διαχειρίζονται οι ίδιες το στόλο τους, εξασφαλίζοντας ναύλα για τα πλοία τους και εμπορικές συμφωνίες με τις αυτοκινητοβιομηχανίες, είναι ακόμα πιο περιορισμένος (δεν ξεπερνάει τις 15 εταιρίες). Η πλειοψηφία των πλοιοκτητριών εταιριών προτιμούν να ναυλώνουν τα πλοία σε μια από τις διαχειρίστριες παρέχοντας μόνο τεχνική κάλυψη. Έτσι, η αγορά της θαλάσσιας διακίνησης αυτοκινήτων έχει αποκτήσει έναν εξαιρετικά ολιγοπωλιακό χαρακτήρα. Θα μπορούσε κανείς να πει πως η αγορά ενός πλοίου PCC πρέπει να προϋποθέτει και τη ναύλωσή του σε μία από τις διαχειρίστριες εταιρίες.
- ❖ Ο ρόλος και οι αρμοδιότητες των διαχειριστριών εταιριών, οι οποίες συνήθως ελέγχουν έναν αξιοσημείωτο αριθμό πλοίων, είναι μια ιδιαίτερα πολύπλοκη υπόθεση που απαιτεί υψηλή τεχνογνωσία. Δεδομένου πως οι πελάτες των εταιριών αυτών είναι οι μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες οι οποίες έχουν υψηλές απαιτήσεις τόσο ως προς τους χρόνους παράδοσης όσο και ως προς τη ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών, είναι αναγκαία η όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη βελτιστοποίηση του δικτύου μεταφορών τους. Μάλιστα, οι σύγχρονες διαχειρίστριες εταιρίες δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως καθαρά ναυτιλιακές εταιρίες, αφού επιδιώκοντας να είναι ανταγωνιστικές, έχουν επεκταθεί σε τομείς όπως είναι τα Logistics, ο έλεγχος τερματικών σταθμών(λιμένων) στους οποίους σταθμεύονται

αυτοκίνητα ακόμη και στις χερσαίες μεταφορές, παρέχοντας έτσι πλήρεις υπηρεσίες στους πελάτες τους. Επίσης, ιδιαίτερα συνηθισμένο τα τελευταία χρόνια είναι το φαινόμενο στρατηγικών εμπορικών συμφωνιών και συνεργασιών μεταξύ διαχειριστριών εταιριών με σκοπό την από κοινού εξυπηρέτηση κάποιας εμπορικής διαδρομής (δρομολογίου) ή την ίδρυση κάποιας θυγατρικής εταιρίας αλλά και ανάμεσα σε διαχειρίστριες εταιρίες και τερματικούς σταθμούς.

- ❖ Η σχεδίαση των Car Carriers δε μπορεί να χαρακτηριστεί ως ομοιογενής όπως συμβαίνει λ.χ. στα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδιν καθώς τα πλοία αυτού του τύπου διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ως προς ένα αξιοσημείωτο πλήθος χαρακτηριστικών, όπως είναι ο αριθμός και ο αριθμός, η θέση και η αντοχή των ραμπών φορτοεκφόρτωσης, η απόσταση μεταξύ των καταστρωμάτων κ.α. Τα χαρακτηριστικά αυτά διαδραματίζουν επανειλημμένως καθοριστικό ρόλο και κρίνουν πολλές φορές τη καταλληλότητα του πλοίου για τη μεταφορά εξειδικευμένου φορτίου, όπως είναι τα οχήματα «high and heavy».
- ❖ Ο παγκόσμιος στόλος των Pure Car Carriers έχει αναπτυχθεί και εκμοντερνιστεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια και σήμερα παρουσιάζει μια διαφορετική εικόνα σε σχέση με το παρελθόν. Για περισσότερη από τη μισή μεταφορική ικανότητα του στόλου ευθύνονται τα πλοία χωρητικότητας μεγαλύτερης των 6.000 αυτοκινήτων, τα οποία αποτελούν το πυρήνα της αγοράς, ενώ αντίθετα τα μικρότερα μεγέθη (χωρητικότητας μικρότερης των 3.000 αυτοκινήτων) έχουν περιοριστεί σημαντικά εξυπηρετώντας βασικά τις θαλάσσιες μεταφορές μικρών αποστάσεων. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός πως τα τελευταία χρόνια οι νέες κατασκευές έχουν επικεντρωθεί στη ναυπήγηση πλοίων με χωρητικότητες μεγαλύτερες των 4.500 αυτοκινήτων.
- ❖ Στις κύριες παραγωγικές χώρες αυτοκινήτων, που μέχρι πριν κάποια χρόνια αποτελούσαν οι Η.Π.Α., η Ιαπωνία, η Νότιος Κορέα και η Γερμανία, έχει προστεθεί δυναμικά η Κίνα, η οποία μάλιστα προβλέπεται εντός λίγων ετών να ξεπεράσει όλες τις παραπάνω. Ακόμη, φαίνεται πως σημαντικό μερίδιο στη παγκόσμια παραγωγή οχημάτων διεκδικούν

κράτη όπως η Ινδία, η Βραζιλία, η Ταϊλάνδη και η Ρωσία, μεταβάλλοντας πια ουσιαστικά το χάρτη των κύριων θαλάσσιων εμπορικών διαδρομών των Car Carriers. Η παγκόσμια οικονομική ύφεση βύθισε πραγματικά τη τόσο τη παραγωγή όσο και τις πωλήσεις, τις εξαγωγές και τις εισαγωγές αυτοκινήτων για τη περίοδο 2009-2011, όμως το αρνητικό αυτό κλίμα έχει αρχίσει και αντιστρέφεται κυρίως χάρη στη συμβολή των αναδυόμενων οικονομιών και της σταδιακής εξόδου της Αμερικανικής οικονομίας από τη κρίση. Έτσι ήδη από το 2012 προβλέπεται σταδιακή ανάκαμψη της αγοράς των αυτοκινήτων.

- ❖ Η μεταφορά αυτοκινήτων και λοιπών οχημάτων δια θαλάσσης αντιστοιχεί συνήθως στο 15-17% της παγκόσμιας παραγωγής τους. Το σχετικά μικρό βιβλίο παραγγελιών για κατασκευή νέων PCCs λόγω των εκτεταμένων ακυρώσεων κατά τη διάρκεια της πρόσφατης οικονομικής κρίσης σε συνδυασμό με την αναμενόμενη ανάκαμψη της αγοράς των αυτοκινήτων θεμελιώνει τις προϋποθέσεις για μια υγιή αγορά των Car Carriers και την επιστροφή της σε αξιόλογη κερδοφορία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Εισαγωγή στο πρόβλημα της Βελτιστοποίησης

3.1 Ορισμός, ορολογία και παράθεση κυρίων μεθόδων βελτιστοποίησης

Η βελτιστοποίηση (εναλλακτικά μαθηματικός προγραμματισμός) θεωρείται επιμέρους κλάδος των μαθηματικών, της πληροφορικής και της διοικητικής επιστήμης και γενικά αναφέρεται στην επιλογή της καλύτερης – βέλτιστης λύσης που αξιολογείται ως η ιδανικότερη από ένα σύνολο (καλάθι) διαθέσιμων εναλλακτικών λύσεων με βάση συγκεκριμένα κριτήρια. Ουσιαστικά, δηλαδή, όταν οι δυνατές επιλογές είναι αναρίθμητες και η μεταξύ τους σύγκριση καθίσταται αδύνατη, ο περιορισμός του προβλήματος στις καταλληλότερες λύσεις γίνεται δυνατός μέσω της διαδικασίας της βελτιστοποίησης, η οποία περιλαμβάνει την μελέτη των ιδιοτήτων, της ευρύτερης γνώσης και της μοντελοποίησης του προβλήματος, την εύρεση της αντικειμενικής συνάρτησης του προβλήματος, την εκτέλεση ενός αλγόριθμου για τη λύση του και τέλος την εφαρμογή του στο πραγματικό πρόβλημα .

Στην πιο απλουστευμένη μορφή του, ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης μπορεί να θεωρηθεί και η μεγιστοποίηση ή αντίστοιχα η ελαχιστοποίηση μιας πραγματικής συνάρτησης έπειτα από συστηματική επιλογή τιμών από το δοσμένο πεδίο ορισμού της και υπολογίζοντας τη τιμή της. Το παραπάνω απλοϊκό πρόβλημα, εκφρασμένο μαθηματικά γράφεται: Δίδεται συνάρτηση $f: A \rightarrow \mathbb{R}$ όπου A το πεδίο ορισμού της f . Να βρεθεί το X_0 , όπου $X_0 \in A$, τέτοιο ώστε $f(X_0) \leq f(X)$ (στην περίπτωση της ελαχιστοποίησης) ή $f(X_0) \geq f(X)$ (στην περίπτωση της μεγιστοποίησης) για κάθε $X \in A$. Στην επιχειρησιακή έρευνα, αλλά και στον ευρύτερο μαθηματικό προγραμματισμό, μια συνάρτηση η οποία υφίσταται βελτιστοποίηση, όπως αυτή που αναφέρθηκε στο παραπάνω παράδειγμα, καλείται **αντικειμενική συνάρτηση (objective function)**. Προφανώς, η τελευταία υπόκειται σε ένα ορισμένο πλήθος μεταβλητών εισόδου οι οποίες μπορεί να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους ή να συνδέονται μεταξύ τους με έναν ή περισσότερους **περιορισμούς (constrains)**.

Κάνοντας μια πολύ περιληπτική ιστορική ανασκόπηση, πρέπει να σημειωθεί πως οι Fermat και Lagrange ήταν οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν αριθμητικές μεθόδους για να υπολογίσουν μια βέλτιστη λύση, ενώ ο Νεύτωνας και ο Gauss ήταν οι πρώτοι επιστήμονες που εφάρμοσαν επαναληπτικές διαδικασίες για τον ίδιο ακριβώς λόγο. Βέβαια, το πρόβλημα της βελτιστοποίησης δεν υπήρχε καν ως όρος στην επιστημονική κοινότητα μέχρι την εμφάνιση του γραμμικού προγραμματισμού από τον George Dantzig, ο οποίος βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό στο θεωρητικό υπόβαθρο του Leonid Kantorovich. Ο Dantzig δημοσίευσε το 1947 τον αλγόριθμο Simplex ενώ ο John Von Neumann την ίδια χρονιά ανέπτυξε τη θεωρία της δυαδικότητας.

Ο εντοπισμός και ο υπολογισμός των πιθανών βέλτιστων λύσεων πραγματοποιείται με την καθιέρωση αναγκαίων και ικανών συνθηκών. Συνθήκες που καλύπτονται από τη βέλτιστη λύση αλλά είναι δυνατόν να καλύπτονται και από άλλες μη-βέλτιστες λύσεις ονομάζονται αναγκαίες. Συνθήκες οι οποίες αν ικανοποιηθούν, τότε η αντίστοιχη λύση τους αποτελεί και βέλτιστη λύση, ονομάζονται ικανές. Βέβαια, είναι προφανές πως το ανάποδο δεν ισχύει, δηλαδή υπάρχει το ενδεχόμενο μια βέλτιστη λύση να μην καλύπτει μια ικανή συνθήκη. Ακόμη, όπως θα αναλυθεί εκτενέστερα παρακάτω, κατά τη βελτιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης, η εύρεση της βέλτιστης λύσης μπορεί να γίνει από όλες τις μεταβλητές της τελευταίας ή εντός ενός συγκεκριμένου πεδίου τιμών.

Κατά τη βελτιστοποίηση ακολουθείται μία εκ των δύο ακόλουθων διαδικασιών:

- Η **άμεση** περιγραφή του συστήματος μέσω της αντικειμενικής συνάρτησης και των καθορισμένων περιορισμών της, όπου η βελτιστοποίηση διεκπεραιώνεται με επαναληπτικές μεθόδους αναζήτησης.
- Η **έμμεση** διαδικασία κατά την οποία βρίσκονται και επιλύονται οι αναγκαίες συνθήκες, ενώ οι προκύπτουσες λύσεις ελέγχονται με τις ικανές συνθήκες.

Επιπρόσθετα, η ύπαρξη (ή μη) συναρτήσεων περιορισμών, κατά την διατύπωση των προβλήματος αποτελεί κρίσιμο παράγοντα κατά τη βελτιστοποίηση και επιτρέπει τη δημιουργία μιας ακόμα διάκρισης των προβλημάτων βελτιστοποίησης σε **προβλήματα με περιορισμούς(constrained problems)** και **προβλήματα χωρίς**

περιορισμούς(unconstrained problems). Λεπτομερέστερη περιγραφή των δύο αυτών κατηγοριών γίνεται στη συνέχεια.

Η βελτιστοποίηση δε ως προς μία ή περισσότερες μεταβλητές, δημιουργεί και πάλι την ανάγκη κατάταξης των προβλημάτων βελτιστοποίησης και κατ' επέκταση των τεχνικών που χρησιμοποιούνται για τη λύση τους σε **μονοδιάστατα(one-dimensional optimization problems)** και **πολυδιάστατα(multi-objective optimization problems)**. Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι η προσθήκη μεταβλητών στο πρόβλημα οδηγεί σε αύξηση της πολυπλοκότητάς του καθώς υπάρχει μεγάλη πιθανότητα «σύγκρουσης» μεταξύ της βελτιστοποίησης όλων των μεταβλητών. Σε τέτοια προβλήματα επιδιώκεται η εύρεση της χρυσής τομής που θα δώσει την βέλτιστη λύση για το πρόβλημα και όχι τη βέλτιστη λύση για κάθε μεταβλητή μεμονωμένα.

Οι βασικότερες οικογένειες-πεδία μεθόδων βελτιστοποίησης, εντός των οποίων εντάσσονται οι διάφορες εξειδικευμένες τεχνικές, είναι οι παρακάτω:

1. **Κυρτός προγραμματισμός:** μπορεί να θεωρηθεί και ως ειδική περίπτωση μη γραμμικού προγραμματισμού ή ως μια γενίκευση του γραμμικού προγραμματισμού, και αναφέρεται γενικά στη βελτιστοποίηση κυρτών συναρτήσεων με κυρτούς περιορισμούς.
2. **Γραμμικός προγραμματισμός:** αφορά τη περίπτωση κατά την οποία η αντικειμενική συνάρτηση προς βελτιστοποίηση είναι γραμμική ενώ και οι συναρτήσεις περιορισμών είναι εκφρασμένες χρησιμοποιώντας γραμμικές ισότητες και ανισότητες.
3. **Ακέραιος προγραμματισμός:** Μελετάει γραμμικά προβλήματα των οποίων κάποιες ή ενδεχομένως όλες οι μεταβλητές είναι περιορισμένες ώστε να παίρνουν μόνον ακέραιες τιμές. Τα προβλήματα ακέραιου προγραμματισμού είναι γενικά πιο σύνθετα και πολύπλοκα από αυτά του γραμμικού προγραμματισμού.
4. **Μη γραμμικός προγραμματισμός:** Εξετάζει τη γενική περίπτωση κατά την οποία η αντικειμενική συνάρτηση βελτιστοποίησης ή οι περιορισμοί ή και τα δύο περιέχουν μη γραμμικά μέρη.

5. **Τετραγωνικός προγραμματισμός:** Εδώ αντικειμενική συνάρτηση βελτιστοποίησης περιέχει τετραγωνικές μεταβλητές, οι οποίες μπορούν να υπόκεινται αποκλειστικά σε γραμμικούς περιορισμούς.
6. **Δυναμικός προγραμματισμός:** Στο δυναμικό προγραμματισμό, το πρόβλημα διαμοιράζεται σε περισσότερα επί μέρους προβλήματα, ενώ η συνάρτηση που εμπεριέχει την πληροφορία για τη σχέση μεταξύ των επί μέρους αυτών προβλημάτων καλείται συνάρτηση Bellman και βασίζεται στην ομώνυμη αρχή βελτιστότητας.
7. **Στοχαστικός προγραμματισμός:** Σε αυτή τη περίπτωση, κάποιες μεταβλητές ή περιορισμοί καθορίζονται από τυχαίες μεταβλητές
8. **Μεταευριστικές μέθοδοι και αλγόριθμοι (heuristics και metaheuristics):** Σε αυτές τις μεθόδους δε γίνονται συνήθως παραδοχές για το πρόβλημα βελτιστοποίησης ενώ δεν εγγυώνται την εύρεση της βέλτιστης λύσης. Αντίθετα, επιτυγχάνεται η εύρεση μιας καλής προσεγγιστικής λύσης έπειτα από επαναληπτική διαδικασία. Οι μεταευριστικοί αλγόριθμοι θα μπορούσαν να θεωρηθούν και ως υποκατηγορία του μη γραμμικού προγραμματισμού, όμως λόγω της ευρύτατης χρήσης και εφαρμογής τους κατά την επίλυση σύνθετων και πολύπλοκων προβλημάτων κρίθηκε σκόπιμο να παρουσιαστούν ξεχωριστά.

Ακολούθως, συνοψίζονται οι ιδιαιτερότητες και τα χαρακτηριστικά του προβλήματος βελτιστοποίησης που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να αποτελούν κριτήριο για την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου σύμφωνα με τους Μ.Γ. Καρλαύτη και Ν.Δ. Λαγαρό:

- ❖ Ο αριθμός, το είδος και τα όρια μεταβολών των μεταβλητών σχεδιασμού.
- ❖ Ο αριθμός των συναρτήσεων περιορισμού.
- ❖ Η «ομαλότητα» και η συνέχεια των συναρτήσεων περιορισμού καθώς και της αντικειμενικής συνάρτησης βελτιστοποίησης.
- ❖ Η μέγιστη δυνατή τάξη των διάφορων συναρτήσεων του προβλήματος που μπορούν να υπολογισθούν με λογικό υπολογιστικό κόστος
- ❖ Ο βαθμός μη γραμμικότητας των συναρτήσεων περιορισμού.

- ❖ Η δυνατότητα υπολογισμού των συναρτήσεων περιορισμού και εκτός της περιοχής των αποδεκτών σχεδιασμών.
- ❖ Ο αριθμός των συναρτήσεων περιορισμού που πιστεύεται πως θα είναι ενεργές στο βέλτιστο σημείο του προβλήματος¹.

3.2 Διαχωρισμός προβλημάτων βελτιστοποίησης ως προς την ύπαρξη περιορισμών

3.2.1 Βελτιστοποίηση χωρίς περιορισμούς

Η ευρύτερη διατύπωση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης χωρίς περιορισμούς σύμφωνα με τους Μ.Γ. Καρλαύτη και Ν.Δ. Λαγαρό είναι η ακόλουθη:

$$\min_x f(x)$$

όπου $f(x)$ μια γραμμική ή μη γραμμική συνάρτηση. Εάν η $f(x)$ είναι παραγωγίσιμη, η ικανή και αναγκαία συνθήκη για την ύπαρξη ελαχίστου προκύπτει από τη θεωρία μαθηματικού λογισμού (calculus). Αναγκαία και ικανή συνθήκη για την ύπαρξη ελαχίστου ή μέγιστου της $f(x)$ είναι η ύπαρξη σημείων ευστάθειας (stationary points), δηλαδή των σημείων εκείνων όπου η συνάρτηση αποκτά ελάχιστο, μέγιστο ή καμπή (inflection).

Κατά τη βελτιστοποίηση, λοιπόν, χωρίς περιορισμούς επιδιώκεται συνήθως ο εντοπισμός της μέγιστης ή ελάχιστης τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης $f(x)$ χωρίς να υπάρχουν όρια ως προς τις τιμές που μπορεί να πάρει το X .

3.2.2 Βελτιστοποίηση με περιορισμούς

Η γενική διατύπωση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης με περιορισμούς είναι η ακόλουθη:

¹ Επιχειρησιακή Έρευνα και Βελτιστοποίηση για μηχανικούς, Μ.Γ. Καρλαύτης και Ν.Δ. Λαγαρός, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2010 σελ. 291

$$\min_x f(x)$$

Δεδομένου ότι: $g_i(x) = c_i$ για κάθε $i = 1, 2, \dots, n$

$$h_j(x) \leq d_j \text{ για κάθε } j = 1, 2, \dots, m$$

Όπου X είναι ένα διάνυσμα με πεδίο ορισμού ένα n -διάστατο χώρο, η $f(x)$ είναι η αντικειμενική συνάρτηση βελτιστοποίησης και οι υπόλοιπες δύο $g_i(x) = c_i$ καθώς και $h_j(x) \leq d_j$ είναι οι συναρτήσεις περιορισμού που πρέπει να ικανοποιηθούν. Μάλιστα, οι συναρτήσεις περιορισμού που περιέχουν τα σύμβολα ανισότητας ($<$, $>$, \leq , \geq) καλούνται ανισοτικοί περιορισμοί ενώ εκείνες που περιέχουν το σύμβολο της ισότητας ($=$) καλούνται αντιστοίχως ισοτικοί περιορισμοί.

Λαμβάνοντας υπόψη τον παραπάνω ορισμό, είναι προφανές πως η επιλεγόμενη λύση είναι η βέλτιστη καλύπτοντας ταυτόχρονα και του περιορισμούς που έχουν τεθεί. Οι τελευταίοι, οι οποίοι αποτελούν βασικό τμήμα του συστήματος που πρόκειται να βελτιστοποιηθεί, ουσιαστικά εκφράζουν το σύνολο των απαιτήσεων και των επιδιώξεων, τόσο κατά το σχεδιασμό όσο και κατά τη λειτουργία αυτού του συστήματος. Βέβαια, έχουν παρατηρηθεί και ορισμένες περιπτώσεις, στις οποίες κατά τη μελέτη ενός προβλήματος κάποιοι περιορισμοί απέφεραν περισσότερες αρνητικές συνέπειες στη λύση του από το προσδοκώμενο κέρδος, με αποτέλεσμα να αφαιρούνται από το σχεδιασμό του.

Δεδομένης της ύπαρξης συναρτήσεων περιορισμού, είναι φανερό πως η εύρεση της βέλτιστης λύσης είναι αρκετά πιο πολύπλοκη και ορισμένες φορές αδύνατη, ειδικά όταν υπάρχουν και χρονικοί περιορισμοί. Μπορεί, βέβαια, εύκολα να γίνει αντιληπτό πως σε εξειδικευμένες περιπτώσεις, κατά τις οποίες οι συναρτήσεις περιορισμών δεν επιδρούν σε κάποιο ελάχιστο ή μέγιστο, τότε ισχύουν οι ίδιες συνθήκες που αναφέρθηκαν στα προβλήματα βελτιστοποίησης χωρίς περιορισμούς. Για τον εντοπισμό της βέλτιστης λύσης με περιορισμούς, απαιτείται ο ορισμός της συνάρτησης Lagrange, που σύμφωνα με τη γενική διατύπωση του προβλήματος θα είναι:

$$L(x, \mu, \lambda) = f(x) + \mu g(x) + \lambda h(x)$$

όπου μ και λ είναι οι πολλαπλασιαστές Lagrange των ισοτικών και των ανισοτικών περιορισμών (οι πολλαπλασιαστές των ανισοτικών περιορισμών πρέπει να μην είναι αρνητικοί). Οι πολλαπλασιαστές Lagrange, οι οποίοι διαδραματίζουν θεμελιώδη ρόλο στις περισσότερες τεχνικές βελτιστοποίησης, ουσιαστικά επιβάλλουν την ικανοποίηση των συναρτήσεων περιορισμού αφού λαμβάνεται υπόψη και η επιρροή των συναρτήσεων περιορισμού.

3.3 Πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση (multi-objective optimization)

Η **βελτιστοποίηση πολλών μεταβλητών** ή διαφορετικά **πολλών κριτηρίων (multi-objective ή multi-criteria optimization)** γενικά θεωρείται η διαδικασία ταυτόχρονης βελτιστοποίησης προβλημάτων αποτελούμενων από δύο ή περισσότερους αντικρουόμενους συνήθους στόχους (αντικειμενικές συναρτήσεις) που υπόκεινται πιθανώς σε συγκεκριμένους περιορισμούς.

Κατά τη μελέτη μη τετριμμένων τέτοιων προβλημάτων βελτιστοποίησης σχεδόν πάντοτε εμφανίζεται το ερώτημα της καταλληλότερης επιλογής των κριτηρίων καθώς είναι σχεδόν αδύνατος ο εντοπισμός μιας μοναδικής λύσης η οποία να βελτιστοποιεί ταυτόχρονα όλες τις αντικειμενικές συναρτήσεις. Μάλιστα κατά την αναζήτηση πιθανών λύσεων γρήγορα κανείς θα κατανοήσει πως πολλές φορές κατά τη προσπάθεια περαιτέρω βελτίωσης της λύσης μιας από τις αντικειμενικές συναρτήσεις, οι υπόλοιπες παρουσιάζουν το αντίθετο αποτέλεσμα, δηλαδή μπορεί κανείς να υποθέσει πως επικρατεί μια «διαμάχη» μεταξύ των κριτηρίων. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί πως συνήθως κατά τη κατάστρωση πολυκριτηριακών προβλημάτων βελτιστοποίησης ως αντικειμενικές συναρτήσεις-κριτήρια θεωρούνται εκείνες οι σχέσεις που παρουσιάζουν τη προαναφερθείσα ιδιότητα της μεταξύ τους «διαμάχης» κατά την αναζήτηση πιθανών λύσεων ενώ οι υπόλοιπες σχέσεις οι οποίες απλά ικανοποιούν κάποιες επιβαλλόμενες απαιτήσεις αντιμετωπίζονται ως περιορισμοί.²

² Επιχειρησιακή Έρευνα και Βελτιστοποίηση για μηχανικούς, Μ.Γ. Καρλαύτης και Ν.Δ. Λαγαρός, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2010 σελ. 350

Ιστορικά, η βελτιστοποίηση προβλημάτων πολλών αντικειμενικών συναρτήσεων ερευνήθηκε στα τέλη του δέκατου ένατου αιώνα από τον Vilfredo Pareto(1848-1923), έναν Ιταλό οικονομολόγο ο οποίος ασχολήθηκε με την επίλυση οικονομικών προβλημάτων με αντικρουόμενα κριτήρια. Σύμφωνα με τον Pareto, μια υποψήφια λύση θεωρείται **μη κυριαρχήσιμη (non dominated)** εάν δεν είναι δυνατόν να πάψει να είναι υπό εξέταση μετά την αντικατάστασή της από μία άλλη λύση η οποία βελτιώνει μια αντικειμενική συνάρτηση χωρίς ταυτόχρονα να «χειροτερεύει» μία από τις υπόλοιπες. Η εύρεση μη κυριαρχήσιμων λύσεων καθώς και η ποσοτικοποίηση των ανταλλαγμάτων για την ικανοποίηση των διαφορετικών αντικειμενικών συναρτήσεων αποτελούν το κύριο στόχο κατά τη κατάστρωση και την επίλυση πολυκριτηριακών προβλημάτων. Μάλιστα, προς τιμήν του Pareto, κάθε μη κυριαρχήσιμη λύση καλείται και **Pareto optimal** ή **Pareto efficient** ενώ το σύνολο όλων αυτών ονομάζεται **Pareto set**.

Η γενική μαθηματική περιγραφή ενός προβλήματος βελτιστοποίησης πολλαπλών κριτηρίων είναι η ακόλουθη:

Ελαχιστοποίηση ή μεγιστοποίηση της

$$\mu(x) = [\mu_1(x), \mu_2(x), \dots, \mu_n(x)]^T$$

Με περιορισμούς

$$h_i(x) = 0, i = 1, \dots, p$$

$$g_j(x) = 0, j = 1, \dots, r$$

$$x_l \leq x \leq x_u$$

Όπου $\mu(x)$ είναι το διάνυσμα των αντικειμενικών συναρτήσεων βελτιστοποίησης, $h_i(x)$ είναι ο i -οστός περιορισμός ισότητας από ένα πλήθος p τέτοιων περιορισμών, $g_j(x)$ είναι ο j -οστός περιορισμός ανισότητας από ένα πλήθος r τέτοιων περιορισμών και x_l, x_u είναι οι ακραίες τιμές του x .

Ένα διάνυσμα μ του θεωρείται Pareto optimal εάν δεν υπάρχει άλλο διάνυσμα μ' τέτοιο ώστε $\mu_i \leq \mu'_i$ για κάθε $i = \{1, 2, \dots, n\}$ και $\mu_j < \mu'_j$ για κάθε $j = \{1, 2, \dots, n\}$.

3.4 Σύνοψη και Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, στο παραπάνω κεφάλαιο διατυπώθηκε η έννοια της βελτιστοποίησης και τονίσθηκε η μεγάλη χρησιμότητά της σε ένα ευρύ πεδίο επιστημών όπως είναι τα μαθηματικά, η πληροφορική, η επιχειρησιακή έρευνα και άλλες. Παράλληλα ορίσθηκαν οι έννοιες της αντικειμενικής συνάρτησης, εκείνης δηλαδή της σχέσης που επιζητείται η βελτιστοποίησή της, της αναγκαίας και της ικανής συνθήκης καθώς και των περιορισμών ενώ στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση στο πρόβλημα της βελτιστοποίησης. Ακόμη, αφού δόθηκε ένα απλοϊκό παράδειγμα προβλήματος βελτιστοποίησης, παρουσιάστηκαν οι διάφορες διαδικασίες που μπορούν να ακολουθηθούν για την επίλυση ενός τέτοιου προβλήματος και έγινε κατηγοριοποίηση και ανάλυση των προβλημάτων βελτιστοποίησης ανάλογα με την ύπαρξη ή μη περιορισμών αλλά και ανάλογα με την ύπαρξη μίας ή περισσότερων αντικειμενικών συναρτήσεων (κριτηρίων). Τέλος, περιγράφηκαν συνοπτικά οι βασικότερες οικογένειες μεθόδων βελτιστοποίησης (π.χ. γραμμικός προγραμματισμός, δυναμικός προγραμματισμός, μεταευριστικές μέθοδοι κλπ) ενώ έγινε αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες του κάθε προβλήματος βελτιστοποίησης που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τη καταλληλότερη επιλογή μίας εκ αυτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Εισαγωγή στα προβλήματα δικτύων

4.1 Ορισμός και ορολογία των προβλημάτων δικτύων

Αναφερόμενοι στο πρόβλημα του δικτύου εννοούμε σύμφωνα με τους Μ.Γ. Καρλαύτη και Ν.Δ. Λαγαρό τον «οποιοδήποτε συνδυασμό ανθρώπων, δραστηριοτήτων αλλά και αντικειμένων, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με νοητές ή απλές διασυνδέσεις για την επίτευξη ενός έργου ή μεταφοράς ή και απλής επικοινωνίας». Ο πιο συνηθισμένος σκοπός των προβλημάτων δικτύου είναι η όσο το δυνατόν αποδοτικότερη και πιο αποτελεσματική (ως προς το κόστος, ως προς τη συντομότερη διαδρομή κλπ) μεταφορά αγαθών ή υπηρεσιών(αυτοκινήτων, νερού, ηλεκτρισμού κλπ) από ένα αρχικό προορισμό του δικτύου σε ένα τελικό. Ο αριθμός των προβλημάτων δικτύου που έχουν εμφανιστεί τόσο στο τομέα των μεταφορών όσο και των επικοινωνιών είναι αρκετά μεγάλος, στοιχείο που επεξηγεί την ενασχόληση μεγάλου μέρους της διεθνούς βιβλιογραφίας της επιστήμης της επιχειρησιακής έρευνας, της πληροφορικής και των εφαρμοσμένων μαθηματικών με τα προβλήματα αυτά, τις εξειδικευμένες εφαρμογές τους αλλά και τις αρκετές προτεινόμενες διαδικασίες επίλυσής τους.

Ιστορικά, μπορεί κανείς να θεωρήσει ότι οι πρώτες διατυπώσεις προβλημάτων δικτύων προέρχονται από τον Gustav Kirchhoff και άλλους σπουδαίους επιστήμονες του δέκατου ένατου αιώνα. Το αντικείμενο της βελτιστοποίησης των δικτύων όπως αυτό είναι γνωστό σήμερα άρχισε να εμφανίζεται γύρω στο 1940, όταν δηλαδή και άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως ο γραμμικός προγραμματισμός και άρχισε να δημιουργείται η ανάγκη της βελτιστοποίησης σε διάφορα ζητήματα.

Αναφορικά με την ορολογία των δικτύων, το σύνολο των σημείων που απαρτίζουν ένα **δίκτυο(network)** ονομάζονται **κόμβοι(nodes)**, ενώ οι καμπύλες οι οποίες ενώνουν τους κόμβους ανά δύο μεταξύ τους καλούνται **διακλαδώσεις(branches)** ή **τόξα(arcs)** ή αλλιώς **σύνδεσμοι(links)**. Μάλιστα, συνηθίζεται να συμβολίζουμε τους κόμβους με κεφαλαία γράμματα και τα τόξα με βάση τους κόμβους που ενώνουν. Μια διακλάδωση καλείται **προσανατολισμένη(oriented ή directed)** εάν απεικονίζει

μόνο μία κατεύθυνση ροής ανάμεσα σε δύο κόμβους. Μια σειρά προσανατολισμένων διακλαδώσεων η οποία δεν επιφέρει επανάληψη κανενός κόμβου του δικτύου σχηματίζει μια **διαδρομή (path ή route)**, ενώ αν η διαδρομή ολοκληρώνεται στο κόμβο εκκίνησης ονομάζεται **κύκλος (cycle)**. Ακόμη, ένα δίκτυο καλείται **συνεκτικό (connected)** αν υπάρχει τουλάχιστον μία διαδρομή που να συνδέει κάθε ζεύγος κόμβων, ενώ σε αντίθετη περίπτωση καλείται **μη συνεκτικό (disconnected)**.

Για να γίνουν πιο κατανοητοί οι επόμενοι όροι θεωρούμε ένα δίκτυο με n κόμβους από το οποίο έχουν αφαιρεθεί όλες οι διακλαδώσεις. Ένα «δένδρο» μπορεί να μεγαλώσει με τη προσθήκη μιας κάθε φορά διακλάδωσης με συγκεκριμένο τρόπο στο αρχικό δίκτυο. Η πρώτη διακλάδωση μπορεί να τοποθετηθεί οπουδήποτε ώστε να ενώνει δύο κόμβους ενώ κάθε νέα διακλάδωση θα πρέπει να γίνεται μεταξύ ενός κόμβου που είναι ήδη συνδεδεμένος με άλλους κόμβους και ενός κόμβου που δεν ήταν συνδεδεμένος με κανένα κόμβο μέχρι την πραγματοποίηση αυτής της διακλάδωσης. Η προσθήκη των διακλαδώσεων κατ' αυτό τον τρόπο αποφεύγει τη δημιουργία κύκλων και εξασφαλίζει ότι το πλήθος των συνδεδεμένων κόμβων είναι πάντα κατά ένα μεγαλύτερο του αριθμού των διακλαδώσεων. **Δένδρο (tree)** ονομάζεται λοιπόν, το υποσύνολο ενός συνεκτικού δικτύου για το οποίο υπάρχει μοναδική διαδρομή για κάθε ζεύγος κόμβων του υποσυνόλου ή αλλιώς το υποσύνολο ενός συνεκτικού δικτύου που έχει ένα κόμβο παραπάνω από το πλήθος των διακλαδώσεών του. Ένα δένδρο καλείται και **συνδετικό δέντρο (spanning tree)** εάν οι παραπάνω προϋποθέσεις ισχύουν για το σύνολο του δικτύου και στο οποίο προφανώς υπάρχουν $n-1$ διακλαδώσεις.

Αναφερόμενοι στις **ροές (flows)** που υπάρχουν σε ένα δίκτυο πρέπει να ορισθεί η παρακάτω ορολογία. Η μέγιστη ποσότητα ροής ενός αγαθού ή μιας υπηρεσίας που μπορεί να μεταφερθεί μέσω μιας προσανατολισμένης διακλάδωσης (πιθανώς άπειρη) καλείται **μεταφορική ικανότητα διακλάδωσης (arc capacity)**. Απαραίτητη είναι και η κατηγοριοποίηση των κόμβων ανάλογα με το αν λειτουργούν ως καταναλωτές ή ως παραγωγοί σε ένα δίκτυο. Ένας **παρέχων κόμβος** ή αλλιώς **κόμβος-πηγή (supply node ή source node)** χαρακτηρίζεται από αυξημένες εκροές αγαθών (outflows) σε σχέση με τις αντίστοιχες εισροές (inflows). Η αντίθετη

κατάσταση παρατηρείται σε ένα **κόμβο ζήτησης** ή **απαγωγό (demand node)**. Ένας **κόμβος μεταφόρτωσης** ή διαφορετικά **ενδιάμεσος κόμβος (transshipment node ή intermediate node)** εξασφαλίζει τη διατήρηση της ροής καθώς σε αυτόν οι εκροές ισούνται με τις εισροές. Ο τελευταίος όρος όμως συχνά χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει την έννοια του κόμβου μεταφόρτωσης ενός αγαθού από ένα μέσο σε ένα άλλο χωρίς να ικανοποιείται η προαναφερθείσα συνθήκη απαραίτητα.

Η πολυπλοκότητα ενός προβλήματος δικτύου μπορεί εύκολα να γίνει κατανοητή αν αναλογισθεί κανείς πως για παράδειγμα σε ένα δίκτυο αποτελούμενο από n κόμβους μπορούν να περιλαμβάνονται έως και $[n \cdot (n-1)/2]$ συνδέσεις, οι οποίες θα συνδέουν ανά δύο τους κόμβους του δικτύου. Επομένως, όταν ο αριθμός των κόμβων είναι τόσο μεγάλος, η εύρεση της βέλτιστης λύσης αποτελεί μια ιδιαίτερα πολύπλοκη και δύσκολη διαδικασία ενώ πρέπει να σημειωθεί πως ο τρόπος επίλυσης κάθε προβλήματος είναι κάθε φορά μοναδικός. Η πλειοψηφία των προβλημάτων δικτύου επιλύονται με χρήση **προσεγγιστικών μεθόδων (heuristics)** ενώ υπάρχουν περιπτώσεις, κυρίως σε λιγότερο απαιτητικά προβλήματα, όπου χρησιμοποιείται ο γραμμικός, ο ακέραιος και ο δυναμικός προγραμματισμός.

Είναι γνωστό πως τα μεταφορικά έξοδα συμβάλουν σε αξιοσημείωτο βαθμό και μεγάλο ποσοστό στην τελική αξία της πλειοψηφίας των αγαθών και ιδιαίτερα των καταναλωτικών προϊόντων. Έτσι, στις μεταφορές, και κατ' επέκταση στις θαλάσσιες μεταφορές, οι βασικότεροι στόχοι των προβλημάτων βελτιστοποίησης αποτελούν τη μείωση του κόστους της μεταφοράς των αγαθών, τη παράλληλη αύξηση της ποσότητας των αγαθών που θα μεταφέρονται μέσω του δικτύου καθώς και την εξοικονόμηση χρόνου. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τις ναυλαγορές liner της ναυτιλίας, υπάρχει συνεχής και έντονη αύξηση των προκλήσεων σε θέματα προγραμματισμού και διαχείρισης ενός στόλου πλοίων, τα οποία διεκπεραιώνουν τις εκάστοτε μεταφορές εντός ενός δικτύου. Είναι προφανές πως η προτυποποίηση προβλημάτων μεταφοράς, και η χρήση υπολογιστικών μεθόδων προτυποποίησης είναι ιδιαίτερα επωφελής αφού μπορεί να ελαττώσει κατά 5% έως 20% το συνολικό κόστος διακίνησης και αντιστοίχως τους μεταφορικούς χρόνους.

4.2 Οι βασικότερες κατηγορίες προβλημάτων δικτύων

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται και αναλύονται οι βασικότερες και πιο σημαντικές κατηγορίες προβλημάτων δικτύων. Η πλειοψηφία των πραγματικών προβλημάτων βελτιστοποίησης δικτύων που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες βιομηχανίες στην αγορά είτε εντάσσονται σε κάποια από τις παρακάτω κατηγορίες είτε αποτελούν κάποιο συνδυασμό τους.

Το πρόβλημα του χαμηλότερου κόστους (the minimum cost flow problem)

Το πρόβλημα της βελτιστοποίησης ενός δικτύου με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους είναι ένα από τα βασικότερα και πιο θεμελιώδη μοντέλα βελτιστοποίησης δικτύων λόγω τόσο της εφαρμογής του σε ένα τεράστιο αριθμό προβλημάτων όσο και γιατί μπορεί να επιλυθεί αρκετά αποτελεσματικά. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα ουσιαστικά προσδιορίζεται η πιο «οικονομική» διακίνηση αγαθών μέσα σε ένα δίκτυο ικανοποιώντας τις απαιτήσεις των κόμβων ζήτησης με βάση την παροχή των κόμβων πηγών. Το πρόβλημα του ελαχίστου κόστους βρίσκει εφαρμογή σε αρκετές βιομηχανίες όπως η ενέργεια, η υγεία, το εμπόριο και η μεταφορά.

Έστω τώρα ένα προσανατολισμένο δίκτυο $G = (N, A)$ το οποίο ορίζεται από μια σειρά N από n κόμβους και από μια σειρά A από m προσανατολισμένες διακλαδώσεις και τις ορίζουσες μεταβλητές:

x_{ij} = ροή εντός της διακλάδωσης $i \rightarrow j$

c_{ij} = κόστος ανά μονάδα για τηροή εντός της διακλάδωσης $i \rightarrow j$

u_{ij} = μέγιστη μεταφορική για τη διακλάδωση $i \rightarrow j$

b_i = ροή που παράγεται ή καταναλώνεται από το κόμβο i

Η τιμή του b_i εξαρτάται από την ιδιότητα του κόμβου, οπότε:

$b_i > 0$ αν ο κόμβος i είναι παρέχων

$b_i < 0$ αν ο κόμβος i είναι απαγωγός

$b_i = 0$ αν ο i είναι κόμβος μεταφόρτωσης

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης ως προς το κόστος μπορεί να εκφρασθεί μαθηματικά ως ακολούθως:

Ελαχιστοποίησε τη συνάρτηση :

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Όπου: $\sum_{j=1}^n x_{ij} - \sum_{j=1}^n x_{ji} = b_i$ για κάθε κόμβο i

Και $0 \leq x_{ij} \leq u_{ij}$ για κάθε διακλάδωση $i \rightarrow j$

Σε κάποιες περιπτώσεις είναι απαραίτητο να ορίζεται και ένα κάτω όριο l_{ij} το οποίο να υποδηλώνει την ελάχιστη ροή εντός της διακλάδωσης $i \rightarrow j$.

Εναλλακτική ουσιαστικά διατύπωση του προβλήματος βελτιστοποίησης ως προς το κόστος είναι και το **πρόβλημα της μεταφοράς (transportation problem)**, το οποίο ασχολείται με τη διακίνηση διάφορων αγαθών από ένα πλήθος πηγών προς ένα αριθμό παραγωγών-προορισμών με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση του συνολικού μεταφορικού κόστους.

Δεδομένου ότι η βελτιστοποίηση ως προς το χαμηλότερο κόστος αποτελεί το κεντρικό και θεμελιώδες πρόβλημα δικτύων, θα παρατηρήσουμε ότι τα περισσότερα από τα επόμενα προβλήματα περιγράφονται μαθηματικά με βάση τον αλγόριθμο που παρουσιάστηκε παραπάνω, εμφανίζοντας μικρότερες ή μεγαλύτερες αποκλίσεις και διαφοροποιήσεις. Θα γίνει δηλαδή αντιληπτό πως η πλειοψηφία των προβλημάτων δικτύων εκφυλλίζεται σε μεγάλο βαθμό σε πρόβλημα ελαχιστοποίησης κόστους.

Το πρόβλημα της συντομότερης διαδρομής (the shortest path problem)

Το πρόβλημα της συντομότερης διαδρομής θεωρείται ένα από τα πιο απλά προβλήματα δικτύων. Θεωρούμε ένα (μη) προσανατολισμένο και συνεκτικό δίκτυο το οποίο περιλαμβάνει δύο ειδικούς κόμβους, την πηγή (origin ή source node) s και το προορισμό (destination ή sink node) t ενώ όλες οι διακλαδώσεις αναλογούν σε

θετικές (ή μηδενικές) αποστάσεις. Σκοπό του προβλήματος αποτελεί η εύρεση της συντομότερης διαδρομής, δηλαδή εκείνης που καλύπτει τη μικρότερη απόσταση και κατ' επέκταση το χαμηλότερο κόστος, που ενώνει τη πηγή με το προορισμό.

Τροποποιώντας τη μαθηματική έκφραση του προβλήματος ελαχίστου κόστους έτσι ώστε:

$$b(i) = \begin{cases} 1 & \text{για } i = s \\ -1 & \text{για } i = t \\ 0 & \text{για κάθε άλλο } i \in N \end{cases}$$

$$u_{ij} \geq 1 \text{ για κάθε } (i, j) \in A$$

επιτυγχάνεται η μεταφορά ενός αγαθού ή μιας ροής αγαθών από τη πηγή στο προορισμό μέσω της συντομότερης διαδρομής.

Στη περίπτωση που έχουμε μια πηγή και τους υπόλοιπους κόμβους ως προορισμούς και ζητούμενο την εύρεση των αντίστοιχων συντομότερων διαδρομών, τότε για τη λύση του προβλήματος θέτουμε:

$$b(i) = \begin{cases} n - 1 & \text{για } i = s \\ -1 & \text{για κάθε άλλο } i \in A \end{cases}$$

Το πρόβλημα του μικρότερου «συνδετικού δένδρου» (minimum spanning tree problem)

Το πρόβλημα αυτό παρουσιάζει κάποιες ομοιότητες με το πρόβλημα της συντομότερης διαδρομής καθώς σε αυτή τη περίπτωση ο σκοπός είναι η εύρεση της ελάχιστης απόστασης που συνδέει όλους τους κόμβους ενός δικτύου μεταξύ τους. Έτσι, δεδομένου ότι το κόστος (ή το μήκος) ενός συνδετικού δέντρου είναι το άθροισμα των κοστών (ή των μηκών) όλων των διακλαδώσεών του, στο πρόβλημα αυτό επιδιώκουμε την εύρεση του δένδρου με το χαμηλότερο κόστος (ή μικρότερη απόσταση).

Προφανώς, σε ένα δίκτυο n κόμβων χρειάζεται η χάραξη μόνο $(n - 1)$ διακλαδώσεων για τη δημιουργία του μικρότερου δυνατού συνδετικού δένδρου καθώς κάθε πρόσθετη διακλάδωση θα αύξανε χωρίς λόγο το συνολικό κόστος (και μήκος) της διαδρομής.

Πρόβλημα μέγιστης ροής (maximum flow problem)

Το πρόβλημα της μέγιστης ροής μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε τη μέγιστη ποσότητα αγαθών (ροής) που μπορούν να μεταφερθούν μέσα σε ένα δίκτυο, και πιο συγκεκριμένα από μια πηγή s σε ένα προορισμό-απαγωγό t ενώ όλοι οι εναπομείναντες κόμβοι θεωρούνται κόμβοι μεταφόρτωσης.

Η βελτιστοποίηση ως προς τη μέγιστη ροή μπορεί να θεωρηθεί και αυτή ως ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης κόστους υπό τις ακόλουθες προϋποθέσεις. Αρχικά θεωρούμε:

$$b(i) = 0 \text{ για κάθε } i \in N$$

$$l_{ij} = c_{ij} = 0 \text{ για κάθε } (i, j) \in A$$

Επίσης εισάγουμε τη διακλάδωση (t,s) με αντίστοιχο κόστος, ελάχιστη και μέγιστη ροή ίσα με:

$$c_{ts} = -1$$

$$l_{ts} = 0$$

$$u_{ts} = \infty$$

Με αυτό τον τρόπο μεγιστοποιείται η ροή στο σύνδεσμο (διακλάδωση) (t,s) , αλλά δεδομένου ότι η πραγματοποίηση αυτής της ροής γίνεται μέσω των διακλαδώσεων $(i, j) \in A$, η βελτιστοποίηση γίνεται σε όλο το δίκτυο.

Το πρόβλημα της μεταφοράς πολλαπλών αγαθών (multicommodity flow problem)

Όλες οι προαναφερθείσες κατηγορίες προβλημάτων δικτύου αναφέρονταν στη ροή-διακίνηση ενός συγκεκριμένου αγαθού εντός του δικτύου σε αντίθεση με το πρόβλημα μεταφοράς πολλαπλών αγαθών το οποίο ασχολείται με τη διακίνηση διαφόρων αγαθών στο ίδιο δίκτυο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως δύο αγαθά διαφοροποιούνται μεταξύ τους όχι μόνο ως προς τα φυσικά χαρακτηριστικά τους αλλά και από το «ζεύγος» προέλευσης (πηγής) – προορισμού. Έτσι το πρόβλημα είναι αρκετά πολύπλοκο καθώς απαιτείται η διακίνηση διαφορετικών αγαθών και προϊόντων από έναν αριθμό κόμβων-πηγών σε έναν αριθμό κόμβων-καταναλωτών.

Στη πραγματικότητα, το βασικό ζήτημα του προβλήματος μεταφοράς πολλαπλών αγαθών είναι η εύρεση της βέλτιστης επί μέρους κατανομής της μεταφορικής ικανότητας κάθε διακλάδωσης στα διάφορα αγαθά με σκοπό την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους.

Το πρόβλημα της μεταφόρτωσης (transshipment problem)

Το πρόβλημα της μεταφόρτωσης αποτελεί και αυτό μια υποκατηγορία του προβλήματος του χαμηλότερου κόστους. Μάλιστα, θεωρείται γενικευμένη μορφή του προβλήματος μεταφοράς καθώς και στη περίπτωση αυτή ορίζονται πηγές και απαγωγοί ενώ αντικειμενικός σκοπός είναι η βελτιστοποίηση της ροής των αγαθών με το μικρότερο δυνατό κόστος. Το κύριο στοιχείο όμως που διαχωρίζει το πρόβλημα μεταφόρτωσης από το πρόβλημα μεταφοράς είναι η ύπαρξη συνδέσεων μεταφόρτωσης(transshipment junctions) ως ενδιάμεσων σταθμών δια μέσω των οποίων είναι δυνατόν αλλά όχι απαραίτητο να γίνει η διακίνηση των αγαθών. Επομένως ένας κόμβος μπορεί να έχει και την ιδιότητα της σύνδεσης μεταφόρτωσης, από την οποία θα μπορούν να διαπερνούν τα αγαθά κατά τη διαδρομή τους από τη πηγή στον απαγωγό.

Βέβαια, πρέπει να τονισθεί πως είναι δυνατή η μετατροπή ενός προβλήματος μεταφόρτωσης σε πρόβλημα μεταφοράς με τη παραδοχή πως μια σύνδεση μεταφόρτωσης διαδραματίζει το διπλό ρόλο τόσο της πηγής όσο και του προορισμού. Το πρόβλημα της μεταφόρτωσης παρουσιάστηκε ως ξεχωριστή περίπτωση λόγω της συχνής εμφάνισής του στη ναυτιλία. Είναι σαφές πως το συγκεκριμένο πρόβλημα αποτελεί απλοποιημένη μορφή του τρόπου οργάνωσης των δικτύων στις ναυλαγορές liner, όπου προσδιορίζονται τα δρομολόγια των πλοίων αλλά και οι ενδιάμεσοι σταθμοί – λιμένες μεταφόρτωσης.

4.3 Το πρόβλημα του περιοδεύοντος πωλητή (the traveling salesman problem)

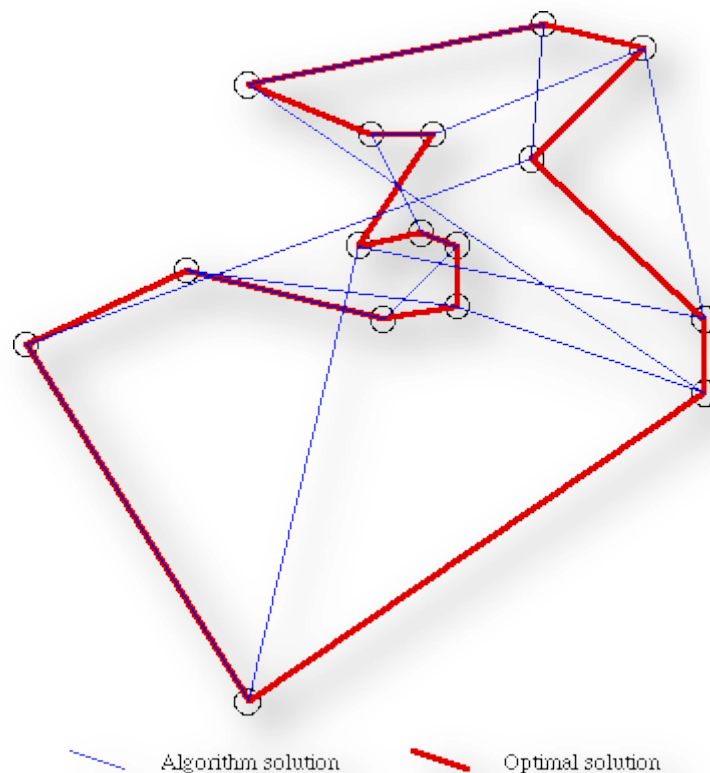
Έχοντας παρουσιάσει τις διάφορες βασικές κατηγορίες προβλημάτων δικτύου, κρίνεται αρκετά ενδιαφέρον να αναλυθεί το πρόβλημα του περιοδεύοντος πωλητή(the traveling salesman problem), ένα από τα πιο γνωστά και

πολυσυζητημένα προβλήματα βελτιστοποίησης αλλά και του ευρύτερου κλάδου της επιχειρησιακής έρευνας με το οποίο έχουν ασχοληθεί εντατικά εκατοντάδες επιστήμονες τα τελευταία χρόνια χωρίς. Μάλιστα το συγκεκριμένο πρόβλημα φημίζεται για τη δυσκολία επίλυσής του, πράγμα το οποίο δεν γίνεται αμέσως αντιληπτό από την απλότητα της διατύπωσής του. Εύκολα δε μπορεί να διαπιστωθεί και το γεγονός πως η πολυπλοκότητα του προβλήματος αυξάνει δραματικά με τη προσθήκη περισσότερων πόλεων-κόμβων στο υπό εξέταση δίκτυο.

Το πρόβλημα του περιοδεύοντος πωλητή περιγράφεται ως εξής: Δίδονται n πόλεις οι οποίες δηλώνονται με τους αριθμούς $1, 2, 3, \dots, n$ ενώ είναι γνωστές και όλες οι μεταξύ τους αποστάσεις c_{ij} για κάθε ζευγάρι i, j πόλεων. Ο σκοπός του προβλήματος είναι ο προσδιορισμός της κυκλικής διαδρομής που περνάει από κάθε πόλη μόνο μία φορά και έπειτα επιστρέφει στην αρχική πόλη (βάση) ενώ ταυτόχρονα ελαχιστοποιεί την συνολική απόσταση που θα διανυθεί (και κατ' επέκταση το συνολικό κόστος).

Η έντονη ενασχόληση και το τεράστιο ενδιαφέρον των επιστημόνων για το πρόβλημα του περιοδεύοντος πωλητή μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητό μετά τη παράθεση των βασικότερων και κρίσιμότερων ιστορικών στοιχείων που σχετίζονται με αυτό. Αρχικά, πρέπει να σημειωθεί πως οι ρίζες του προβλήματος δεν έχουν ακόμα επιβεβαιωθεί όμως είναι γνωστό πως η πρώτη μαθηματική του διατύπωση και προσέγγιση έγινε μέσα στον 19^ο αιώνα από τους Βρετανούς μαθηματικούς W.R. Hamilton και Thomas Kirkman με σκοπό την επίλυση ενός ψυχαγωγικού παιχνιδιού που είχε ως σκοπό την εύρεση ενός Χαμιλτονιανού μονοπατιού (Hamiltonian path). Η γενική μορφή του προβλήματος του περιοδεύοντος πωλητή ερευνήθηκε εκτενώς από μαθηματικούς στη Βιέννη και στο πανεπιστήμιο του Χάρβαρντ στις αρχές της δεκαετίας του 1930 με πρωταγωνιστή τον Karl Menger, ενώ λίγα χρόνια μετά παρουσιάστηκε με την σύγχρονή του ονομασία και μορφή από τον Hassler Whitney του πανεπιστημίου του Πρίνστον. Βέβαια, το πρόβλημα του περιοδεύοντος πωλητή άρχισε να γίνεται ιδιαίτερα δημοφιλές στους επιστημονικούς κύκλους της Ευρώπης και της Αμερικής στις δεκαετίες του 1950 και 1960 χάρη στη τεράστια συνεισφορά των George Dantzig, Delbert Ray Fulkerson και Selmer M. Johnson καθώς και του οργανισμού RAND της Σάντα Μόνικα, από τον οποίον εκφράστηκε για πρώτη φορά

ως πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού. Οι προσπάθειες για εύρεση μιας γενικευμένης λύσης του προβλήματος συνεχίστηκαν ενώ μεγάλη πρόοδος σημειώθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και στις αρχές της επόμενης όταν τρεις ερευνητές, και συγκεκριμένα οι Grötschel, Padberg, Rinaldi και η υπόλοιποι συνεργάτες τους κατάφεραν να λύσουν το πρόβλημα για 2392 πόλεις. Επίσης, στις αρχές της δεκαετίας του 1990 οι Applegate, Bixby Chvatal και Cook ανέπτυξαν το πρόγραμμα Concorde το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως μέχρι και σήμερα σε τέτοιου είδους προβλήματα ενώ το 2005 επιτεύχθηκε η επίλυση και βελτιστοποίηση του προβλήματος για συνολικά 33.810 πόλεις. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως είναι πια εφικτή η εύρεση λύσεων για προβλήματα που αφορούν ακόμα και τη κατάλληλη σύνδεση εκατομμυρίων πόλεων με ποσοστό απόκλισης – λάθους ίσο με 1%.



Εικόνα 5. Γραφική απεικόνιση ενός παραδείγματος του προβλήματος περιοδεύοντος πωλητή

Το πρόβλημα του περιοδεύοντος πωλητή μπορεί να περιγραφεί μαθηματικά με διάφορους τρόπους ένας εκ των οποίων είναι και αυτός που ακολουθεί. Αρχικά,

έστω $N = \{1, 2, \dots, n\}$. Αναπαριστούμε ένα γύρο του ταξιδιού με τη συνάρτηση t , όπου το $t(i)$ θα υποδηλώνει την i -οστή πόλη που επισκεπτόμαστε στο ταξίδι ενώ θεωρούμε πως το σύνολο T υποδηλώνει το άθροισμα όλων των ταξιδιών. Ακόμη, είναι γνωστές και όλες οι αποστάσεις c_{ij} για κάθε ζευγάρι πόλεων i, j . Με βάση τη παραπάνω σήμανση, το πρόβλημα περιγράφεται ως εξής:

Εύρεση του ελαχίστου της σχέσης

$$c_{t(n)t(1)} + \sum_{i=1}^{n-1} c_{t(i)t(i+1)} \text{ όπου } t \in T$$

Πρέπει σε αυτό το σημείο να σημειωθεί πως σε αρκετές περιπτώσεις προβλημάτων δεν επιθυμείται η επιστροφή στην αρχική πόλη (βάση) και έτσι το ταξίδι παύει να είναι κυκλικό αλλά παίρνει τη μορφή μονοπατιού το οποίο είναι και ευρέως γνωστό ως το Χαμιλτονιανό μονοπάτι (Hamiltonian path). Σε αυτή την εκδοχή του προβλήματος η μαθηματική διατύπωση είναι ελαφρώς παραλλαγμένη ως ακολούθως:

Εύρεση του ελαχίστου της σχέσης

$$\sum_{i=1}^{n-1} c_{t(i)t(i+1)} \text{ όπου } t \in T$$

Πιο σύνθετη μορφή του προβλήματος του περιοδεύοντος πωλητή θεωρείται αυτό του «Περιοδεύοντος Πωλητή με χρονικά περιθώρια και στοχαστικούς χρόνους μετακίνησης (the traveling salesman problem with time windows and stochastic travel times), στο οποίο η χρόνοι μετακίνησης δεν είναι γνωστοί αλλά τυχαίες μεταβλητές για την εύρεση των οποίων πραγματοποιείται στατιστική κατανομή των τιμών τους³ ενώ λαμβάνονται υπόψη ακόμα και πρόστιμα (penalties) για ενδεχόμενη καθυστέρηση παράδοση των φορτίων.

³ Επιχειρησιακή Έρευνα και Βελτιστοποίηση για μηχανικούς, Μ.Γ. Καρλαύτης και Ν.Δ. Λαγαρός, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2010 σελ. 206

4.4 Το πρόβλημα προγραμματισμού και δρομολόγησης οχημάτων (Vehicle routing and Scheduling problem)

Το πρόβλημα του προγραμματισμού και δρομολόγησης οχημάτων αναφέρεται σε μια ευρεία ομάδα προβλημάτων για τη λύση των οποίων πρέπει να προσδιοριστούν οι διαδρομές – δρομολόγια ενός συγκεκριμένου στόλου οχημάτων (πλοίων, αυτοκινήτων κλπ) τα οποία έχουν ως βάση τους έναν ή περισσότερους κόμβους και πρέπει να εξυπηρετήσουν ένα πλήθος απομακρυσμένων μεταξύ τους πελατών. Έτσι, στόχος του προβλήματος είναι η κατάστρωση ενός δικτύου το οποίο θα επιτυγχάνει με όσο το δυνατόν μικρότερο κόστος (ελαχιστοποίηση της διαδρομής) τη διακίνηση των αγαθών. Το πρόβλημα της δρομολόγησης οχημάτων μπορεί να θεωρηθεί ως μια πιο γενική αλλά και ακόμα πιο δύσκολη ως προς την επίλυση μορφή του προβλήματος του περιοδεύοντος πωλητή που περιγράφηκε προηγουμένως.

Το πρόβλημα προγραμματισμού και διακίνησης οχημάτων αποτελεί κεντρικό ζητούμενο στους τομείς των μεταφορών, της εφοδιαστικής (logistics) και της διανομής αγαθών, όμως στα πραγματικά προβλήματα υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί, οι σημαντικότεροι εκ των οποίων είναι οι ακόλουθοι:

- Κάθε όχημα έχει συγκεκριμένη μεταφορική ικανότητα – χωρητικότητα αγαθών και προϊόντων η οποία δε μπορεί να ξεπεραστεί.
- Κάθε όχημα έχει ένα προσδιορισμένο κόστος λειτουργίας (operating expenses) το οποίο συνήθως διαφέρει από τα υπόλοιπα οχήματα του στόλου.
- Κάθε πελάτης πρέπει να εξυπηρετηθεί εντός συγκεκριμένων χρονικών διαστημάτων.
- Κάθε πελάτης μπορεί να εξυπηρετηθεί από πολλά οχήματα για την εκτέλεση της παραγγελίας του.
- Αρκετές τιμές έχουν πολλές φορές στοχαστικό χαρακτήρα, όπως για παράδειγμα ο αριθμός των πελατών, η μεταφορική ζήτηση και οι χρόνοι παράδοσης.

Δεδομένων των αρκετών περιορισμών και των διάφορων παραλλαγών του βασικού προβλήματος που εμφανίζονται στα πραγματικά προβλήματα, έχει προταθεί ένας αριθμός επί μέρους προβλημάτων όπως είναι αυτό του προγραμματισμού οχημάτων ομοιόμορφης χωρητικότητας (capacitated vehicle routing problem) ή αυτό του προγραμματισμού των οχημάτων όταν υπάρχουν πολλοί κόμβοι-βάσεις (multiple depot vehicle routing problem).

Στη συνέχεια αναλύεται η πιο ευρεία και γνωστή υποκατηγορία του βασικού προβλήματος, γνωστή και ως το πρόβλημα προγραμματισμού και δρομολόγησης οχημάτων με χρονικά περιθώρια (vehicle routing and scheduling problem with time windows). Η διατύπωση προβλήματος σύμφωνα με τους Μ.Γ. Καρλαύτη και Ν.Δ. Λαγαρό είναι η ακόλουθη:

« Έστω μια μεταφορική εταιρία με ένα χώρο αποθήκευσης που χρησιμοποιείται ως κόμβος βάση και δεδομένο αριθμό πελατών για την εξυπηρέτηση των οποίων χρησιμοποιείται ένας ορισμένος αριθμός οχημάτων, τα οποία παραλαμβάνουν τα προϊόντα από τους πελάτες και τα μεταφέρουν στην αποθήκη και αντίστροφα. Ακόμη κάθε πελάτης θα εξυπηρετείται εντός ορισμένων χρονικών διαστημάτων και από ένα μόνο όχημα σε μία διαδρομή. Βέβαια κάθε όχημα μπορεί να πραγματοποιήσει περισσότερες από μία διαδρομές στη διάρκεια της ημέρας ενώ έχει συγκεκριμένη μεταφορική χωρητικότητα η οποία δε μπορεί να παραβιαστεί. Οι χρόνοι που απαιτούνται για να καλυφθούν όλες οι αποστάσεις του προβλήματος θεωρούνται γνωστές.⁴» Το ζητούμενο του προβλήματος είναι προφανώς η εύρεση της βέλτιστης ως προς το κόστος κατανομής των πελατών στα οχήματα του στόλου, της σειράς με την οποία θα γίνει η εξυπηρέτηση των πελατών καθώς και του χρόνου αναχώρησης των οχημάτων.

Έτσι, ο αλγόριθμος περιγραφής του προβλήματος είναι ο παρακάτω:

Ελαχιστοποίηση της σχέσης

⁴Επιχειρησιακή Έρευνα και Βελτιστοποίηση για μηχανικούς, Μ.Γ. Καρλαύτης και Ν.Δ. Λαγαρός, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2010 σελ. 200

$$C(t_0, x) = \sum_{l=1}^m c_{f,1} \cdot \delta_l(x_l) + \sum_{l=1}^m C_{t,l}(t_{l,0}, x_l) + \sum_{l=1}^m C_{p,l}(t_{l,0}, x_l)$$

Όπου

$$l = \{1, 2, \dots, m\}$$

$$C_{t,l}(t_{l,0}, x_l) = c_{t,l} \sum_{i=0}^{N_i} \left\{ \bar{T}(\bar{t}_{l,n(i)}, n(i), n(i+1)) + t_{c,n(i+1)} \right\}$$

$$C_{p,l}(t_{l,0}, x_l) = \sum_{i=0}^{N_i} [c_{d,n(i)} \cdot \max\{0, t_{l,n(i)}^a(t_{l,0}, x_l) - t_{n(i)}^e\} + c_{e,n(i)} \cdot \max\{0, t_{n(i)}^s - t_{l,n(i)}^a(t_{l,0}, x_l)\}]$$

Με περιορισμούς

$$n_0 \geq 2$$

$$\sum_{l=1}^m N_l = N$$

$$\sum_{n(i) \in x_l} D(n(i)) = W_l(x_l)$$

$$W(x_l) \leq W_{c,t}$$

$$t_s \leq t_{l,0}$$

$$t'_{l,0} \leq t_e \text{ με } t'_{l,0} = t_{l,0} + \sum_{i=0}^{N_i} \left\{ \bar{T}(\bar{t}_{l,n(i)}, n(i), n(i+1)) + t_{c,n(i+1)} \right\}$$

Με

m: το πλήθος των διαθέσιμων οχημάτων (στόλος)

$C(t_0, x)$: το συνολικό κόστος μεταφοράς

t_0 : το διάνυσμα του χρόνου αναχώρησης από την αποθήκη για όλα τα οχήματα,

$$t_0 = \{t_{l,0} | l = 1, m\}$$

X : Το σύνολο των πελατών που αντιστοιχούν στα οχήματα και η σειρά εξυπηρέτησής τους, $X = \{x_l | l = 2, m\}$

x_l : Το σύνολο των πελατών που αντιστοιχούν στο όχημα, $x_l = \{n(i) | i = 1, N_t\}$

$n(i)$: ο πελάτης i που εξυπηρετείται

$d(j)$: ο αριθμός της αποθήκης

N_l : το πλήθος των πελατών που εξυπηρέτησε το όχημα l

n_0 : ο αριθμός του $d(j)$ που αντιστοιχεί στο x_l

$c_{f,l}$: το σταθερό κόστος για το όχημα l

$d_l(x_l) = \begin{cases} 1, & \text{αν το όχημα } l \text{ χρησιμοποιηθεί} \\ 0, & \text{αν το όχημα } l \text{ δεν χρησιμοποιηθεί} \end{cases}$

$C_{t,l}(t_{l,0}, x_l)$: το κόστος λειτουργίας του οχήματος l

$C_{p,l}(t_{l,0}, x_l)$: το κόστος που προκύπτει από τα «πρόστιμα» για το όχημα l

$C_{t,l}$: το κόστος λειτουργίας του οχήματος l ανά χρονική μονάδα

$t_{l,n(i)}$: η ώρα αναχώρησης του οχήματος l από τον πελάτη $n(i)$

$t_{c,n(i)}$: ο χρόνος φορτοεκφόρτωσης για τον πελάτη $n(i)$

$c_{d,n(i)}(t)$: το κόστος που προκύπτει από τα πρόστιμα λόγω καθυστερημένης άφιξης του οχήματος ανά χρονική μονάδα στον πελάτη $n(i)$

$c_{e,n(i)}(t)$: το κόστος που προκύπτει από τα πρόστιμα λόγω πρόωρης άφιξης του οχήματος ανά χρονική μονάδα στον πελάτη $n(i)$

N : το πλήθος των πελατών

$D(n(i))$: η συνολική ζήτηση του πελάτη $n(i)$ (βάρος)

$t'_{l,0}$: ο τελευταίος χρόνος άφιξης του οχήματος l στην αποθήκη

t_s : ο νωρίτερος χρόνος έναρξης των εργασιών

t_e : ο αργότερος χρόνος έναρξης των εργασιών

$W_l(x_l)$: το συνολικό βάρος του φορτίου του οχήματος l

$W_{c,l}$: η συνολική μεταφορική ικανότητα(βάρος) του οχήματος l

$\bar{T}(\bar{t}_{l,n(i)}, n(i), n(i+1))$: ο μέσος προβλεπόμενος χρόνος που απαιτείται για να διανύσει το όχημα l τη διαδρομή από το πελάτη $n(i)$ μέχρι το πελάτη $n(i+1)$ εάν αναχωρήσει τη χρονική στιγμή $\bar{t}_{l,n(i)}$

Σύμφωνα λοιπόν με τη παραπάνω σχέση η οποία ελαχιστοποιεί το κόστος μεταφοράς, το τελευταίο αποτελείται από το σταθερό κόστος των οχημάτων, το οποίο είναι ανεξάρτητο του χρόνου λειτουργίας, από το κόστος λειτουργίας και από τα πιθανά πρόστιμα λόγω πρόωρης ή καθυστερημένης άφιξης των οχημάτων στους πελάτες. Ολοκληρώνοντας, αξίζει να σημειωθεί πως σε περιπτώσεις όπου δεν μπορούν να υπολογιστούν ποσοτικά οι χρόνοι μετακίνησης των οχημάτων, ορίζονται τα στοχαστικά προβλήματα προγραμματισμού και δρομολόγησης οχημάτων (probabilistic vehicle routing and scheduling problems), των οποίων η λύση διαφοροποιείται ελαφρώς από το περιγραφέν πρόβλημα.

4.5 Σύνοψη και Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, στο κεφάλαιο αυτό αρχικά ορίστηκε η έννοια του δικτύου όπως αυτή χρησιμοποιείται στην επιχειρησιακή έρευνα, διατυπώθηκε το γενικό πρόβλημα βελτιστοποίησης των δικτύων και παρουσιάστηκε η βασική ορολογία που χρησιμοποιείται για τη κατάστρωση και την επίλυσή τους. Ακόμη, επισημάνθηκε η μεγάλη δυσκολία και πολυπλοκότητα των προβλημάτων αυτών, η οποία μάλιστα αυξάνεται σημαντικά με την προσθήκη νέων κόμβων στο δίκτυο ή νέων περιορισμών. Στη συνέχεια περιγράφηκαν περιφραστικά αλλά και αλγοριθμικά-μαθηματικά οι πιο γνωστές και ευρείες επί μέρους κατηγορίες των προβλημάτων δικτύου ενώ μάλιστα παρατηρήθηκε πως τα περισσότερα αν όχι όλα εκφυλίζονται σε προβλήματα βελτιστοποίησης ως προς το χαμηλότερο κόστος έπειτα από κάποιες άλλοτε μικρότερες και άλλοτε μεγαλύτερες τροποποιήσεις. Έγινε, λόγου

χάριν κατανοητό πως το πρόβλημα της συντομότερης διαδρομής ουσιαστικά συμπίπτει με το πρόβλημα του χαμηλότερου κόστους ενώ στο τελευταίο μπορούν να μετατραπούν εύκολα και τα προβλήματα της μεταφοράς ή της μεταφόρτωσης. Ολοκληρώνοντας, διατυπώθηκαν δύο από τα πιο γνωστά και ταυτόχρονα πιο σύνθετα προβλήματα δικτύου αλλά και όλης της επιχειρησιακής έρευνας, και συγκεκριμένα το πρόβλημα του περιοδεύοντος πωλητή και το πρόβλημα της του προγραμματισμού και δρομολόγησης οχημάτων. Η ευρεία ενασχόληση της επιστημονικής κοινότητας με αυτά και η ραγδαία εμφάνιση παραλλαγών των βασικών προβλημάτων οφείλεται τόσο στη πολυπλοκότητα της επίλυσής τους αλλά και στην μεγάλη εφαρμογή τους σε πραγματικά και υπαρκτά προβλήματα επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται σε διάφορους τομείς όπως οι μεταφορές, οι τηλεπικοινωνίες κ.α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Εισαγωγή στους Γενετικούς Αλγόριθμους

5.1 Γενικά στοιχεία Γενετικών Αλγορίθμων, παράθεση ιστορικών δεδομένων

Η εύρεση της βέλτιστης λύσης πολλών υπολογιστικών προβλημάτων απαιτεί την αναζήτηση ανάμεσα σε έναν τεράστιο αριθμό υποψήφιας λύσεων και για αυτό υπάρχει απαίτηση από το χρησιμοποιούμενο αλγόριθμο βελτιστοποίησης να είναι προσαρμοστικός, να συνεχίσει δηλαδή να αποδίδει σε διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον, και να χρησιμοποιεί καινοτόμες μεθόδους. Όταν μάλιστα ο χώρος αναζήτησης των υποψήφιας λύσεων είναι ανομοιογενής, παρουσιάζει ασυνέχειες ή ακόμη και πολλαπλά σημεία καμψής, αν συνδυαστεί και με μια σύνθετη αντικειμενική συνάρτηση, καθιστά τον εντοπισμό της βέλτιστης λύσης μια ιδιαίτερα επίπονη και δύσκολη υπόθεση. Έτσι, λόγω της προσπάθειας εύρεσης μιας γρήγορης και αποτελεσματικής μεθόδου για τη λύση τέτοιων πολύπλοκων προβλημάτων, τα τελευταία πενήντα χρόνια παρατηρείται έντονο ενδιαφέρον από την επιστημονική κοινότητα για την ανάπτυξη συστημάτων επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης βασισμένα στη δαρβινική θεωρία, δηλαδή στις Αρχές της φυσικής εξέλιξης. Η βασική ιδέα πίσω από τη λειτουργία των συστημάτων αυτών ήταν η δημιουργία πληθυσμών κωδικοποιημένων πιθανών λύσεων του προβλήματος και η προσπάθεια εξέλιξής τους παράγοντας νέους, εφαρμόζοντας μεθόδους εμπνευσμένες από τη βιολογική εξέλιξη.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι (genetic algorithms) αποτελούν ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων συστημάτων, ενώ μαζί με τον Εξελικτικό προγραμματισμό (Evolutionary programming), τις Στρατηγικές Εξέλιξης (Evolution Strategies), το Γενετικό Προγραμματισμό (Genetic Programming) και τα Συστήματα Ταξινόμησης (Learning Classifier Systems), απαρτίζουν μια κατηγορία συστημάτων επίλυσης προβλημάτων που είναι γνωστή ως **Εξελικτικοί Αλγόριθμοι** (Evolutionary Algorithms). Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι ανήκουν στη ευρύτερη ομάδα των μεταεριστικών αλγορίθμων βελτιστοποίησης ενώ η ευρεία χρήση τους οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο στοχαστικό χαρακτήρα που ακολουθούν κατά τη διάρκεια της

επαναληπτικής διαδικασίας για τον εντοπισμό της βέλτιστης λύσης, με αποτέλεσμα να μην εγκλωβίζονται σε τοπικά μέγιστα ή ελάχιστα. Βέβαια, οι εξελικτικοί αλγόριθμοι και κατ' επέκταση η γενετικοί, δε μπορούν να εγγυηθούν την εύρεση της βέλτιστης λύσης, αλλά μιας «καλής» λύσης.

Σε αυτό το σημείο θα γίνει μια συνοπτική παράθεση των σημαντικότερων ιστορικών δεδομένων που έχουν σχέση με τους γενετικούς αλγόριθμους. Οι ρίζες των γενετικών αλγορίθμων βρίσκονται στη δεκαετία του 1950, κατά την οποία ο βιολόγος Baricelli σε συνεργασία με τον φημισμένο σε θέματα πληροφορικής επιστήμονα Frazer άρχισαν να χρησιμοποιούν υπολογιστικές μεθόδους στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν βαθύτερα τις γενετικές διαδικασίες, τα κριτήρια με τα οποία πραγματοποιούνται οι επιλογές στη φύση καθώς και η φυσική εξέλιξη. Σημαντική ήταν η συνεισφορά και των Bremermann και Bledsoe, οι οποίοι στις αρχές της δεκαετίας του 1960 προσπάθησαν να λύσουν ανισοτικές σχέσεις και να βελτιστοποιήσουν συναρτήσεις κωδικοποιημένες στο δυαδικό σύστημα προσεγγίζοντας μεθόδους της εξελικτικής θεωρίας. Σίγουρα όμως «εφευρέτης» και «πατέρας» των γενετικών αλγορίθμων ήταν ο John Holland, ο οποίος και τους ανέπτυξε σε συνεργασία με μαθητές και συνεργάτες του στο πανεπιστήμιο του Michigan τις δεκαετίες του 1960 και του 1970. Ο πρωταρχικός ρόλος του Holland δεν ήταν η σχεδίαση αλγορίθμων βελτιστοποίησης, σε αντίθεση με τους άλλους τύπους εξελικτικών αλγορίθμων, αλλά η μελέτη και μοντελοποίηση των μηχανισμών προσαρμοστικότητας στη φύση καθώς και του φαινομένου της Φυσικής εξέλιξης και η μετέπειτα εφαρμογή του στη πληροφορική, στοιχεία τα οποία παρουσίασε το 1975 στο βιβλίο του "Adaption in Natural and Artificial Systems". Οι γενετικοί αλγόριθμοι του Holland αποτελούν μια μέθοδο εξέλιξης και βελτίωσης ενός πληθυσμού «χρωμοσωμάτων» (στη πληροφορική είναι μια σειρά αποτελούμενη από τους αριθμούς 1 και 0), εφαρμόζοντας τεχνικές «φυσικής-τυχαίας επιλογής» και τους δανεισμένους από τη γενετική τελεστές Διασταύρωσης (crossover), μετάλλαξης (mutation) και αντιστροφής (inversion). Σύμφωνα με το Holland κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από γονίδια (genes), τα οποία με τη σειρά τους μπορούν να πάρουν κάποιες συγκεκριμένες τιμές που ονομάζονται αλληλόμορφα (allele). Ο τελεστής επιλογής διαλέγει τα χρωμοσώματα του

πληθυσμού που θα μπορέσουν να αναπαραχθούν, ενώ κατά μέσο όρο τα ικανότερα (fitter) αναπαράγουν περισσότερους απογόνους. Στους γενετικούς αλγόριθμους του Holland, μέσω του τελεστή διασταύρωσης ανταλλάσσονται κάποια μέρη μεταξύ δύο χρωμοσωμάτων (αντιγραφή της διαδικασίας επανασύνδεσης μεταξύ μονών βιολογικών χρωμοσωμάτων), μέσω του τελεστή μετάλλαξης αλλάζονται τυχαία οι τιμές κάποιων αλληλόμορφων των χρωμοσωμάτων και τέλος μέσω του τελεστή αντιστροφής πραγματοποιείται αναδιάταξη (συνήθως αντιστροφή) των γονιδίων των χρωμοσωμάτων.

Είναι σαφές πως οι γενετικοί αλγόριθμοι του Holland αποτελούν μια πολύ σημαντική καινοτομία στο χώρο της επιχειρησιακής έρευνας και του ευρύτερου μαθηματικού προγραμματισμού, ενώ μέχρι πρόσφατα, το θεωρητικό τους υπόβαθρο αποτέλεσε τη βάση πάνω στην οποία γίνονταν οι περισσότερες θεωρητικές έρευνες με θέμα τους γενετικούς αλγόριθμους. Τα τελευταία όμως χρόνια, οι διαφορές και τα όρια μεταξύ των διάφορων εξελικτικών αλγόριθμων έχουν ελαχιστοποιηθεί αν όχι εκμηδενιστεί σε μεγάλο βαθμό και έτσι σήμερα, ο όρος γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιείται από την επιστημονική κοινότητα για να περιγράψει μια αρκετά διαφοροποιημένη αλλά και ταυτόχρονα εμπνευσμένη διαδικασία από αυτή που εφηύρε ο Holland.

5.2 Ορολογία των Γενετικών Αλγορίθμων

Γνωρίζοντας πως η σύλληψη της ιδέας των Γενετικών Αλγορίθμων βασίζεται κατά κύριο λόγο στη Δαρβινική θεωρία και πως η χρησιμοποιούμενη ορολογία είναι δανεισμένη από την επιστήμη της Βιολογίας, κρίνεται σε αυτό το σημείο απαραίτητη η περιγραφή και σύγκριση των όρων όπως αυτοί διατυπώνονται τόσο στη Βιολογία όσο και στη Πληροφορική με σκοπό την πιο ολοκληρωμένη κατανόησή τους.

Αρχικά, σύμφωνα με την επιστήμη της Βιολογίας, όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί αποτελούνται από κύτταρα (cells), το καθένα από τα οποία εμπεριέχει τον ίδιο συνδυασμό από ένα ή περισσότερα χρωμοσώματα (chromosomes), τις λωρίδες δηλαδή του DNA, τα οποία λειτουργούν και ως τα «δακτυλικά αποτυπώματα» του

κάθε οργανισμού. Κάθε χρωμόσωμα απαρτίζεται με τη σειρά του από διάφορα γονίδια (genes), καθένα από τα οποία κωδικοποιεί μια συγκεκριμένη πληροφορία ή ένα χαρακτηριστικό, όπως για παράδειγμα είναι το χρώμα των ματιών, ενώ οι δυνατές επιλογές της πληροφορίας(στο παράδειγμά μας το μπλε, το πράσινο και το καφέ χρώμα) ονομάζονται αλληλόμορφα (alleles). Πρέπει να σημειωθεί πως τα γονίδια τοποθετούνται σε συγκεκριμένες θέσεις (loci) εντός του χρωμοσώματος.

Οι περισσότεροι οργανισμοί περιέχουν πολλά χρωμοσώματα εντός των κυττάρων τους, τα οποία όλα μαζί παράγουν το γονιδίωμα (genome) του οργανισμού, ενώ ο όρος γενότυπο (genotype) αναφέρεται στο καθορισμένο συνδυασμό γονιδίων που περιέχονται στο γονιδίωμα. Έτσι, δυο ξεχωριστοί οργανισμοί που έχουν πανομοιότυπα γονιδιώματα θεωρείται ότι έχουν και τον ίδιο γενότυπο. Ακόμη, τόσο κατά την εμβρυική κατάσταση όσο και κατά την ανάπτυξη ενός οργανισμού, ο γενότυπος παράγει το φαινότυπο (phenotype), στον οποίο εμπεριέχονται πληροφορίες για τα πνευματικά και τα σωματικά χαρακτηριστικά του οργανισμού, όπως είναι για παράδειγμα το ύψος, το χρώμα των μαλλιών και η νοημοσύνη.

Τα χρωμοσώματα των περισσότερων οργανισμών, περιλαμβανομένων και των ανθρώπων, βρίσκονται σε ζεύγη και γι' αυτό οι οργανισμοί αυτοί καλούνται διπλοειδείς (diploid) για να διακρίνονται από τους απλοειδείς (haploid), δηλαδή αυτούς των οποίων τα χρωμοσώματα μένουν αταίριαστα. Η διασταύρωση (crossover) αποτελεί φαινόμενο της βιολογικής αναπαραγωγής, κατά το οποίο σε κάθε γονέα ανταλλάσσονται γονίδια εντός κάθε ζευγαριού χρωμοσωμάτων ώστε να σχηματίσουν ένα γαμέτη (gamete), ένα μονό χρωμόσωμα δηλαδή. Οι γαμέτες κάθε γονέα συνδέονται και παράγουν και πάλι ένα ζεύγος χρωμοσωμάτων. Κατά την αναπαραγωγή απλοειδών οργανισμών, πραγματοποιείται ανταλλαγή γονιδίων μεταξύ των μονών χρωμοσωμάτων των δύο γονέων. Επίσης, παρατηρείται το φαινόμενο της μετάλλαξης (mutation), κατά το οποίο κάποια νουκλεοτίδια (nucleotides) μεταβάλλονται από τους γονείς στους απογόνους με σκοπό την αποτροπή της μετάδοσης πιθανών σφαλμάτων. Τέλος, η πιθανότητα ενός οργανισμού να ζήσει για να αναπαραχθεί διατυπώνεται με τον όρο ικανότητα (fitness).

Αναφερόμενοι τώρα στους γενετικούς αλγόριθμους, οι υποψήφιας λύσεις ενός προβλήματος βελτιστοποίησης καλούνται χρωμοσώματα, δεδομένου ότι στην πλειοψηφία τους κωδικοποιούνται με τη μορφή σειρών δυαδικών ψηφίων (bit strings). Έτσι, σε πλήρη αναλογία με τη Βιολογία, τα γονίδια αποτελούνται από ένα δυαδικό ψηφίο ή από μικρό συνδυασμό διαδοχικών – συνεχόμενων ψηφίων, κωδικοποιώντας με αυτό τον τρόπο κάποιο στοιχείο ή πληροφορία της υποψήφιας λύσης ή ακόμα και κάποια παράμετρο της λύσης όταν επιδιώκεται βελτιστοποίηση πολλών μεταβλητών. Προφανώς, οι αριθμοί 0 και 1 είναι τα λεγόμενα αλληλόμορφα, καθένα από τα οποία καταλαμβάνουν μία θέση (loci).

Κατά τη διαδικασία της διασταύρωσης ανταλλάσσεται γενετικό υλικό (συνήθως γονίδια) μεταξύ δύο μονοχρωμοσωματικών γονέων με αποτέλεσμα τη δημιουργία δύο νέων απογόνων ενώ κατά την μετάλλαξη, πραγματοποιείται αυθαίρετη-τυχαία επιλογή και αλλαγή του αλληλόμορφου (τιμής) ενός ή περισσότερων γονιδίων . Έτσι, μπορούμε να υποθέσουμε πως η διασταύρωση συντελεί στην ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα σε δύο υποψήφιας λύσεις ενώ η μετάλλαξη εξυπηρετεί στην εισαγωγή νέων πιθανών λύσεων, νέων διαφορετικών λύσεων στον ήδη υπάρχοντα πληθυσμό.⁵

Ο γενότυπος ενός γενετικού αλγορίθμου δεν είναι τίποτα περισσότερο από τη διάταξη και σύνθεση των μεμονωμένων δυαδικών ψηφίων εντός του χρωμοσώματος. Ο φαινότυπος ενός γενετικού αλγορίθμου σπάνια χρησιμοποιείται ως όρος ή διαχωρίζεται από το γενότυπό του. Τα τελευταία όμως χρόνια, έχουν δημοσιευθεί αρκετές έρευνες στις οποίες εμφανίζονται γενετικοί αλγόριθμοι με φαινότυπο.

Τέλος, ορίζεται πάντοτε μια συνάρτηση ικανότητας (fitness function), με βάση την οποία βαθμολογείται η ικανότητα κάθε χρωμοσώματος του εκάστοτε πληθυσμού, αξιολογείται δηλαδή η επίδοση κάθε χρωμοσώματος στην λύση του προβλήματος. Η συνάρτηση ικανότητας, αποτελεί ουσιαστικά την αντικειμενική συνάρτηση βελτιστοποίησης του προβλήματος και οριοθετεί σε τεράστιο βαθμό την εξέλιξη του

⁵ Εισαγωγή στους γενετικούς Αλγόριθμους, Ευστράτιος Φ. Γεωργόπουλος, Σπυρίδων Δ. Λυκοθανάσης, Πάτρα 1999, σελ. 5

πληθυσμού. Όλες οι υποψήφιες λύσεις βελτιστοποίησης της αντικειμενικής συνάρτησης διαμορφώνουν το **χώρο-πεδίο αναζήτησης**.

5.3 Χαρακτηριστικά στοιχεία ενός απλού γενετικού αλγορίθμου

Λαμβάνοντας υπόψη όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι απαραίτητο να δοθεί ένας ορισμός των γενετικών αλγορίθμων. Γενετικούς αλγόριθμους, ονομάζουμε όλες τις υπολογιστικές μεθόδους βελτιστοποίησης οι οποίες περιλαμβάνουν τουλάχιστον τα εξής στοιχεία: πληθυσμούς χρωμοσωμάτων, επιλογή των τελευταίων ανάλογα με την ικανότητά τους, διαδικασίες διασταύρωσης για την παραγωγή απογόνων καθώς και τυχαίας μετάλλαξης των απογόνων. Η διαδικασία της αναστροφής στους γενετικούς αλγορίθμους, όπως αυτή τη περιέγραψε ο John Holland, βρίσκει ελάχιστη λειτουργικότητα στις σύγχρονες εφαρμογές. Βέβαια πρέπει να υπογραμμισθεί πως δεν υπάρχει κάποιος ακριβής ορισμός των γενετικών αλγορίθμων που να τους διαχωρίζει πλήρως από τους υπόλοιπους εξελικτικούς αλγόριθμους και να χαίρει ευρείας αποδοχής από την πανεπιστημιακή κοινότητα⁶.

Σε αυτό το σημείο κρίνεται απαραίτητο να παρατεθούν τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται ένας γενετικός αλγόριθμος:

- Γενετική Αναπαράσταση
- Δημιουργία – Επιλογή του αρχικού πληθυσμού
- Συνάρτηση ικανότητας (αντικειμενική συνάρτηση)
- Γενετικοί τελεστές
- Τιμές των παραμέτρων του γενετικού αλγόριθμου (π.χ. μέγεθος πληθυσμού, πιθανότητες διασταύρωσης και μετάλλαξης κλπ)

Ένας από τους κυριότερους, αν όχι ο κυριότερος παράγοντας για μια επιτυχημένη βελτιστοποίηση ενός προβλήματος με χρήση γενετικών αλγορίθμων αποτελεί ο τρόπος-σύστημα αναπαράστασης και κωδικοποίησης των υποψήφιων λύσεων, ή όπως αποκαλείται, η **γενετική αναπαράσταση** των λύσεων. Ο πιο διαδεδομένος

⁶ An introduction to genetic algorithms, Mitchell Melanie, A Bradford Book the MIT Press, Fifth Printing 1999, page 7

τρόπος αναπαράστασης των υποψήφίων λύσεων είναι, όπως αναφέρθηκε και κατά τη παρουσίαση της ορολογίας, το δυαδικό σύστημα. Συχνή είναι όμως και η αναπαράσταση λύσεων με χρήση ακεραίων ή πραγματικών αριθμών ενώ είναι δυνατή ακόμη και η χρήση χαρακτήρων, όπως είναι τα γράμματα της αλφαβήτου. Μάλιστα υπάρχουν και ακόμη πιο σύνθετοι τρόποι γενετικής αναπαράστασης όπως είναι η δενδροειδής κωδικοποίηση.

Σύμφωνα με τον Goldberg, στο δυαδικό σύστημα αναπαράστασης, ο χώρος αναζήτησης Φ_g απεικονίζεται ως $\Phi_g = \{0,1\}^l$, όπου l το μήκος του δυαδικού διανύσματος $\chi^g = (x_1^g, \dots, x_l^g) \in \{0,1\}^l$. Ακόμη, κατά τη κωδικοποίηση συνεχών μεταβλητών με τη χρήση δυαδικών διανυσμάτων, η ακρίβεια της αναπαράστασης εξαρτάται άμεσα από τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων, από το μήκος δηλαδή του διανύσματος. Έτσι με την αύξηση των δυαδικών ψηφίων που χρησιμοποιούνται, η ακρίβεια της αναπαράστασης της συνεχούς μεταβλητής αυξάνεται και εκείνη. Αν θεωρήσουμε επομένως πως το μήκος του δυαδικού διανύσματος είναι ίσο με l , η μέγιστη ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί είναι ίση με $1/2^{l+1}$ ⁷.

Προκειμένου να γίνει απολύτως κατανοητή η γενετική αναπαράσταση σε δυαδικό σύστημα κωδικοποίησης, δίδονται τα ακόλουθα παραδείγματα. Έστω λοιπόν ο γενότυπος (11,6,9), ο οποίος σε δυαδική αναπαράσταση αποτελείται από τα ακόλουθα χρωμοσώματα (1011, 0110, 10010. Αν πάλι μία πληροφορία πρέπει να μεταφραστεί από το δυαδικό στο δεκαδικό σύστημα για κάποιο λόγο (π.χ. για να αξιολογηθεί η ικανότητά του από την αντικειμενική συνάρτηση), η διαδικασία που ακολουθείται περιγράφεται ως εξής: $\alpha_n \dots \alpha_2 \alpha_1 = \alpha_1 \times 2^0 + \alpha_2 \times 2^1 + \dots + \alpha_n \times 2^{n-1}$, όπου $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n \in \{0, 1\}$. Στο δυαδικό σύστημα δηλαδή κάθε αριθμός είναι μια αύξουσα δύναμη του 2 αρχίζοντας πάντοτε από το 2^0 .

Άλλο ένα κρίσιμο και καθοριστικό χαρακτηριστικό που πρέπει να ορίζεται πάντοτε κατά την επίλυση προβλημάτων με χρήση γενετικών αλγορίθμων αποτελεί το **μέγεθος του πληθυσμού**, του αριθμού δηλαδή των χρωμοσωμάτων που συνθέτουν κάθε πληθυσμό. Πληθυσμοί αποτελούμενοι από μικρό αριθμό χρωμοσωμάτων γενικά μειώνουν αισθητά τις πιθανότητες πραγματοποίησης της διαδικασίας της

⁷ Franz Rothlauf, Representations for Genetic and Evolutionary Algorithms, Springer, page 14

διασταύρωσης με αποτέλεσμα να εξετάζεται ένα μικρό κομμάτι του χώρου αναζήτησης. Ακόμη, στη περίπτωση ενός μικρού πληθυσμού η εύρεση της λύσης επέρχεται αρκετά γρήγορα, είναι όμως συχνά εγκλωβισμένα σε τοπικά ακρότατα (μέγιστα ή ελάχιστα). Από την άλλη πλευρά, η ύπαρξη πληθυσμών μεγάλου μεγέθους μπορεί να απαλείψει αποτελεσματικά τα προαναφερθέντα προβλήματα, αυξάνοντας όμως σημαντικά τον απαιτούμενο χρόνο αναζήτησης της βέλτιστης λύσης (αντίστοιχα μειώνοντας τη ταχύτητα). Εμπειρικά έχει διατυπωθεί η άποψη πως ο βέλτιστος αριθμός χρωμοσωμάτων εντός του πληθυσμού είναι γύρω στα 20 με 30 για προβλήματα μέτριας δυσκολίας και 50 έως 100 για σύνθετα προβλήματα.

Πριν παρουσιαστεί η δομή και ο τρόπος λειτουργίας ενός απλού γενετικού αλγόριθμου, είναι σημαντικό να γίνει αντιληπτός, με χρήση απλών παραδειγμάτων, ο ρόλος των διάφορων τελεστών καθώς και της συνάρτησης ικανότητας, μιας και αποτελούν θεμελιώδη συστατικά για την κατάστρωση των αλγορίθμων και την επίλυση προβλημάτων με αυτή τη μέθοδο.

Δεδομένης, λοιπόν της ευρείας εφαρμογής των γενετικών αλγορίθμων για τη βελτιστοποίηση συναρτήσεων, δίδεται το ακόλουθο παράδειγμα, στο οποίο απαιτείται η εύρεση των πραγματικών λύσεων που μεγιστοποιούν τη πραγματική συνάρτηση: $f(x) = x + |\sin(12x + 1)|$ για κάθε $0 < x < \pi$. Η συνάρτηση αυτή αποτελεί και τη συνάρτηση ικανότητας. Σύμφωνα με το Riolo, οι υποψήφιος λύσεις είναι οι τιμές του x εντός του πεδίου ορισμού (χώρου αναζήτησης), εκφρασμένες στο δυαδικό σύστημα. Ο υπολογισμός της ικανότητας μιας υποψήφιας λύσης, ουσιαστικά «μεταφράζει» την συγκεκριμένη αλυσίδα δυαδικών ψηφίων σε πραγματικό αριθμό και έπειτα αξιολογεί τη συνάρτηση σε αυτή τη τιμή. Η ικανότητα κάθε αλυσίδας δυαδικών ψηφίων (κάθε χρωμοσώματος) είναι η τιμή της συνάρτησης ικανότητας στην οποία αντιστοιχούν.

Οι βασικότεροι τελεστές που χρησιμοποιούνται σε κάθε γενετικό αλγόριθμο είναι οι ακόλουθοι:

Τελεστής επιλογής: Διαλέγει τα χρωμοσώματα από τον πληθυσμό που θα αναπαραχθούν. Τα χρωμοσώματα με μεγαλύτερη ικανότητα έχουν και περισσότερες πιθανότητες να επιλεγθούν για αναπαραγωγή.

Τελεστής διασταύρωσης: Επιλέγει τυχαία μια θέση, και ανταλλάσσει τις αλυσίδες των γονιδίων πριν ή/και μετά από αυτή τη θέση ανάμεσα στα δύο χρωμοσώματα για να παράξει δύο απογόνους. Για παράδειγμα, έστω τα χρωμοσώματα 10000100 και 11111111, των οποίων τα γονίδια θα διασταυρωθούν μετά τη τρίτη θέση, δημιουργώντας έτσι τα 10011111 και 11100100.

Τελεστής μετάλλαξης: Ο τελεστής αυτός τυχαία αλλάζει τη τιμή κάποιων γονιδίων στο χρωμόσωμα. Για παράδειγμα, μετάλλαξη στη δεύτερη και Πέμπτη θέση του χρωμοσώματος 11111111 παράγει το 10110111. Η μετάλλαξη μπορεί να συμβεί σε οποιαδήποτε θέση του χρωμοσώματος με κάποια μικρή πιθανότητα (π.χ. 0,001).

5.4 Δομή και περιγραφή λειτουργίας ενός γενετικού αλγόριθμου

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα βήματα που ακολουθούνται κατά τη λειτουργία ενός απλού γενετικού αλγόριθμου:

1. Έναρξη και τυχαία παραγωγή πληθυσμού n χρωμοσωμάτων, το καθένα από τα οποία θα αποτελείται μ δυαδικά ψηφία (υποψήφιος λύσεις του προβλήματος)
2. Υπολογισμός της συνάρτησης ικανότητας $f(x)$ κάθε χρωμοσώματος x εντός του πληθυσμού.
3. Επανάληψη των ακόλουθων βημάτων μέχρι τη παραγωγή n απογόνων:
 - A. Επιλογή ενός ζεύγους γονέων χρωμοσωμάτων από τον υπάρχον πληθυσμό. Η πιθανότητα επιλογής κάθε γονέα καθορίζεται ανάλογα με την αξιολόγηση της επίδοσής του από τη συνάρτηση ικανότητας (μεγαλύτερη ικανότητα συνεπάγεται αυξημένη πιθανότητα). Ακόμη, η επιλογή γίνεται «με αντικατάσταση», πράγμα που σημαίνει πως δεν υπάρχει περιορισμός στις φορές που μπορεί να επιλεγθεί κάποιο χρωμόσωμα για να γίνει γονέας.
 - B. Με δεδομένη πιθανότητα p_c (η οποία καλείται **πιθανότητα διασταύρωσης** ή αλλιώς **βαθμός διασταύρωσης**), πραγματοποίηση διασταύρωσης γύρω από ένα τυχαία επιλεγμένο σημείο με σκοπό τη

παραγωγή δύο νέων απογόνων. Στην περίπτωση που δε γίνει διασταύρωση, οι δύο νέοι απόγονοι είναι ακριβή αντίγραφα των γονέων τους. Να σημειωθεί πως ο βαθμός διασταύρωσης εκφράζει τη πιθανότητα διασταύρωσης δύο χρωμοσωμάτων γύρω από ένα συγκεκριμένο σημείο. (Υπάρχουν βέβαια και εκδοχές γενετικών αλγορίθμων, στις οποίες ο βαθμός διασταύρωσης αναφέρεται στον αριθμό των σημείων όπου πραγματοποιείται η διασταύρωση των γονέων).

C. Μετάλλαξη των απογόνων σε κάθε σημείο με βάση τη πιθανότητα p_m (καλείται πιθανότητα μετάλλαξης ή βαθμός μετάλλαξης) και τοποθέτηση των χρωμοσωμάτων στο νέο πληθυσμό.

Εάν ο αριθμός χρωμοσωμάτων στο πληθυσμό n είναι περιττός, ένα από τα νέα μέλη του πληθυσμού μπορεί να απορριφθεί – αποβληθεί με τυχαίο τρόπο.

4. Αντικατάσταση του υπάρχοντος πληθυσμού με το νέο πληθυσμό.

5. Επιστροφή στο βήμα 2.

Η παραπάνω διαδικασία ονομάζεται γενετικός κύκλος, κάθε επανάληψη του οποίου παράγει μια νέα **γενιά (generation)**. Είναι λογικό μετά από ένα αριθμό επαναλήψεων και παραγωγής γενεών ο αλγόριθμος να μην παρουσιάζει κάποια καλύτερη λύση (ή τουλάχιστον αισθητά καλύτερη) λύση, οπότε και τερματίζεται η λειτουργία του. Πρακτικά, η λειτουργία του γενετικού αλγορίθμου τερματίζεται όταν η μέση τιμή των «ικανοτήτων» όλων των μελών δεν έχει βελτιωθεί τις τελευταίες γενεές κατά μεγαλύτερο ποσοστό μιας δοσμένης τιμής. Ένας συνηθισμένος αριθμός επαναλήψεων στους γενετικούς αλγόριθμους είναι περίπου 50 μέχρι και 500 γενιές. Ακόμη, μια **σειρά-τρέξιμο (run)** αναφέρεται στο σύνολο των γενεών που παρήχθησαν. Έτσι, το πιθανότερο είναι πως στο τέλος κάθε τρεξίματος του γενετικού αλγορίθμου να υπάρχουν περισσότερα «ικανότερα» χρωμοσώματα εντός του πληθυσμού. Είναι προφανές πως το ικανότερο σύμφωνα με την αντικειμενική συνάρτηση χρωμόσωμα που έχει παραχθεί αντιστοιχεί στη

βέλτιστη λύση, η οποία όμως δεν είναι απαραίτητο να είναι και η καθολικά βέλτιστη λύση του προβλήματος.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται και περιγράφονται αναλυτικότερα τα διάφορα στάδια που λαμβάνουν χώρα κατά τη βελτιστοποίηση με γενετικούς αλγορίθμους.

Παραγωγή αρχικού πληθυσμού (αρχικοποίηση του προβλήματος)

Στο πρώτο αυτό στάδιο παράγεται τυχαία ένας πληθυσμός από υποψήφιας πιθανές λύσεις. Παράγονται λοιπόν τυχαία $n \times \mu$ δυαδικά ψηφία, όπου n είναι το μέγεθος του πληθυσμού και μ ο αριθμός των γονιδίων (εδώ παραδοχή πως κάθε δυαδικό ψηφίο είναι και ένα γονίδιο) σε κάθε χρωμόσωμα. Πρέπει να τονισθεί πως το μέγεθος του πληθυσμού παραμένει σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του γενετικού αλγόριθμου και δε μεταβάλλεται από γενιά σε γενιά.

Διαδικασία επιλογής

Είναι προφανές πως σκοπός της διαδικασίας της επιλογής, του τρόπου δηλαδή με τον οποίο θα επιλεχθούν τα χρωμοσώματα κάθε πληθυσμού ώστε να παράγουν απογόνους, είναι να προτιμούνται τα «ικανότερα» χρωμοσώματα τα οποία θα έχουν και τις περισσότερες πιθανότητες να δημιουργήσουν ακόμα πιο ικανούς απογόνους. Παρόλα αυτά πρέπει να διατηρούνται οι ισορροπίες καθώς υπάρχει ο κίνδυνος κατακλυσμού του πληθυσμού από ιδιαίτερα «ικανά» αλλά όχι βέλτιστα χρωμοσώματα, μειώνοντας δραστικά τη διαφορετικότητα εντός του πληθυσμού που απαιτείται για περεταίρω αλλαγή και εξέλιξη του τελευταίου. Η διαδικασία της επιλογής, εφαρμόζεται στον αλγόριθμο μέσω του ομώνυμου τελεστή και αποτελεί μια από τις βασικότερες, αν όχι τη βασικότερη διαδικασία του αλγορίθμου. Όπως ακριβώς και με τους τρόπους κωδικοποίησης και αναπαράστασης, έχουν προταθεί διάφορες διαδικασίες επιλογής του νέου πληθυσμού, η πιο διαδεδομένη εκ των οποίων είναι η **μέθοδος ρουλέτας με σχισμές (slotted roulette wheel)**, η οποία και παρουσιάζεται στη συνέχεια. Εξειδικευμένη περίπτωση αυτής της μεθόδου είναι αυτή της στοχαστικής καθολικής δειγματοληψίας (stochastic universal sampling).

Η βασική ιδέα πίσω από τη μέθοδο της ρουλέτας βρίσκεται στη παραδοχή πως η «προσδοκώμενη» αξία κάθε χρωμοσώματος, δηλαδή ο προσδοκώμενος αριθμός

φορών που θα επιλεγεί ένα χρωμόσωμα για να αναχαραχθεί, ισοδυναμεί με την «ικανότητα» του χρωμοσώματος, όπως αυτή προκύπτει από την αντικειμενική συνάρτηση, διαιρεμένη με την αντίστοιχη μέση «ικανότητα» του πληθυσμού. Έτσι, σε κάθε χρωμόσωμα αναλογεί ένα κομμάτι-μεριδίο της ρουλέτας, το μέγεθος του οποίου εξαρτάται από την αξιολόγηση της «ικανότητάς» του. Η ρουλέτα περιστρέφεται ν φορές, όσος δηλαδή είναι και ο αριθμός των χρωμοσωμάτων κάθε πληθυσμού, και το χρωμόσωμα το οποίο τυχαίνει μετά από κάθε περιστροφή, επιλέγεται να αποτελέσει γονέας για τον επόμενο πληθυσμό. Είναι φανερό, πως κάθε χρωμόσωμα μπορεί να επιλεγεί περισσότερες από μία φορές ενώ η πιθανότητα του να συμβεί κάτι τέτοιο είναι άμεση συνάρτηση της «ικανότητάς» του.

Αναλυτικά ένας τρόπος κατασκευής της ρουλέτας έχει ως εξής:

- Υπολογισμός της «ικανότητας» $eval(a_i)$ κάθε χρωμοσώματος a_i , όπου $i = 1, 2, \dots, \nu$.
- Υπολογισμός της συνολικής «ικανότητας» του πληθυσμού $F = \sum_{i=1}^{\nu} eval(a_i)$.
- Υπολογισμός πιθανότητας επιλογής p_i κάθε χρωμοσώματος a_i , όπου $i = 1, 2, \dots, \nu$, $p_i = eval(a_i)/F$.
- Υπολογισμός αθροιστικής πιθανότητας q_i κάθε χρωμοσώματος a_i , όπου $i = 1, 2, \dots, \nu$, $q_i = \sum_{j=1}^i p_j$.

Όπως προαναφέρθηκε για την επιλογή των γονέων του νέου πληθυσμού γίνεται περιστροφή της ρουλέτας ν φορές και ακολουθείται η ακόλουθη διαδικασία:

- Τυχαία επιλογή πραγματικού αριθμού r από 0 έως 1.
- Αν $r < q_1$, επιλογή του χρωμοσώματος a_1 , σε διαφορετική περίπτωση επιλογή του a_i , $2 \leq i \leq \nu$, ώστε $q_{i-1} < r \leq q_i$.

Αναφορικά τώρα με τη μέθοδο στοχαστικής καθολικής δειγματοληψίας, αντί να περιστραφεί η ρουλέτα ν φορές, τοποθετούνται ν ξεχωριστοί και ισαπέχοντες

δείκτες επιλογής, οι οποίοι επιλέγουν κατά τη μοναδική περιστροφή της ρουλέτας και τους ν γονείς του νέου πληθυσμού.

Πέρα όμως από τη μέθοδο της ρουλέτας, έχουν προταθεί και άλλες αξιόλογες διαδικασίες επιλογής, οι κυριότερες εκ των οποίων είναι οι εξής:

- **Κατανομή σίγμα (Sigma Scaling):** Η «προσδοκώμενη αξία» (όπως προτάθηκε και στη μέθοδο ρουλέτας) κάθε χρωμοσώματος είναι συνάρτηση της «ικανότητάς» τους, της μέσης τιμής του πληθυσμού και της τυπικής απόκλισης του.
- **Ελιτισμός (Elitism):** Προτάθηκε από τον Keneth De Jong (1975), και ανήκει στη κατηγορία των μεθόδων επιλογής όπου διατηρείται σε κάθε γενιά ένα ποσοστό από τα «ικανότερα» χρωμοσώματα». Τα τελευταία όμως μπορούν να χαθούν εάν δεν επιλεχθούν τελικά να συμμετάσχουν στη παραγωγή του νέου πληθυσμού ή αν καταστραφούν κατά τη διαδικασία της διασταύρωσης ή της μετάλλαξης. Θεωρείται πως η επιλογή με αυτή τη μέθοδο βελτιώνει σημαντικά την απόδοση των γενετικών αλγορίθμων.
- **Επιλογή Boltzmann (Boltzmann selection):** Τα κριτήρια επιλογής δεν είναι ίδια καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Αρχικά επιλέγονται σε παρόμοιο βαθμό τόσο τα «ικανότερα» όσο και τα λιγότερο «ικανά» χρωμοσώματα, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η διαφορετικότητα και η ποικιλία στο πληθυσμό καθώς και να αναζητηθούν λύσεις σε όλες τις περιοχές του χώρου αναζήτησης. Στη συνέχεια όμως, δύνεται έμφαση στα «ικανότερα» χρωμοσώματα και τα κριτήρια επιλογής γίνονται αυστηρότερα.
- **Επιλογή με βαθμολόγηση (Ranking selection):** Είναι μια εναλλακτική μέθοδος κατά την οποία τα χρωμοσώματα βαθμολογούνται-ταξινομούνται με βάση την «ικανότητά» τους. Έτσι, η προσδοκώμενη αξία κάθε χρωμοσώματος εξαρτάται από το βαθμό που έχει λάβει.
- **Επιλογή με τουρνουά (Tournament selection):** Γίνεται τυχαία επιλογή μιας ομάδας χρωμοσωμάτων του πληθυσμού και το «ικανότερο» από αυτά «κερδίζει» και διαλέγεται να γίνει γονέας. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται ν φορές, όσο είναι και το μέγεθος του πληθυσμού, ενώ κάθε επανάληψη είναι ανεξάρτητη της προηγούμενης.

Διασταύρωση

Θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί πως η διαδικασία της διασταύρωσης, η οποία εφαρμόζεται με χρήση του ομώνυμου τελεστή, είναι το βασικότερο διαχωριστικό χαρακτηριστικό των γενετικών αλγορίθμων από τους υπόλοιπους εξελικτικούς. Αρχικά επιλέγονται με πιθανότητα p_c , τα δύο χρωμοσώματα που θα διασταυρωθούν. Η **διασταύρωση ενός σημείου** αποτελεί την πιο απλουστευμένη μορφή αυτής της διαδικασίας και αναφέρεται στη τυχαία επιλογή ενός σημείου-θέσης διασταύρωσης, έπειτα από το οποίο οι δύο γονείς θα ανταλλάξουν τα αντίστοιχα τμήματα του χρωμοσώματός τους θα παράξουν τους απογόνους τους. Ευρεία χρήση λόγω της αποτελεσματικότητάς της εμφανίζει και η **διασταύρωση δύο σημείων**, κατά την οποία επιλέγονται και πάλι τυχαία δύο σημεία-θέσεις. Τα γονίδια που εμπεριέχονται εντός των δύο αυτών θέσεων ανταλλάσσονται μεταξύ των δύο γονέων και παράγονται οι απόγονοι.

Η διαδικασία διασταύρωσης ενός σημείου μπορεί να περιγραφεί ως ακολούθως για κάθε μέλος του πληθυσμού ξεχωριστά:

- Τυχαία επιλογή πραγματικού αριθμού $r, r \in (0,1)$.
- Αν $r < p_c$, επιλογή του μέλους αυτού για διασταύρωση.

Αφού επιλεγθούν τα χρωμοσώματα που θα διασταυρωθούν με βάση τη παραπάνω διαδικασία, τα οποία θα είναι περίπου $p_c \times \nu$, σχηματίζονται τυχαία ζεύγη χρωμοσωμάτων. Για κάθε ζεύγος, επιλέγεται και πάλι τυχαία ένας ακέραιος αριθμός $k, k \in [1, \mu - 1]$, όπου μ το μήκος των χρωμοσωμάτων, ο οποίος ουσιαστικά καταδεικνύει τη θέση της διασταύρωσης. Έτσι, παράγονται οι απόγονοι οι οποίοι παίρνουν τη θέση των γονέων στο νέο πληθυσμό⁸.

Μετάλλαξη

Παρόλο που η διαδικασία της διασταύρωσης είναι το βασικό «εργαλείο» που προσδίδει τη διαφορετικότητα και την καινοτομία στους γενετικούς αλγορίθμους, η διαδικασία της μετάλλαξης είναι απαραίτητη καθώς εξασφαλίζει την αποφυγή

⁸ Εισαγωγή στους γενετικούς Αλγόριθμους, Ευστράτιος Φ. Γεωργόπουλος, Σπυρίδων Δ. Λυκοθανάσης, Πάτρα 1999, σελ. 16

ύπαρξης μιας μόνιμης κατάστασης σε κάποια θέση, λειτουργώντας έτσι υποστηρικτικά. Υπενθυμίζεται πως κατά τη μετάλλαξη, με χρήση του αντίστοιχου τελεστή, επιλέγονται τυχαία κάποια γονίδια, των οποίων η τιμή μεταβάλλεται. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη γενετική αναπαραστάση με δυαδικό σύστημα, επιλέγονται ορισμένα δυαδικά ψηφία του πληθυσμού με μικρή πιθανότητα p_m , η οποία συνήθως δε ξεπερνάει το 1%, και αντιστρέφονται. Ο βαθμός μετάλλαξης p_m είναι ίδιος για όλα τα γονίδια και ίσος με $1/\nu$.

Αλγοριθμικά, η διαδικασία μετάλλαξης για κάθε γονίδιο του πληθυσμού ξεχωριστά είναι η εξής:

- Τυχαία επιλογή πραγματικού αριθμού $r, r \in (0,1)$.
- Αν $r < p_m$, επιλογή του γονιδίου αυτού για μετάλλαξη, και εφαρμογή του τελεστή, οπότε και αντιστρέφεται η τιμή του.

Λοιπές μέθοδοι-διαδικασίες εξέλιξης των γενετικών αλγορίθμων

Παραπάνω παρουσιάστηκαν αναλυτικά οι πιο καθιερωμένες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα με τη βοήθεια των ανάλογων τελεστών κατά τη λειτουργία των γενετικών αλγορίθμων. Πρέπει όμως να σημειωθεί πως τα τελευταία χρόνια έχει προταθεί ένα μεγάλο πλήθος τελεστών και γενικότερα στρατηγικών που χρησιμοποιούνται σε εξειδικευμένες περιπτώσεις με σκοπό την αποτελεσματικότερη επίτευξη της διαφορετικότητας εντός του πληθυσμού. Τέτοιου είδους τελεστής είναι και ο αυτός της **αντιστροφής (inversion operator)**, σύμφωνα με τον οποίον επιλέγονται τυχαία δύο γονίδια του χρωμοσώματος και ανταλλάσσουν θέσεις. Για παράδειγμα, εάν το χρωμόσωμα 110111 υποστεί αντιστροφή στη 3^η και 5^η θέση, θα γίνει 111101.

Επιπροσθέτως, ο De Jong πρότεινε το 1975 τον **τελεστή συνωστισμού (crowding operator)**, σύμφωνα με τον οποίο κάθε νέο χρωμόσωμα που παράγεται δεν αντικαθιστά απαραίτητα τους γονείς τους αλλά εκείνο το χρωμόσωμα με το οποίο παρουσιάζει τις περισσότερες ομοιότητες, αποτρέποντας με αυτό τον τρόπο την συνύπαρξη πολλών παρομοίων χρωμοσωμάτων σε κάθε πληθυσμό. Παρεμφερή με τον τελεστή συνωστισμού σκοπό έχει και η **συνάρτηση κατανομής ικανότητας**

(fitness sharing function) που προτάθηκε από τους Goldberg και Richardson (1987). Σύμφωνα με τη τελευταία, η ικανότητα κάθε χρωμοσώματος ελαττώνεται από τη παρουσία άλλων χρωμοσωμάτων εντός του πληθυσμού, ενώ ο βαθμός στον οποίο γίνεται η μείωση είναι εκθετική αύξουσα συνάρτηση της ομοιότητας μεταξύ δύο χρωμοσωμάτων⁹.

5.5 Απλό Πρακτικό Παράδειγμα της λειτουργίας ενός γενετικού αλγόριθμου

Σε αυτό το σημείο δίνεται ένα απλουστευμένο παράδειγμα βελτιστοποίησης ως προς μία μεταβλητή με χρήση γενετικών αλγορίθμων και με βάση τα βήματα και τη μεθοδολογία που παρουσιάστηκαν εκτενώς παραπάνω, έτσι ώστε να γίνει απόλυτα κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούν.

Δίδεται η συνάρτηση $f(x) = x^2$, όπου x ακέραιος αριθμός με $x \in [1,31]$. Ζητείται η εύρεση του μεγίστου της συνάρτησης $f(x)$.

Η γενετική αναπαράσταση θα γίνει στο δυαδικό σύστημα. Θεωρούμε λοιπόν πως το μέγεθος n κάθε πληθυσμού θα είναι ίσο με 4 χρωμοσώματα. Δεδομένου πως θέλουμε να αναπαραστήσουμε στο δυαδικό σύστημα τους ακεραίους μέχρι το 31, θεωρούμε ο αριθμός των γονιδίων μ σε κάθε χρωμόσωμα θα είναι ίσος με 5, αφού $2^5 = 32 > 31$. Έχουμε ορίσει λοιπόν τις παραμέτρους $n = 4$ και $\mu = 5$ και θεωρούμε ακόμη τους βαθμούς διασταύρωσης και μετάλλαξης $p_c = 0,5$ και $p_m = 0,01$.

Πρώτα, παράγουμε τυχαία τον αρχικό μας πληθυσμό (στάδιο αρχικοποίησης), ο οποίος έστω ότι είναι ο:

$$A_1 = 01101 = 13$$

$$A_2 = 11000 = 24$$

$$A_3 = 01000 = 8$$

⁹ An introduction to genetic algorithms, Mitchell Melanie, A Bradford Book the MIT Press, Fifth Printing 1999, page 130

$$A_4 = 10011 = 19$$

Στη συνέχεια γίνεται αξιολόγηση του πληθυσμού αυτού με βάση την αντικειμενική συνάρτηση, υπολογίζεται δηλαδή η ικανότητα κάθε χρωμοσώματος:

$$f(A_1) = 13^2 = 169$$

$$f(A_2) = 24^2 = 576$$

$$f(A_3) = 8^2 = 64$$

$$f(A_4) = 19^2 = 361$$

Η συνολική απόδοση του αρχικού πληθυσμού είναι: $F = \sum_{i=1}^4 f(A_i) = 1170$

Η μέση απόδοση του αρχικού πληθυσμού είναι $F/4 = 293$

Στη συνέχεια γίνεται η επιλογή του ενδιάμεσου πληθυσμού των χρωμοσωμάτων που θα παράγουν την επόμενη γενιά με τη μέθοδο της ρουλέτας. Η πιθανότητα επιλογής κάθε χρωμοσώματος είναι ίση με την ποσοστιαία απόδοσή του στο πληθυσμό. Απαραίτητος είναι και ο υπολογισμός της αθροιστικής πιθανότητας κάθε χρωμοσώματος αφού βάσει αυτού θα γίνει η επιλογή. Έτσι έχουμε:

$$P(A_1) = 169/1170 = 0,14 \text{ και } q_1 = \sum_{j=1}^1 P(A_j) = 0,14$$

$$P(A_2) = 576/1170 = 0,49 \text{ και } q_2 = \sum_{j=1}^2 P(A_j) = 0,63$$

$$P(A_3) = 64/1170 = 0,06 \text{ και } q_3 = \sum_{j=1}^3 P(A_j) = 0,69$$

$$P(A_4) = 361/1170 = 0,31 \text{ και } q_4 = \sum_{j=1}^4 P(A_j) = 1,00$$

Έστω λοιπόν ότι μετά από 4 περιστροφές της ρουλέτας παράγεται η παρακάτω ακολουθία πραγματικών αριθμών εντός του διαστήματος $[0,1]$:

$$0,112 \quad 0,342 \quad 0,567 \quad 0,842$$

Αφού $0,112 < 0,14$, επιλέγεται το πρώτο χρωμόσωμα για να «περάσει» στο νέο πληθυσμό. Ακόμη, αφού $0,14 < 0,342 < 0,63$ επιλέγεται το δεύτερο χρωμόσωμα κ.ο.κ. Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν τα παρακάτω χρωμοσώματα:

$$A'_1 = 01101$$

$$A'_2 = 11000$$

$$A'_3 = 11000$$

$$A'_4 = 10011$$

Σε αυτό το σημείο πρέπει να εφαρμοστεί ο τελεστής διασταύρωσης. Από τα δεδομένα έχουμε ότι ο βαθμός διασταύρωσης είναι ίσος με $p_c = 0,5$, επομένως αναμένουμε να επιλεγούν τα μισά χρωμοσώματα για διασταύρωση. Για κάθε μέλος του πληθυσμού παράγουμε έναν πραγματικό αριθμό r εντός του διαστήματος $[0,1]$ και έτσι αν $r < 0,5$, το χρωμόσωμα αυτό επιλέγεται. Έστω λοιπόν ότι παράγονται οι ακόλουθοι αριθμοί:

$$0,672 \quad 0,754 \quad 0,921 \quad 0,512$$

Έτσι θα διασταυρωθούν και τα τέσσερα χρωμοσώματα ενώ τυχαία είναι η επιλογή των ζευγών διασταύρωσης όπως και της θέσης διασταύρωσης. Έστω ότι η διασταύρωση γίνεται μεταξύ των χρωμοσωμάτων A'_1 και A'_2 στη τέταρτη θέση και μεταξύ των A'_3 και A'_4 στη τέταρτη θέση, οπότε και έχουμε:

$$A''_1 = 01100$$

$$A''_2 = 11001$$

$$A''_3 = 11011$$

$$A''_4 = 10000$$

Η τελευταία διαδικασία είναι η εφαρμογή του τελεστή μετάλλαξης. Ο τελεστής μετάλλαξης αντιμετωπίζει κάθε γονίδιο ξεχωριστά (bit to bit), βλέπει δηλαδή όλα τα χρωμοσώματα σαν μια μεγάλη σειρά δυαδικών ψηφίων. Ο πληθυσμός αποτελείται από $\nu \times \mu = 4 \times 5 = 20$ γονίδια ενώ έχουμε θεωρήσει ότι ο βαθμός μετάλλαξης είναι ίσος με $p_m = 0,01$. Παράγουμε λοιπόν 20 πραγματικούς αριθμούς εντός του διαστήματος $[0,1]$, έναν πραγματικό αριθμό r δηλαδή για κάθε γονίδιο, και αν $r < 0,01$, τότε αντιστρέφουμε το δυαδικό ψηφίο.

Έστω ότι προκύπτουν οι παρακάτω πραγματικοί αριθμοί:

0,431	0,972	0,183	0,243	0,765
0,619	0,118	0,497	0,536	0,995
0,226	0,455	0,784	0,893	0,382
0,961	0,672	0,592	0,009	0,471

Θα μεταλλαχθεί επομένως το τέταρτο γονίδιο του χρωμοσώματος A'_4 και επομένως ο τελικός – νέος πληθυσμός θα είναι ο ακόλουθος:

$$A_1''' = 01100 = 12$$

$$A_2''' = 11001 = 25$$

$$A_3''' = 11011 = 27$$

$$A_4''' = 10010 = 18$$

Τέλος, η αξιολόγηση της «ικανότητας» του νέου πληθυσμού με βάση την αντικειμενική συνάρτηση είναι η εξής:

$$f(A_1''') = 12^2 = 144$$

$$f(A_2''') = 25^2 = 625$$

$$f(A_3''') = 27^2 = 729$$

$$f(A_4''') = 18^2 = 324$$

Η συνολική απόδοση του νέου πληθυσμού είναι: $F' = \sum_{i=1}^4 f(A_i''') = 1822$

Η μέση απόδοση του νέου πληθυσμού είναι $F'/4 = 455$

Παρατηρούμε λοιπόν την ραγδαία αύξηση της «ικανότητας» του πληθυσμού έπειτα από μία μόλις επαναληπτική διαδικασία του γενετικού αλγορίθμου.

5.6 Θεωρητική ανάλυση Γενετικών Αλγορίθμων – Θεωρία Σχημάτων

Η περιγραφή, ο προγραμματισμός και ο τρόπος λειτουργίας των γενετικών αλγορίθμων δεν είναι εύκολη διαδικασία, ενώ η επίδοσή τους στη λύση προβλημάτων βελτιστοποίησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θεωρητική θεμελίωσή τους. Η τελευταία προσδιορίζεται από τη γενετική αναπαράσταση των γενετικών αλγορίθμων (στη δική μας περίπτωση το δυαδικό σύστημα) καθώς και από τη έννοια του **σχήματος (schema)**, η οποία διατυπώθηκε για πρώτη φορά από το Holland το 1975 με σκοπό να μοντελοποιήσει την ικανότητα των γενετικών αλγορίθμων να αναγνωρίζουν τις ομοιότητες μεταξύ ακολουθιών δυαδικών ψηφίων (bit strings). Ένα σχήμα $h = (h_1, h_2, \dots, h_l)$ είναι μια σειρά δυαδικών ψηφίων μήκους l , η οποία μπορεί να περιγραφεί από μια φόρμα (template) φτιαγμένη από τα δυαδικά ψηφία 1 και 0 καθώς και από τον αστερίσκο *, όπου δηλαδή $h_i = \{0,1,*\}$. Ο αστερίσκος (*) περιγράφει το **αδιάφορο σύμβολο («don't care»)** και υποδηλώνει ότι το αλληλόμορφο του γονιδίου σε αυτή τη θέση δεν είναι σταθερό (ή αποφασισμένο). Για παράδειγμα, το σχήμα $H=1****1$, αναφέρεται σε όλες τις συμβολοσειρές που αποτελούνται από έξι δυαδικά ψηφία και των οποίων το πρώτο και το τελευταίο ψηφίο είναι το 1.

Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να ορισθούν κάποιες βασικές έννοιες των σχημάτων. Ως **τάξη ή μέγεθος (order)** ορίζεται ο αριθμός των σταθερών θέσεων ενός σχήματος h , δηλαδή των θέσεων εκείνων που καταλαμβάνονται από το 0 ή το 1, και συμβολίζεται με $o(h)$. Πρακτικά ισοδυναμεί με το μήκος του σχήματος αν από αυτό αφαιρεθεί ο αριθμός των αδιάφορων συμβόλων και αποτελεί δείκτη της ειδικότητας (specialty) ή αντίστοιχα της γενικότητας του σχήματος. Η έννοια της τάξης ενός σχήματος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της πιθανότητας επιβίωσής του όταν αυτό υποστεί τη διαδικασία της μετάλλαξης. Ως **ορίζον μήκος (defining length)** ενός σχήματος h , καλείται η απόσταση μεταξύ των δύο πιο απομακρυσμένων σταθερών δυαδικών ψηφίων του και συμβολίζεται με $\delta(h)$. Το ορίζον μήκος είναι δείκτης της πυκνότητας ενός δείγματος και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της πιθανότητας επιβίωσης του σχήματος κατά τη διαδικασία της διασταύρωσης¹⁰. Η «ικανότητα» ενός σχήματος ορίζεται ως η μέση «ικανότητα»

¹⁰ Εισαγωγή στους γενετικούς Αλγόριθμους, Ευστράτιος Φ. Γεωργόπουλος, Σπυρίδων Δ. Λυκοθανάσης, Πάτρα 1999, σελ. 33

όλων των δυνατών περιπτώσεων – συνδυασμών (instances) του σχήματος αυτού και μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τη συνάρτηση:

$$f(h) = \frac{1}{\|h\|} \sum_{x \in h} f(x)$$

Όπου $\|h\|$ είναι ο αριθμός των διαφορετικών περιπτώσεων-συνδυασμών x που μπορεί να έχει το σχήμα h . Ο συνολικός αριθμός των συνδυασμών – περιπτώσεων ενός σχήματος μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$2^{l-o(h)}$$

Αντίστοιχα αποδεικνύεται πως κάθε συμβολοσειρά δυαδικών ψηφίων και μήκους k μπορεί να παρασταθεί από 2^k διαφορετικά σχήματα.

Είναι δυνατή η καλύτερη κατανόηση των όρων που περιγράφηκαν παραπάνω μέσα από το επόμενο παράδειγμα. Έστω τα εξής σχήματα:

$$h_1 = (** * 001 * 110)$$

$$h_2 = (101 ** * 010)$$

Παρατηρούμε ότι το πρώτο σχήμα έχει μήκος $l_1 = 10$, τάξη $o(h_1) = 10 - 4 = 6$ και ορίζον μήκος ίσο με $\delta(h_1) = 10 - 4 = 6$. Ακόμη, αναπαριστά $2^{10-6} = 16$ διαφορετικές σειρές δυαδικών ψηφίων. Αντίστοιχα, για το δεύτερο σχήμα υπολογίζεται πως έχει μήκος $l_2 = 9$, τάξη $o(h_2) = 9 - 3 = 6$ και ορίζον μήκος ίσο με $\delta(h_2) = 9 - 1 = 8$ ενώ αναπαριστά $2^{9-6} = 8$ διαφορετικές σειρές.

Βασισμένοι στην έννοια των σχημάτων, οι Holland και De Jong ανέπτυξαν το 1975 το ομώνυμο θεώρημα των σχημάτων (schema theorem), το οποίο ουσιαστικά περιγράφει τον τρόπο μεταβολής του αριθμού των διαφορετικών συνδυασμών ενός σχήματος (h) με τη πάροδο των γενεών (t) του γενετικού αλγορίθμου. Η μαθηματική του έκφραση του θεωρήματος είναι η εξής¹¹:

$$m(h, t + 1) \geq m(h, t) \frac{f(h, t)}{\bar{f}(t)} \left(1 - p_c \frac{\delta(h)}{l - 1} - p_m o(h)\right)$$

¹¹ Franz Rothlauf, Representations for Genetic and Evolutionary Algorithms, Springer, page 19

Όπου

- $m(h, t)$ είναι ο αριθμός των δυνατών συνδυασμών ενός σχήματος h στη γενιά t
- $f(h, t)$ είναι η «ικανότητα» του σχήματος h στη γενιά t
- $\bar{f}(t)$ είναι η μέση «ικανότητα» του πληθυσμού της γενιάς t
- $\delta(h)$ είναι το ορίζον μήκος του σχήματος h
- $o(h)$ είναι η τάξη του σχήματος h
- p_c είναι η πιθανότητα διασταύρωσης
- p_m είναι η πιθανότητα μετάλλαξης
- l είναι το μήκος του σχήματος

Σύμφωνα με το θεώρημα λοιπόν, ο αριθμός των διαφορετικών συνδυασμών συμβολοσειρών που λαμβάνει ένα σχήμα κατά το πέρας των γενεών σε ένα κλασσικό γενετικό αλγόριθμο εξαρτάται άμεσα από τη διαδικασία της επιλογής, της διασταύρωσης και της μετάλλαξης. Έτσι, κατά την επιλογή ευνοούνται σχήματα των οποίων η «ικανότητα» είναι μεγαλύτερη της μέσης «ικανότητας» του πληθυσμού ενώ κατά τη διασταύρωση προτιμάται ένα σχήμα με μικρό σχετικά ορίζον μήκος, καθώς σε διαφορετική περίπτωση υπάρχει κίνδυνος διαταραχής των σχημάτων. Αναφορικά με το τελεστή μετάλλαξης, προτιμούνται σχήματα χαμηλής τάξης για τον ίδιο ακριβώς λόγο.

Επομένως, μια ικανοποιητική διατύπωση του θεωρήματος των σχημάτων θα μπορούσε να είναι η εξής: Σχήματα των οποίων η «ικανότητα» είναι μεγαλύτερη του μέσου όρου και τα οποία έχουν μικρό ορίζον μήκος και χαμηλή τάξη λαμβάνουν εξαιρετικά αξιόλογες δοκιμές (συνδυασμούς) στις επόμενες γενιές.

Άλλος ένας όρος ο οποίος χρησιμοποιείται ιδιαίτερα συχνά κατά τη θεωρητική ανάλυση των αλγορίθμων και σχετίζεται άμεσα με το θεώρημα των σχημάτων είναι αυτός των «δομικών λίθων» (**building blocks**). Σύμφωνα με τον Goldberg, οι δομικοί λίθοι ορίζονται ως «σχήματα αρκετά υψηλής ικανότητας και μικρού ορίζοντος μήκους» τα οποία «διαδίδονται από γενιά σε γενιά δίδοντας εξαιρετικά

αύξοντα δείγματα για την επίτευξη του βέλτιστου»¹². Ουσιαστικά οι δομικοί λίθοι αποτελούν λύσεις των επιμέρους προβλημάτων του αντίστοιχου βασικού εκφρασμένα με τη μορφή σχημάτων υψηλής «ικανότητας» και μικρότερου μήκους από τη συμβολοσειρά (χρωμόσωμα) ενώ όταν συνδυάζονται μεταξύ τους διαμορφώνουν κατά πάσα πιθανότητα καλής ποιότητας και «ικανότητας» λύσεις του οικουμενικού προβλήματος. Πρέπει μάλιστα να τονισθεί πως οι δομικοί λίθοι επανειλημμένως χρησιμοποιούνται και ως γονίδια δεδομένου ότι τα τελευταία αποτελούνται από ένα ή και περισσότερα αλληλόμορφα. Είναι δηλαδή πολύ πιθανό ένα γονίδιο να μην κωδικοποιείται από ένα δυαδικό ψηφίο αλλά από ένα δομικό λίθο με τη μορφή σχήματος. Με τη χρήση των δομικών λίθων και τη βοήθεια του θεωρήματος σχημάτων μπορούμε να αντιληφθούμε τον τρόπο με τον οποίο βελτιστοποιούνται τα προβλήματα από τους γενετικούς αλγόριθμους. Έτσι, αν οι επιμέρους λύσεις του προβλήματος, οι δομικοί λίθοι δηλαδή, ενός προβλήματος χαρακτηρίζονται από χαμηλή τάξη και μικρό ορίζον μήκος, τότε επιτυγχάνεται η αύξηση των ποιοτικών λύσεων με τη πάροδο των γενεών και το πρόβλημα λύνεται.

Μάλιστα, πριν ολοκληρωθεί η θεωρητική ανάλυση των γενετικών αλγορίθμων, κρίνεται απαραίτητο να παρουσιασθεί η πρόταση που διατυπώθηκε από τον Goldberg, βασιζόμενη στην έννοια των δομικών λίθων και η οποία είναι γνωστή ως **υπόθεση δομικών λίθων (building block hypothesis)**: «Μικρά, χαμηλής τάξης και ιδιαίτερα «ικανά» σχήματα δοκιμάζονται, ανασυντίθενται και ξαναδοκιμάζονται με σκοπό τη δημιουργία χρωμοσωμάτων μεγαλύτερης ικανότητας»¹³. Πρακτικά, μέσω της διατύπωσης αυτής επεξηγείται πως η αποτελεσματικότητα των γενετικών αλγορίθμων στην εύρεση καλών λύσεων και η ευρεία χρήση τους σε πραγματικά προβλήματα βελτιστοποίησης βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη δυνατότητά τους να διαδίδουν και να ανασυνθέτουν σχήματα μικρής τάξης αλλά παράλληλα μεγάλης «ικανότητας».

Τελειώνοντας, αξίζει να σημειωθεί πως η θεωρητική ανάλυση των γενετικών αλγορίθμων με βάση τη θεωρία των σχημάτων και την υπόθεση των δομικών λίθων

¹² David E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, 1989, p.20 and p.41

¹³ David E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, 1989, p.41

έχει υποστεί δυσμενείς κριτικές από ένα μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας, κυρίως λόγω της αποκλειστικά εμπειρικής φύσης της χωρίς κάποια προηγούμενη μαθηματική ανάλυση αλλά και «της ανικανότητάς της να εξηγήσει τη πραγματική συμπεριφορά των γενετικών αλγορίθμων καθώς διαφορεί για τη στοχαστική και δυναμική φύση της γενετικής αναζήτησης¹⁴».

5.7 Συμπεράσματα

Έχοντας περιγράψει εκτενώς τα χαρακτηριστικά, τη δομή, το θεωρητικό υπόβαθρο και τον τρόπο λειτουργίας των γενετικών αλγορίθμων, μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η ιδέα σύλληψης των γενετικών αλγορίθμων βασίζεται στη θεωρία της φυσικής εξέλιξης του Δαρβίνου ενώ το μεγαλύτερο μέρος της ορολογίας που χρησιμοποιείται είναι δανεισμένο από τη Βιολογία και τη Γενετική.
- Υπάρχει δυνατότητα γρήγορης, αξιόπιστης και αποτελεσματικής βελτιστοποίησης σύνθετων προβλημάτων. Έχει παρατηρηθεί πως η επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων που για άλλες μεθόδους είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα ή ακόμα και αδύνατη, γίνεται σε αρκετά ικανοποιητικά πλαίσια. Βέβαια, η βελτιστοποίηση των γενετικών αλγορίθμων δεν εγγυάται τη βέλτιστη λύση αλλά μια «καλή» λύση η οποία θα βελτιώνεται με τη πάροδο του χρόνου (επόμενες επαναλήψεις).
- Η λειτουργία των γενετικών αλγορίθμων βασίζεται από τη κωδικοποίηση του συνόλου των τιμών όλων των μεταβλητών και όχι από την ίδια τη μεταβλητή. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος γενετικής αναπαράστασης είναι η κωδικοποίηση με δυαδικό σύστημα, έχουν όμως προταθεί και άλλα συστήματα κωδικοποίησης.
- Για τη βελτιστοποίηση με γενετικούς αλγορίθμους απαιτείται μόνο η γνώση της αντικειμενικής συνάρτησης και όχι πρόσθετων πληροφοριών. Οι γενετικοί αλγόριθμοι «επικοινωνούν» με το περιβάλλον τους μέσω της

¹⁴ Franz Rothlauf, Representations for Genetic and Evolutionary Algorithms, Springer, p. 20

συνάρτησης «ικανότητας», αδιαφορώντας για τη φύση του προβλήματος και τη σημασία της κάθε πληροφορίας.

- Δεν απαιτούνται περιορισμοί στην αντικειμενική συνάρτηση, πράγμα που αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα των γενετικών αλγορίθμων έναντι άλλων παραδοσιακών μεθόδων βελτιστοποίησης και τους επιτρέπει να επεξεργάζονται «θορυβώδεις» συναρτήσεις.
- Είναι ιδιαίτερα εμφανής η ευρεία χρήση πιθανοθεωρητικών – στοχαστικών κανόνων μετάβασης μέσω κατάλληλων τελεστών. Οι τελευταίοι εφαρμόζουν στοχαστικές διαδικασίες ώστε να αναζητήσουν αποτελεσματικά και να εντοπίσουν υποψήφια «καλές» λύσεις.
- Πραγματοποιείται ταυτόχρονη αναζήτηση υποψήφιας λύσεων σε πολλά σημεία του χώρου, σε αντίθεση με τη πλειοψηφία των κλασσικών μεθόδων βελτιστοποίησης, ενώ παράλληλα αξιοποιούνται οι ήδη επεξεργασμένες πληροφορίες. Έτσι, παρεμποδίζεται πιθανός τοπικός εγκλωβισμός του αλγορίθμου σε τοπικά ακρότατα μιας και η αναζήτηση γίνεται συνεχώς σε ένα πολύ ευρύ σύνολο σημείων.
- Οι γενετικοί αλγόριθμοι έχουν από τη φύση τους το στοιχείο του παραλληλισμού καθώς σε κάθε τους βήμα γίνεται επεξεργασία μεγάλης ποσότητας πληροφοριών και άρα προσφέρονται για παράλληλη υλοποίηση.
- Οι γενετικοί αλγόριθμοι διακρίνονται για την εξελικτικότητα και την επεκτασιμότητα, πράγμα που επιτρέπει την εισαγωγή διάφορων παραλλαγών του βασικού αλγορίθμου. Έχουν προταθεί ποικίλοι τελεστές τόσο επιλογής όσο και εξέλιξης των πληθυσμών, πολλοί εκ των οποίων μάλιστα δεν είναι εμπνευσμένοι από τη γενετική.

Λαμβάνοντας υπόψη και αξιολογώντας τα παραπάνω μπορεί εύκολα κανείς να αντιληφθεί το λόγο για τον οποίο οι γενετικοί αλγόριθμοι βρίσκουν εφαρμογή σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα πεδίων και προβλημάτων, όπως είναι για παράδειγμα η οικονομία, η εφοδιαστική και οι μεταφορές, η επίλυση σύνθετων μαθηματικών εξισώσεων και πολλά άλλα. Είναι δε απόλυτα κατανοητό πως η μεγάλη ευελιξία τους λόγω της χρήσης μόνο της αντικειμενικής συνάρτησης, επιτρέπει την εύκολη συνεργασία των γενετικών αλγορίθμων με μια πληθώρα συστημάτων και μοντέλων

χωρίς κάποια προηγούμενη επανασχεδίαση ή προσαρμογή. Ολοκληρώνοντας, παρόλο που αποτελούν μια σχετικά πρόσφατη μέθοδο, για την οποία δεν έχει πραγματοποιηθεί πλήρης μαθηματική θεωρητική ανάλυση του τρόπου λειτουργίας της, οι γενετικοί αλγόριθμοι διακρίνονται για τη μεγάλη αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία τους ενώ είναι σίγουρο πως θα εξακολουθούν να πρωταγωνιστούν στη λύση των προβλημάτων βελτιστοποίησης για αρκετά ακόμα χρόνια.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μ.Γ. Καρλαύτης, Ν.Δ. Λαγαρός (2010), Επιχειρησιακή Έρευνα και βελτιστοποίηση για μηχανικούς, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
2. Πραστάκος Γρ. (2006), Διοικητική Επιστήμη-Λήψη Επιχειρησιακών αποφάσεων στην Κοινωνία της Πληροφορίας, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα
3. Ψαράυτης Χ. (2006), Οικονομική Θαλασσίων Μεταφορών I, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα
4. Ε.Φ. Γεωργόπουλος, Σ.Δ. Λυκοθανάσης (1999), Εισαγωγή στους Γενετικούς Αλγόριθμους, Πανεπιστήμιο Πατρών Πολυτεχνική Σχολή, Πάτρα
5. Γεωργαντόπουλος Ελ., Βλάχος Γ.Π. (2003), Ναυτιλιακή Οικονομική, Εκδόσεις Τζεϊ & Τζεϊ Ελλάς, Πειραιάς
6. Bronson R., Naadimuthu G. (1985). "Schaum's Outline of Theory and Problems of OPERATIONS RESEARCH", 2nd edition, McGraw-Hill International Editions
7. M.O. Ball ed., T.L. Magnati ed., C.L. Monna ed., G.L. Nemhauser ed. (1995), "Handbook in Operations Research and Management Science, Network Models", vol.7, Elsevier Science Ltd.
8. B. Render, R.M. Stair, Jr. (1999). "Quantitative Analysis for Management", 7th edition, Prentice-Hall, New Jersey
9. F.S. Hillier, G.J. Lieberman (2001). "Introduction to Operations Research", 7th edition, McGraw-Hill International Editions
10. W.L. Winston (1998). "Operations Research: Applications and Algorithms", 4th revised edition, Brooks/Cole
11. J. Taylor, N. Raden (2007). "Smart (Enough) Systems: How to Deliver Competitive Advantage by Automating Hidden Decisions", Prentice Hall
12. "Car Carrier Trade and Transport 2009" (2009), Clarkson Research Services, London
13. "Car Carrier Trade and Transport 2008" (2008), Clarkson Research Services, London

14. "Car Carrier Trade and Transport 2007" (2007), Clarkson Research Services, London
15. M. Stopford (2009). "Maritime Economics", 3rd edition, Routledge, New York
16. Grammenos C.T. (2010). "The Handbook of Maritime Economics and Business", Maritime Transport Law Library
17. M. Mitchell (1999). "An Introduction to Genetic Algorithms", The MIT Press, Cambridge, Massachusetts
18. F. Rothlauf, "Representations for Genetic and Evolutionary Algorithms", 2nd edition, Springer publications
19. D. Goldberg (1989). "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison Wesley Publishing Company, Inc.
20. J. Holland (1992). "Adaption in Natural and Artificial Systems", The MIT Press
21. L. Davis (1991). "Handbook of Genetic Algorithms", Von Nostrand Reinhold
22. S. Edelkamp, S. Schroedl (2011). "Heuristic search: Theory and Applications", Morgan Kaufmann Publishers
23. E. Alba ed., C. Blum ed., P. Isasi ed., C. León ed., J.A. Gomez ed., "Optimization Techniques for Solving Complex Problems", John Willey & Sons Publication
24. D. Partridge (1998). "Artificial Intelligence and Software Engineering", Glenlake Publishing Company, Ltd.
25. A.N. Perakis, N. Papadakis, "Fleet Deployment Optimization Problems. Part1", Marit. Pol. Mgmt., 1987, vol. 14, No. 2, 127-144
26. A.N. Perakis, N. Papadakis, "Fleet Deployment Optimization Problems. Part2", Marit. Pol. Mgmt., 1987, vol. 14, No. 2, 145-155
27. A.N. Perakis, "A second look at fleet deployment", Marit. Pol. Mgmt., 1985, vol. 12, No. 3, 209-214
28. H.N. Psaraftis, "A Dynamic Programming Solution to the Single vehicle Many-to-Many Immediate Request Dial-a-Ride Problem", Transportation Science, 1980, vol. 14, No. 2
29. X. Xinlian, W. Tengfei, C. Daisong, "A dynamic model and algorithm for fleet planning", Maritime Policy and Management 27, 53-63

30. Seong-Cheol Cho, A.N. Perakis, "Optimal liner fleet routing strategies", Marit. Pol. Mgmt., 1996, vol. 23, No. 3, 249-259

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

1. www.clarksons.net
2. www.platou.com
3. www.palisade.com
4. www.oica.net
5. www.jama-english.jp
6. www.lmc-auto.com
7. www.hesnes.no
8. www.nykeurope.com
9. www.mol.co.jp
10. www.raycarcarriers.com
11. www.walleniuslines.com
12. www.eukor.com
13. www.klineurope.com/car-carriers/index.asp